

## R 62 bilancia a 6-componenti K&R per corpi immersi - taratura

M. Palini, R. Basti, F. Olivieri, F. Di Ciò.  
C.N.R. INM – Roma

### Abstract

L'Istituto ha acquisito la bilancia R62 per prove su corpi immersi nel 1984. La taratura è definita come l'operazione che, eseguita in condizioni specificate, stabilisce la relazione tra i valori di una grandezza fisica forniti da campioni di misura e le corrispondenti indicazioni, comprensivi delle incertezze di misura associate, ed usa queste informazioni in una seconda fase per ottenere un risultato di misura a partire da una indicazione. L'Istituto ha eseguito nel tempo diverse campagne di taratura che, secondo procedure operative standard SOP, sono effettuate prima della prova vera e propria sul modello fisico in bacino. Scopo principale di questo lavoro è presentare un'analisi globale dei risultati delle varie tarature effettuate in oltre 30 anni. L'utilizzo di una procedura tecnica adeguata e di un sistema idoneo di applicazione dei carichi hanno permesso di fornire una stima dell'incertezza di misura della bilancia. La componente X ha un'incertezza composta  $u_c$  di 0.3N per il trasduttore da  $\pm 1$  kN. La valutazione di incertezza più alta si è avuta per la  $Z_2$  da  $\pm 6$  kN, con una  $u$  di 3N. È stata anche individuata una matrice di interferenza che lega fra di loro le misure delle sei componenti dell'azione idrodinamica (X, Y, Z,  $M_X$ ,  $M_Y$  e  $M_Z$ ). I termini diagonali hanno uno scostamento dal caso ideale (pari a uno) che vanno dal 0,1 allo 3‰, eccetto per la componente  $M_X$  che si discosta dell'1%. Le interferenze, che nel caso ideale di sistema di rigidità infinita dovrebbero essere pari a zero, si discostano dal 2‰ al 1.5%, ancora con l'eccezione del momento  $M_X$ .

Parole chiave: bilancia, taratura, sommergibile

### Simbologia e definizioni

$b$  = distanza dei trasduttori dal piano di riferimento

$c_{XX}, c_{YY}, \dots, c_{M_X M_X}, \dots, c_{M_Z M_Z}$  = elementi della diagonale principale della matrice di interferenza

$c_{XY}, c_{XZ}, \dots, c_{X M_X}, c_{X M_Z}$  = elementi della matrice di interferenza

$Fr$  = numero di Froude ( $V/\sqrt{g \cdot L}$ )

$g$  = accelerazione di gravità (9.8033 m/s<sup>2</sup>)

$L$  = lunghezza

$M_X, M_Y, M_Z$  componenti di momento dell'azione idrodinamica

$Q$  = coppia assorbita dall'elica

$T$  = spinta fornita dall'elica

$u$  = incertezza

$V$  = velocità

$X, Y, Z$  componenti di forza dell'azione idrodinamica

$x, y, z$  = coordinate assiale, trasversale, e verticale, rispettivamente

$\beta$  = angolo d'attacco in imbardata

## 1 Introduzione

Nella seconda metà degli anni 60 l'Italia riprese a costruire battelli subacquei dopo la fine della seconda guerra mondiale con la classe Toti. Negli anni 70 la Marina Militare Italiana decise di mettere allo studio una nuova classe di sottomarini con prestazioni globalmente superiori. Le sperimentazioni sui modelli del Sauro furono eseguite in Inghilterra, capofila europeo del settore, e presso l'INSEAN con il vecchio sistema costituito da due bracci che tenevano il modello a prora ed a poppa. I trasduttori di forza erano nella parte superiore dei bracci, e quindi misuravano anche la loro resistenza, con evidenti difficoltà a definire quella del solo sommergibile. All'inizio degli anni '80 quindi l'Istituto, in accordo con MMI e Fincantieri, ordinò alla ditta Kempf & Remmers GmbH di Amburgo un sistema totalmente innovativo, con bilancia a 6-componenti e dinamometro stagni inseriti nei modelli da provare. La bilancia R62 per prove su corpi immersi venne acquisita nel 1984 completa di una completa documentazione che conteneva, oltre alle istruzioni di uso e manutenzione, una taratura di fabbrica con valutazione di massima dell'interferenza tra le componenti [1].

Secondo le procedure operative standard SOP [2], prima dell'esecuzione delle prove sui modelli in bacino, l'INM effettua tarature in aria per stabilire la relazione tra la grandezza fisica che verrà in misurata in acqua e le corrispondenti indicazioni dello strumento. Nel corso degli anni quindi sono state eseguite diverse campagne di taratura, che man mano sono state perfezionate in quantità e qualità, cercando di rispondere anche alle criticità sorte durante le sperimentazioni in acqua. Vale la pena qui ricordare che l'ITTC non prevede una procedura specifica per le prove su corpi immersi. Di fatto si utilizza quella suggerita negli anni '50 dal David Taylor Model Basin [3], sviluppata successivamente ad Haslar dall'Admiralty Experimental Works [4].

Nel presente lavoro si è cercato di riassumere i risultati ottenuti al fine di fornire uno strumento utile per coloro che avranno la necessità di eseguire ulteriori tarature o analizzare i risultati delle prove in Vasca.

## 2 Caratteristiche Generali

La bilancia a 6-componenti R-62 è stata concepita per eseguire prove di rimorchio e di autopropulsione su corpi immersi, fino ad immersioni dell'asse elica di 3 metri, con la tecnica a modello bloccato. Due sistemi di regolazione della posizione angolare, inseriti per allineare il modello in acqua, permettono di fatto anche di trainare i modelli in deriva, con angoli di assetto e di imbardata fino a 5 gradi. In questo caso si possono misurare tutte e sei le componenti statiche dell'azione idrodinamica totale agente sul modello. È possibile inoltre eseguire, sui modelli opportunamente allestiti, rilievi di scia nominale al disco elica e rilievi di pressione superficiale.

La bilancia è montata all'estremità inferiore di un profilo verticale cavo, o "braccio", costruito in acciaio inossidabile saldato, nel quale passano anche i cavi dell'elettronica di misura (figura 1). All'estremità superiore il braccio è tenuto da un supporto, posizionabile lungo i "binarietti" centrali del carro dinamometrico del bacino N.1. Un paranco elettrico del carro consente le operazioni di immersione/emersione del complesso apparecchiatura-braccio-modello.

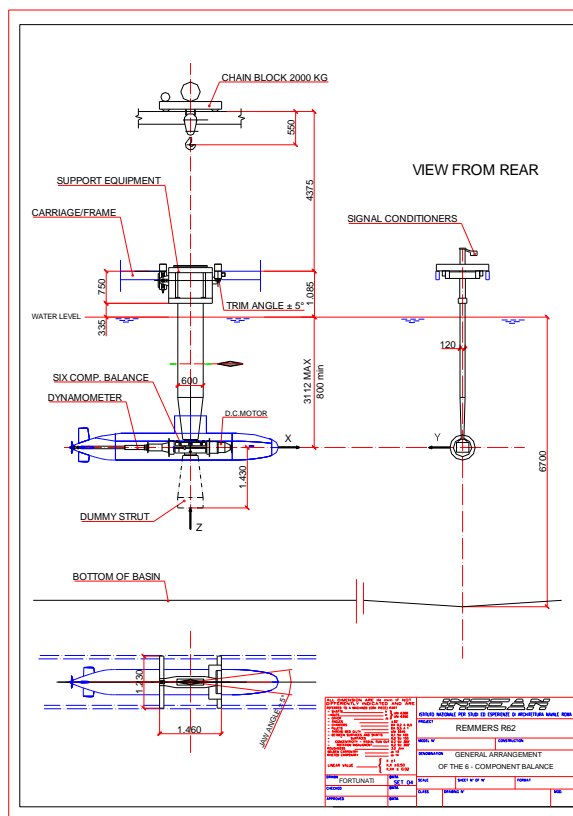


Figura 1. (sinistra) bilancia e braccio di traino, (destra) schema della bilancia.

La bilancia viene sistemata all'interno di modelli cavi che, nella configurazione standard con motore e asse porta-elica, hanno lunghezza compresa fra i 4 e i 6 metri circa, con un diametro minimo di circa 500 mm (figura 2 sinistra). È possibile trainare anche modelli molto corti, dell'ordine del metro di lunghezza (figura 2 destra), smontando il motore e la linea asse. In questa configurazione naturalmente non è possibile effettuare autopropulsioni.

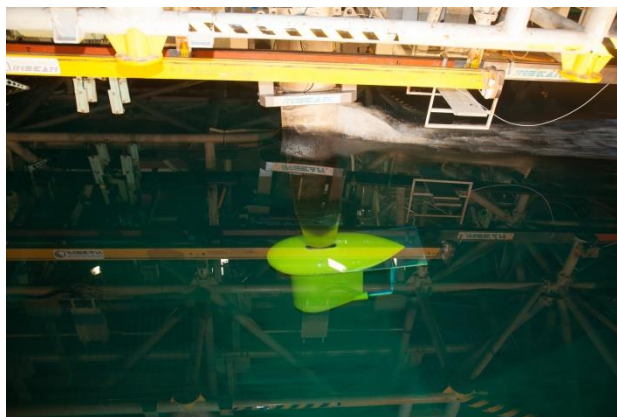


Figura 2. (sinistra) corpo immerso con linea asse, (destra) modello senza asse.

La struttura di supporto braccio ammette due sistemazioni sul carro: una posizione normale ed una rovesciata. Nella prima configurazione la regolazione in altezza del braccio consente di realizzare immersioni dell'asse elica da un minimo di 0.2 m fino ad un massimo di 2.50 m, nella seconda da un minimo di 0.8 m fino ad un massimo di 3.10 m.

Il dispositivo di bloccaggio in altezza del braccio è combinato con un dispositivo per la regolazione dell'angolo di assetto di  $\pm 5^\circ$  nel piano verticale di simmetria del braccio. Ruotando un eccentrico sull'estremità superiore del braccio, è possibile regolare anche l'angolo di imbardata di  $\pm 5.6^\circ$  intorno all'asse verticale di simmetria del braccio. L'eccentrico agisce su un dispositivo idraulico di regolazione e bloccaggio, sistemato nel blocco di attacco del braccio alla bilancia a 6 componenti: l'angolo viene così fissato e conservato al valore desiderato durante le corse di misura.

Il corpo bilancia pesa in aria  $P_a$  circa 220 kg, comprensivo del dinamometro di propulsione, del motore e delle flange di attacco del modello. Tale peso nella configurazione standard si scarica sui tre trasduttori Z della bilancia nelle seguenti quantità:

$$Z_1 = 45 \text{ kg} ; Z_2 = 55 \text{ kg} ; Z_3 = 110 \text{ kg} .$$

Tutta l'apparecchiatura invece ha un peso complessivo di circa 1.5 t, con dimensioni d'ingombro di 3.730x0.435x0.435 m. Quasi tutte le parti che vengono a contatto con l'acqua sono in acciaio inossidabile: solo alcune parti sono di materiale diverso ma dotato di buona resistenza alla corrosione in acqua.

La parte mobile è meccanicamente collegata a quella fissa mediante sei trasduttori di forza (celle di carico) di tipo estensimetrico, denominati X, Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub>.

La bilancia ha in dotazione due set di celle di carico, intercambiabili, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella seguente (carichi applicati a trazione o compressione):

Trasduttore		X	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
Fondo Scala (kN)	Set Basso	1	3	3	4	4	4
Fondo Scala (kN)	Set alto	2	6	6	6	6	6
	Classe	0.2%					

I singoli trasduttori sono meccanicamente progettati per carichi di rottura pari al 100% di quelli ammissibili. Tutte le condizioni di esercizio statico e dinamico vanno, però, controllate con estrema cautela, onde scongiurare il superamento di detti limiti.

In termini di azione idrodinamica globale nella tabella seguente sono riportati i valori massimi di forze e momenti misurabili forniti dal costruttore:

<i>Forze/ momenti</i>	<i>Limiti</i>	<i>Unità</i>
Resistenza	500/1000	N
Forza laterale	1200	N
Portanza	600	N
Momento di Rollio	400	N·m
Momento di beccheggio	1200	N·m
Momento di imbardata	2600	N·m

Al fine di proteggere i trasduttori da improvvisi picchi di carico comunque si suggerisce di:

a) costruire modelli cavi e leggeri;

- b) dotare il modello di portelli che ne consentano rapidi allagamenti durante le operazioni di immersione ed altrettanto rapidi svuotamenti durante quelle di immersione, evitando così sovraccarichi sulla bilancia dovuti ad eccessi di spinta durante la prime e ad eccessi di peso durante le seconde;
- c) eseguire le operazioni di sollevamento e abbassamento del braccio a basse velocità ed accelerazioni, mantenendo bloccata la bilancia con i blocchi in dotazione. Se la movimentazione viene effettuata senza blocchi, ad esempio di assenza di portelli, è bene seguire tale operazione con un sistema di acquisizione mobile controllando che i fondo scala non vengano superati.

La disposizione geometrica dei sei trasduttori è tale che, rispetto alla terna di riferimento solidale alla bilancia di figura 2 (cartesiana ortogonale destra con origine nell'intersezione fra l'asse  $x$  dell'albero portaelica e l'asse  $z$  di simmetria del braccio), le sei componenti dell'azione idrodinamica agente sul modello sono date dalle forze:

- longitudinale  $X = X$
- trasversale  $Y = (Y_1 + Y_2)$
- verticale  $Z = (Z_1 + Z_2 + Z_3)$

e dai momenti:

- di rollio:  $M_x = (Z_1 + Z_2 - Z_3) \cdot b_{Zx} - (Y_1 + Y_2) \cdot b_{XYx}$
- d'assetto:  $M_y = (Z_1 - Z_2) \cdot b_{Zy} + X \cdot b_{XYx}$
- di imbardata:  $M_z = (Y_2 - Y_1) \cdot b_{Yz}$

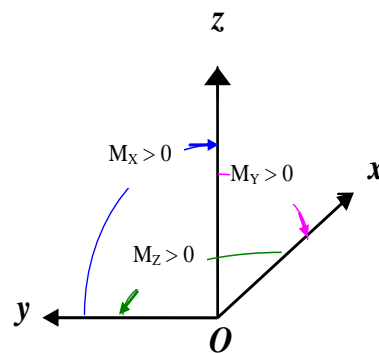


Figura 3. Il sistema di riferimento della bilancia.

In cui (vedi figure 4 e 5):

- $b_{XYx} = 0.025$  m distanza fra il piano in cui agiscono i trasduttori  $X$ ,  $Y_1$  e  $Y_2$  e il piano  $XY$  di  $\mathcal{R}$
- $b_{Yz} = 0.320$  m distanza fra i trasduttori  $Y_1$  e  $Y_2$  dall'asse  $Z$  di  $\mathcal{R}$
- $b_{Zx} = 0.125$  m distanza fra i trasduttori  $Z_1$ ,  $Z_2$  e  $Z_3$  dall'asse  $X$  di  $\mathcal{R}$
- $b_{Zy} = 0.250$  m distanza fra i trasduttori  $Z_1$ , e  $Z_2$  dall'asse  $Y$  di  $\mathcal{R}$ .

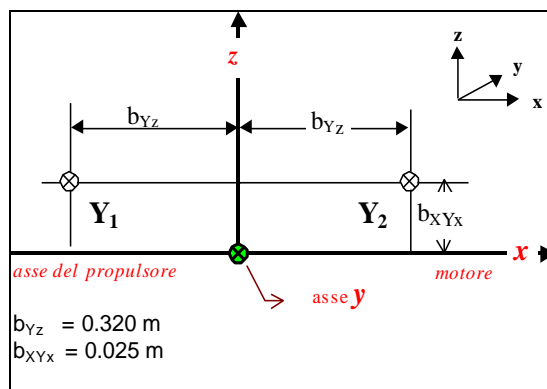
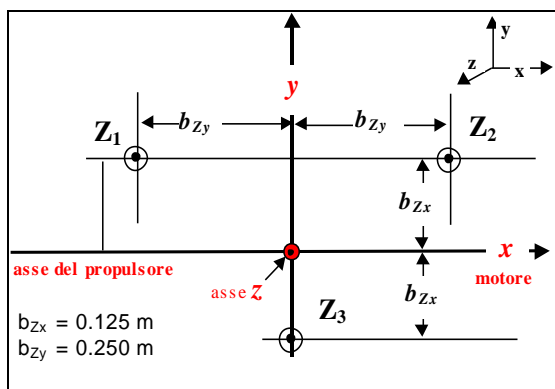


Figura 4. (sn) piano xy, disposizione trasduttori Z, (dx) piano xz, disposizione trasduttori Y.

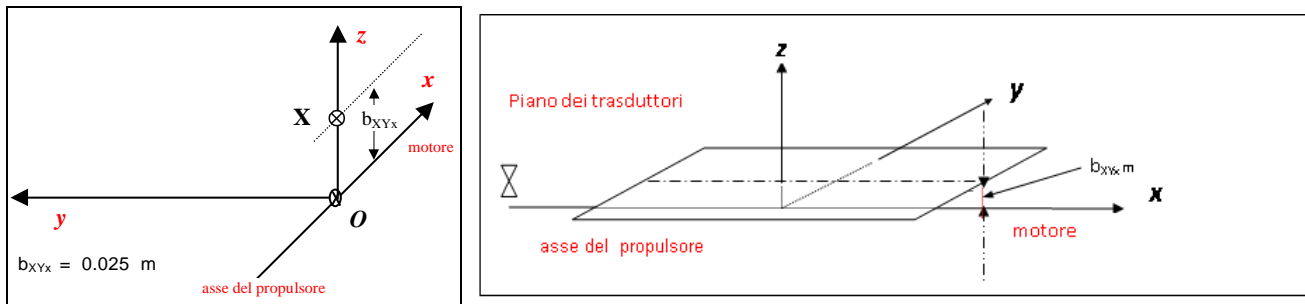


Figura 5. (sn) piano yz: disposizione del trasduttore X. (dx) piano dei trasduttori X, Y<sub>1</sub> e Y<sub>2</sub> parallelo al piano yz.

Vale la pena infine aggiungere l'altra fondamentale caratteristica dell R-62, che consente di eseguire prove in autopropulsione su modelli ad singolo asse elica. Il modello comunque è bloccato, quindi è possibile eseguire prove di propulsione con il metodo a carico elica variabile "Load Varying Method" [5]. A tal fine è dotata di due dinamometri di propulsione, intercambiabili ad aventi le seguenti caratteristiche:

Dinamometro	R 62-V	R 62-VI
Linea d'asse	R 62-VII	R 62-VIII
Portata spinta T	400 N	100 N
Portata coppia Q	20 N·m	5 N·m
Classe	0.2 %	0.2 %
Velocità angolare massima	2000 g/m	

I trasduttori estensimetrici della spinta e della coppia possono sopportare sovraccarichi accidentali fino al 50% delle rispettive portate. Ciascun dinamometro è contenuto in un astuccio (a tenuta di aria e di acqua), collegato ad un suo proprio asse portaelica da una parte, flangiato su un astuccio che lo collega alla bilancia dall'altra.

Il moto a tutta la linea d'asse è fornito da un motore elettrico R 62-IV a corrente continua, reversibile, con potenza di 5.6 CV, contenuto in un astuccio d'acciaio inossidabile stagno all'acqua. Esso è in grado di fornire, a 2000 g/m, coppie fino a 200 Kg·cm. La sua velocità di rotazione è misurata per mezzo di un contagiri montato sull'estremità libera dell'albero motore all'interno dell'astuccio.

L'argomento "propulsione" esula da questo studio della bilancia, quindi non verrà trattato di seguito. Vengono però riportate in appendice C le rette di regressione ottenute per la T e la Q ottenute in una taratura sul dinamometro di portata maggiore R 62-V.

### 3 Introduzione al problema della taratura

Una strumentazione di misura ha la necessità di essere tarata prima delle prove per garantire un suo corretto funzionamento. Quando lo strumento è più complesso, come una bilancia multi-componente, una taratura periodica è opportuna perché rappresenta anche l'occasione per approfondirne le peculiarità, il suo campo di utilizzo e soprattutto i suoi limiti di impiego.

Obiettivo della taratura, eseguita in condizioni ben specificate, è stabilire la relazione tra i valori di una grandezza fisica forniti da campioni di misura e le corrispondenti indicazioni, comprensivi delle incertezze di misura associate, ed usa queste informazioni in una seconda fase per ottenere un risultato di misura a partire da una indicazione dello strumento.

In questa fase si devono quantificare le sorgenti di incertezza di misura della bilancia e cercare di ridurre l'incertezza globale ad un livello "accettabile". Il livello "accettabile" è normalmente definito nell'esame dell'obiettivo di un programma di prova: come possono essere misurate le grandezze e quanto oneroso può risultare il procedimento di misura?

Avendo deciso su una certa accuratezza della misura, il processo di taratura mira all'obiettivo in prima istanza prevedendo l'applicazione di campioni di incertezza minore di (almeno un terzo ma ancora meglio di un decimo) dello strumento in prova.

Analizzando la catena di misura e le operazioni effettuate si deve fornire una stima veritiera di tutte le possibili fonti di incertezza ed effettuare un bilancio di questi valori.

A valle di questa analisi si possono decidere le azioni da intraprendere.

La R-62 è corredata di set di trasduttori di portate diverse. Due sono le grandezze soggette a variazioni in seguito a sollecitazioni:

- la deformazione del materiale ( $\Delta m/m$ );
- la resistenza elettrica (dello *strain gauge*),

L'ultima grandezza caratterizza il funzionamento del sensore, ma non è la misura finale. Ciò comporta l'inserimento di altri dispositivi, il che incrementa il numero di sorgenti di incertezza che occorre individuare e valutare attraverso idonee metodologie.

Presupposto di una taratura di un sensore di forza è che il supporto su cui esso viene montato permetta una corretta applicazione dei carichi e che sia indeformabile. Per una bilancia a più componenti ciò è ancora più vero, poiché le forze sono applicate in diverse direzioni, anche in contemporanea, e le mutue interazioni rendono difficoltosa la taratura. È fondamentale che tale supporto sia estremamente rigido per essere confidenti che le forze campione applicate in una direzione non producano componenti indesiderate nelle altre direzioni. Il supporto R62-IX (figura 6), realizzato allo scopo da Remmers, assicura una buona efficienza in taratura a patto che vengano rispettate le condizioni di orizzontalità e di allineamento con la bilancia su di esso montata. La procedura di allineamento delle stazioni di tiro con la bilancia è riportata in [6].



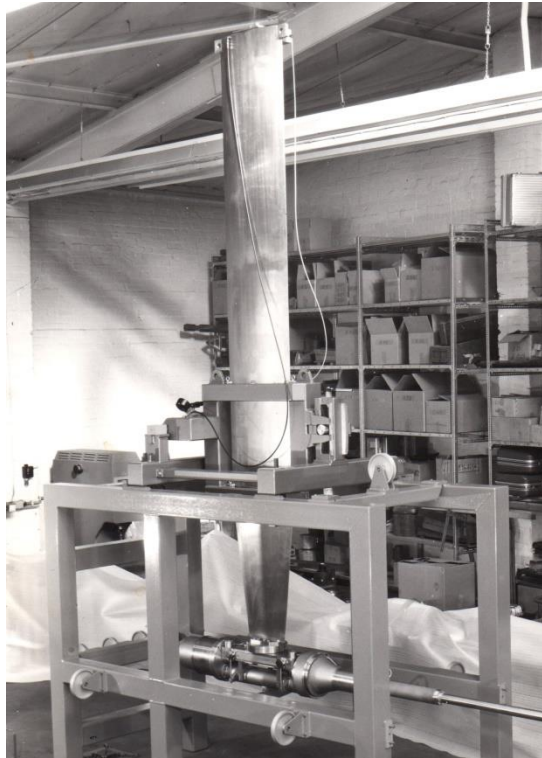


Figura 6. Supporto R62-IX. Sono visibili molte delle stazioni di taratura.

Nella stesura del presente rapporto ci siamo posti i seguenti obiettivi:

- ✓ Dare al rapporto anche la veste di manuale della R62 per fornire allo sperimentatore un supporto aggiuntivo per l'analisi le prove;
- ✓ Illustrare la procedura utilizzata nella taratura;
- ✓ Illustrare la procedura seguita per individuare l'intervallo di incertezza di ciascuna componente.

## 4 Analisi del sistema

Un singolo trasduttore di forza fornisce una misura “diretta” dell'azione esterna applicata. L'analisi del suo corretto funzionamento in taratura è quindi quasi immediato. Una bilancia multi-componente invece risponde all'applicazione di un carico esterno in un determinato punto con una sollecitazione globale dei suoi trasduttori, meno intuitiva da giudicare. La sequenza di taratura quindi è un procedimento più complesso e meno “immediato”, costituito da differenti passi in successione.

### 4.1 Il procedimento.

I differenti passi da seguire sono:

- Individuazione delle relazioni fra la sollecitazione applicata e le reazioni vincolari in corrispondenza ai trasduttori;
- Applicazione di pesi noti (campioni) in posizioni note (stazioni di taratura) con sequenze di carichi ben definite;
- Registrazione dei dati;



- Determinazione di una serie di regressioni lineari che mettano in relazione le variabili indipendenti, l'azione esterna, con le variabili dipendenti, le misure ottenute dalle sei componenti della bilancia. Ciò significa individuare i parametri  $a_k$  e  $b_k$  delle funzioni  $y_k = a_k x + b_k$  ( $k = X, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2, Z_3$ );
- Controllo della risposta ottenuta dai trasduttori con quella attesa in base alla statica del sistema.

#### 4.2 Relazioni tra forza esterna applicata e reazioni della bilancia.

Determinare le relazioni che legano il sistema costituito dal supporto di taratura e dalla bilancia montata al suo interno è la prima operazione da eseguire. Ciò significa trovare le reazioni vincolari tra parte fissa e parte mobile della bilancia generate da una forza  $\vec{F}$  esterna applicata in un qualsiasi punto  $P_0(x_0, y_0, z_0)$  del supporto di taratura. Poiché il sistema è, e permane, in equilibrio si avrà sempre  $\sum_i \vec{F}_i = 0$  e  $\sum_i \vec{M}_i = 0$ . L'applicazione dell'equilibrio consente di individuare le equazioni che legano le sollecitazioni esterne alle risposte che i sei trasduttori di forza della bilancia devono fornire. Le misure effettivamente indicate da quest'ultimi servono anche da verifica della correttezza del procedimento.

Il comportamento molto lineare dei trasduttori, unito alla rigidità del sistema bilancia, consente di applicare il principio di sovrapposizione degli effetti. Pertanto, definite per comodità le relazioni di equilibrio relative a ciascuno dei tre piani coordinati (XY, XZ, YZ), le relazioni globali si ottengono sommando quelle ottenute nei singoli piani.

Naturalmente è necessario conoscere le posizioni relative tra le 12 stazioni di taratura, in corrispondenza delle quali si applicano i pesi campione, ed i trasduttori di forza. Le stazioni sono state numerate con E1, E2, ..., E12. In figura 7 è indicata la collocazione della maggior parte di esse.

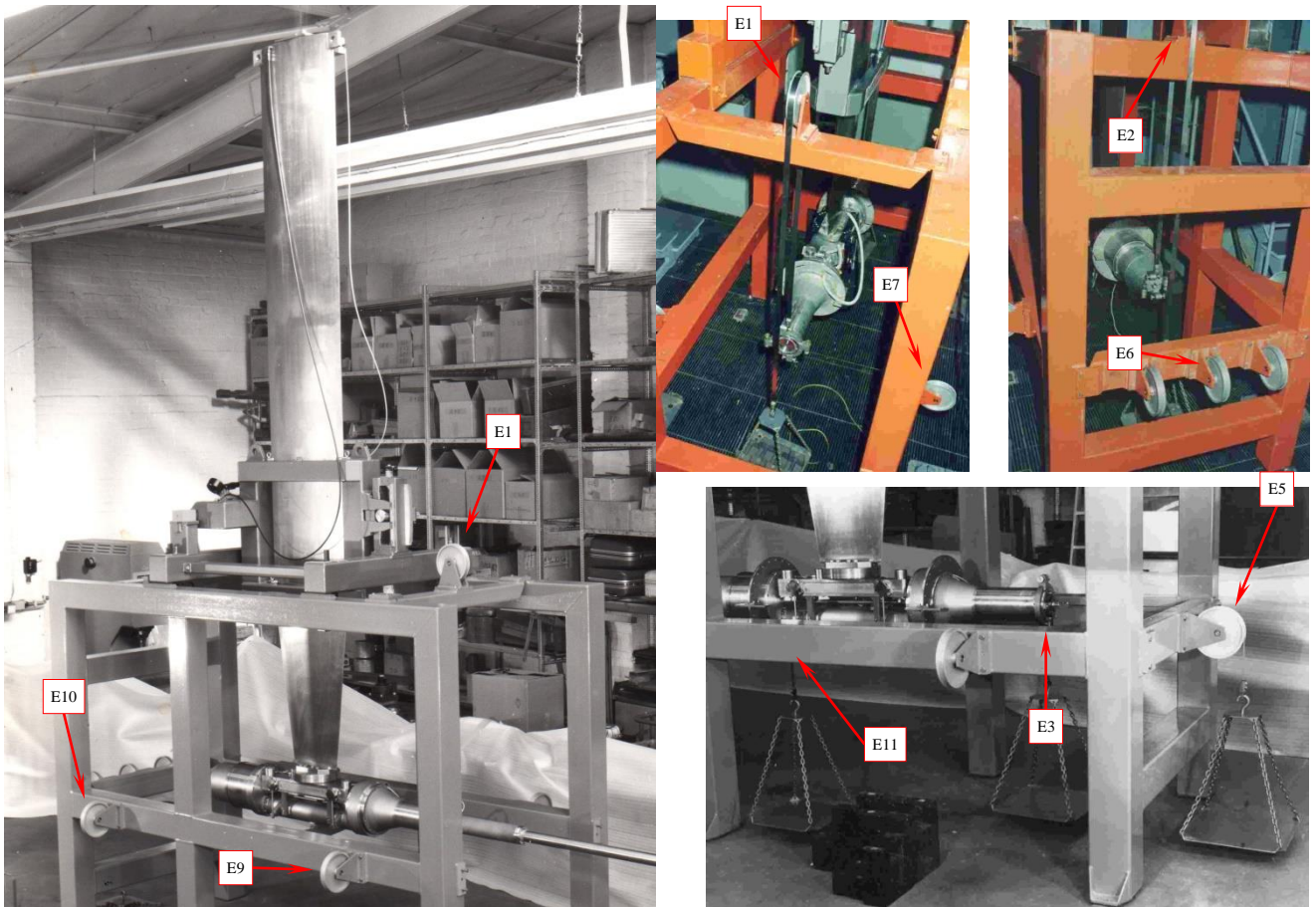


Figura 7. Il supporto R62/IX con l'indicazione di alcune stazioni di taratura.

In Appendice A è riportata l'analisi statica che permette di arrivare alle varie correlazioni tra azione esterna e reazione vincolare. Il risultato finale è presentato qui di seguito, sotto forma di tabelle riassuntive raggruppate in base alle stazioni "omogenee", che hanno di fatto un asse principale di applicazione.

Stazioni di applicazione: E1, E2, E3 ed E4

F applicata e segno	braccio del momento	reazione vincolare
$X=0 \quad Y=0 \quad Z=Z_0$ segno: in E1: $Z_0 > 0$ in E2: $Z_0 > 0$ in E3: $Z_0 < 0$ in E4: $Z_0 < 0$	$x_0 = +1.000 \text{ m}$ $x_0 = -1.000 \text{ m}$ $x_0 = +1.000 \text{ m}$ $x_0 = -1.000 \text{ m}$	$X = 0, \quad Y_1 + Y_2 = 0$ $Z_1 = \frac{Z_0 \left( 1 + 2 \frac{x_0}{b_{z_y}} \right)}{4}$ $Z_1 = \frac{Z_0 \left( 1 + 2 \frac{x_0}{b_{z_y}} \right)}{4}$ $Z_3 = \frac{1}{2} \cdot Z_0$

Stazioni di applicazione: E5 ed E6

F applicata e segno	braccio del momento	reazione vincolare
$X = X_0, Y=0, Z=0$ segno: in E5: $X_0 < 0$ in E6: $X_0 > 0$	--	$X = X_0, Y_1 + Y_2 = 0$ $Z_1 = -\frac{X_0}{2} \cdot \frac{b_{XYx}}{b_{Zy}}$ $Z_2 = +\frac{X_0}{2} \cdot \frac{b_{XYx}}{b_{Zy}}$ $Z_3 = 0$

Stazioni di applicazione: E7, E8, E9 ed E10

F applicata e segno	braccio del momento	reazione vincolare
$X=0, Y= Y_0, Z=0$ segno: in E7: $Y_0 < 0$ in E8: $Y_0 < 0$ in E9: $Y_0 > 0$ in E10: $Y_0 > 0$	$x_0 = -1.000 \text{ m}$ $x_0 = +1.000 \text{ m}$ $x_0 = -1.000 \text{ m}$ $x_0 = +1.000 \text{ m}$	$X=0$ $Y_1 = \frac{Y_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_0}{b_{Yx}}\right)$ $Y_2 = \frac{Y_0}{2} \cdot \left(1 + \frac{x_0}{b_{Yx}}\right)$ $Z_1 = Z_2 = \frac{Y_0}{4} \cdot \frac{b_{XYx}}{b_{Zx}}$ $Z_3 = -\frac{Y_0}{2} \cdot \frac{b_{XYx}}{b_{Zx}}$

Stazioni di applicazione: E11 ed E12

F applicata e segno	braccio del momento	reazione vincolare
$X = X_0, Y=0, Z=0$ segno: in E11: $Z_0 < 0$ in E12: $Z_0 < 0$	$y_0 = -0.500 \text{ m}$ $y_0 = +0.500 \text{ m}$	$X = 0, Y_1 + Y_2 = 0$ $Z_1 = Z_2 = \frac{Z_0}{4} \cdot \left(1 - \frac{y_0}{b_{Zx}}\right)$ $Z_3 = \frac{Z_0}{2} \cdot \left(1 + \frac{y_0}{b_{Zx}}\right)$

## 5 Disegno sperimentale e analisi dei risultati

Come tutte le bilance multicomponenti quindi la R-62 va sottoposta ad un procedimento completo di taratura, applicando le forze nelle tre direzioni degli assi, con i momenti che sono contemporaneamente ottenuti attraverso i bracci di tali forze. La disposizione delle stazioni di taratura del supporto, oltre a permettere il rispetto di tali direzioni, consente di applicare sia una singola componente per volta, sia più componenti contemporaneamente.

La procedura fondamentale segue le linee guida dettate dalla standardizzazione European Accreditation, che oltre a valutare il corretto funzionamento dello strumento, prevede sempre di valutare l'incertezza delle misure eseguite [2].

### 5.1 Il sistema di misura.

Nel corso degli anni sono rimaste invariate le componenti sensoristiche e meccaniche mentre, con il cambio ed il progredire delle tecnologie elettroniche ed informatiche, si sono avvicinati vari sistemi di acquisizione ed elaborazione dei dati.

Tralasciando i precedenti qui viene riportato, schematizzato nella fig.8, il sistema di misura attualmente in uso presso l'Istituto.

I segnali provenienti dai sensori/trasduttori sono trasmessi via cavo al sistema DAQ (Data Acquisition System).

Il DAQ utilizzato è il modello DEWE-43™ dotato di 8 canali analogici campionati contemporaneamente (frequenza max 200KHz/ch). Sono presenti ulteriori 8 ingressi digitali, sincronizzati coi precedenti, in grado di acquisire da contatori, encoder, misuratori di periodi/frequenze. L'hardware fornisce l'alimentazione elettrica necessaria al funzionamento dei sensori, amplifica il segnale di misura al livello del convertitore A/D ed esegue la conversione analogico-digitale (scheda A/D a 24-bit tipo sample/hold) fornendo così un segnale di uscita digitale, compatibile coi moderni calcolatori. La trasmissione dei suddetti segnali di uscita avviene tramite connessione USB ad un personal computer.

Con il software dedicato *DEWESoft* si possono configurare i canali del sistema di acquisizione, visualizzare, memorizzare i dati acquisiti ed operare matematicamente sugli stessi. È possibile, inoltre, esportare i risultati nei più comuni formati dati (Matlab, Excel, ...) per lavorare con i programmi di calcolo matematico maggiormente in uso

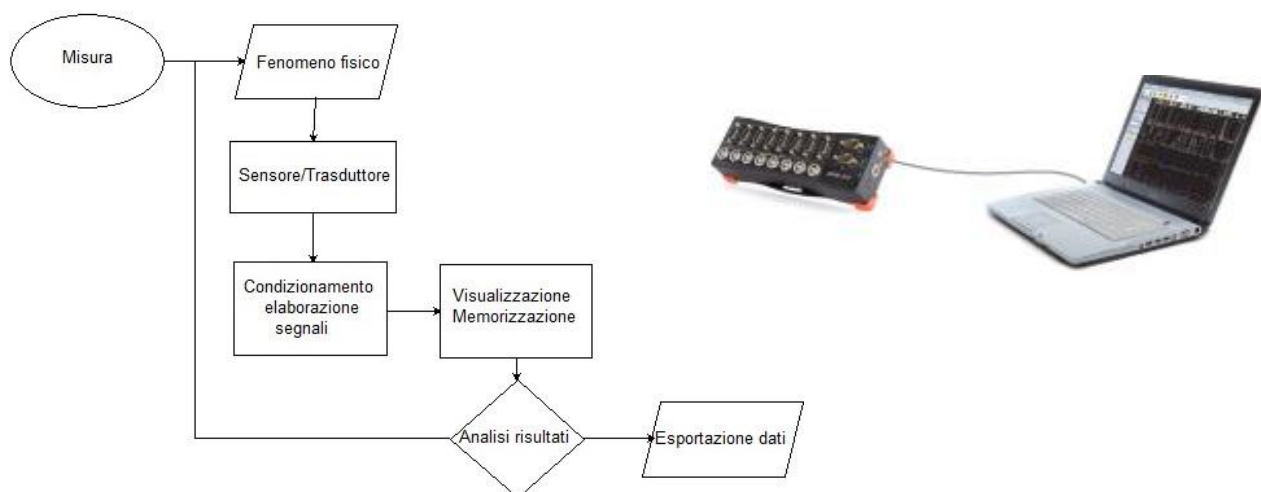


Figura 8. (sinistra) La catena di misura, (destra) i componenti hardware.

### 5.2 Test Matrix.

La sequenza di carichi applicati più semplice è quella che prevede di utilizzare le 12 le stazioni una alla volta. Ciò sollecita solo la forza in direzione dell'asse cartesiano correlato, ma anche il momento associato. Per ogni stazione si segue un ciclo di carico-scarico, indicando i pesi campione

impiegati in modo da poter inserire nei calcoli sia il loro valore che la loro incertezza. In appendice B, tabella 3, si riporta parte della matrice sperimentata per la taratura eseguita nel 2014.

Anche se la rigidità della bilancia rende già molto efficaci ed affidabili i risultati della precedente taratura, i carichi mono direzione in tale sequenza pongono il dubbio se questa sequenza non solleciti la bilancia nelle stesse condizioni che affronta effettivamente durante la sperimentazione. Un corpo immerso che viene trainato in deriva, ad esempio, è soggetto a forze esterne dell'acqua multidirezionali. L'applicazione in taratura di carichi contemporanei in più direzioni si avvicina dunque di più alla realtà. In stretta sequenza alla taratura descritta nel paragrafo precedente perciò è stata eseguita anche una taratura di questo tipo (vedi tabella 4). Sono stati caricati contemporaneamente sia due assi che tutti e tre, eseguendo mini-pacchetti con un peso fisso in una direzione e variando i carichi nell'altra. Come si vedrà di seguito nell'analisi, alla fine non ci sono grosse differenze nei risultati globali ottenuti, sia in termini di fattori di scala che in termini di matrice di interferenza.

### 5.3 Analisi dei risultati.

La prima verifica del buon funzionamento della bilancia è mettere in relazione, per ognuna delle sei componenti, l'azione esterna applicata con le misure ottenute, attraverso delle regressioni lineari. Avendo a disposizione le deviazioni standard sia delle misure che dei pesi campione, ci sono metodi statistici che forniscono la migliore stima di pendenza e intercetta, con valutazione della loro incertezza. I metodi a due variabili, come quello iterativo di Williamson-York [7] sono molto complessi. In questo caso l'elevata qualità dei campioni consente di ottenere regressioni affidabili con metodi dei minimi quadrati pesati "*mono-variati*" [8]. Qui di seguito è riportata l'analisi dei risultati relativi alla campagna eseguita nel 2014. In figura 9 è riportata la regressione per la sola componente X, dove è evidente l'ottima risposta lineare del trasduttore:

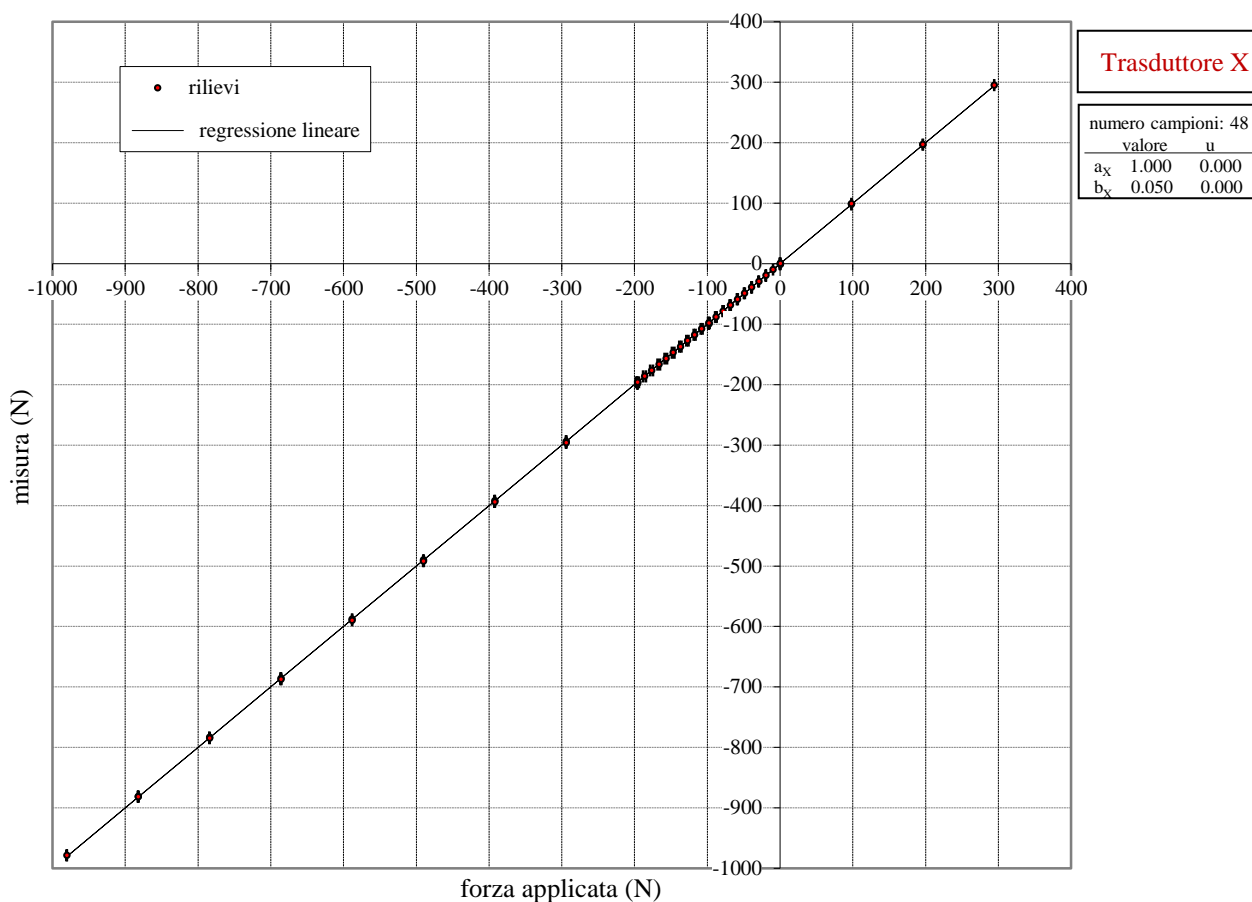


Figura 9. Risposta (misura) del trasduttore X alla sollecitazione esterna (forza applicata).

Si può notare che ci si concentra sul lato negativo del trasduttore poiché è quello sollecitato dalla resistenza del corpo immerso. Il verso positivo del trasduttore viene sollecitato durante le prove di autopropulsione a carico dell'elica variabile a velocità costante. In quel caso, poiché la X misura la somma delle due forze, la spinta dell'elica (positiva) supera quella della resistenza del modello nel momento in cui si supera il cosiddetto punto propulsivo del modello [5].

Le rimanenti cinque componenti invece vengono sempre caricate simmetricamente, poiché esse possono essere sollecitate in entrambe i versi. È il caso delle prove di rilievo dei coefficienti idrodinamici, laddove il modello viene ruotando con angoli di incidenza rispetto al flusso sia positivi che negativi. Le regressioni lineari ottenute sono riportate in appendice B (figure 20 ÷ 24).

#### 5.4 Matrice di interferenza.

In una prova a modello bloccato una forza in una determinata direzione genera sempre sforzi nelle altre direzioni, sforzi che vengono misurati dai relativi sensori. Non essendo carichi effettivamente applicati le misure vanno corrette tenendo conto di questi valori spuri.

Anche se una bilancia è progettata e realizzata in modo ottimale, è difficile eliminare questi cosiddetti “cross-talk”. La migliore tecnica quindi è quella di individuarli in taratura e compensarli in fase di elaborazione dati della sperimentazione. Ciò significa individuare una matrice d'interferenza, nel nostro caso 6x6, applicando una regressione lineare che metta in relazione la

matrice delle variabili indipendenti, l'azione esterna, con quella delle variabili dipendenti, la misura ottenuta dalle sei componenti della bilancia.

La deformabilità della bilancia viene dunque compensata correggendo le misure (pedice "misurata") con una matrice d'interferenza di primo ordine. Ciò fornisce con migliore approssimazione le forze idrodinamiche che effettivamente hanno agito sul modello (pedice "vera") secondo le seguenti formule:

$$F_i = a_i + c_{i,X} \cdot X_{\text{misurata}} + c_{i,Y} \cdot Y_{\text{misurata}} + c_{i,Z} \cdot Z_{\text{misurata}} + c_{i,M_X} \cdot M_{X,\text{misurata}} + c_{i,M_Y} \cdot M_{Y,\text{misurata}} + c_{i,M_Z} \cdot M_{Z,\text{misurata}}$$

dove  $i = X, Y, Z, M_X, M_Y, M_Z$

e  $F_i = X_{\text{vera}}, Y_{\text{vera}}, Z_{\text{vera}}, M_{X,\text{vera}}, M_{Y,\text{vera}}, M_{Z,\text{vera}}$ .

Di seguito è riportata la matrice ottenuta da una regressione lineare a variabili multiple, sempre delle tarature del 2014, utilizzando tutti i 235 rilievi eseguiti caricando alternativamente le varie stazioni singolarmente.

	intercetta	$X_{\text{misurata}}$	$Y_{\text{misurata}}$	$Z_{\text{misurata}}$	$M_{X,\text{misurata}}$	$M_{Y,\text{misurata}}$	$M_{Z,\text{misurata}}$
	(N)	(N)	(N)	(N)	(N·m)	(N·m)	(N·m)
$X_{\text{vera}}$ (N)	0.895	1.00131	-0.00207	-0.00226	0.00836	-0.00325	-0.00071
$Y_{\text{vera}}$ (N)	-1.543	0.00899	0.99827	0.01708	-0.15186	0.00480	0.00014
$Z_{\text{vera}}$ (N)	-1.573	0.00650	-0.00283	1.00323	-0.10995	-0.00124	0.00060
$M_{X,\text{vera}}$ (N·m)	-0.133	-0.00018	-0.00394	-0.00144	0.99075	-0.00065	0.00071
$M_{Y,\text{vera}}$ (N·m)	-0.840	0.00326	0.00048	0.00201	0.00122	1.00163	0.00036
$M_{Z,\text{vera}}$ (N·m)	0.345	-0.01638	-0.00022	0.00062	0.00041	-0.01958	1.00024

Tabella 1. Matrice di interferenza ottenuta con carichi a singola stazione.

I primi elementi da controllare sono i termini diagonali, evidenziati in giallo, che esprimono il comportamento lineare dello strumento quanto più sono prossimi a uno. A parte il momento  $M_X$  attorno all'asse x, il più critico perché uno scostamento dell'1% dal caso ideale, gli altri si discostano dalla linearità dello 0,1÷0,3%. Gli altri elementi della matrice devono essere quanto più prossimi allo zero ed è più difficile dare un giudizio immediato nel loro insieme, poiché l'interferenza totale su una componente è la combinazione di quelle singole delle altre cinque componenti.

Per questo motivo, al fine di fornire un dato più tangibile, è stata effettuata una analisi in post processing dei rilievi acquisiti durante una campagna di prove su un modello eseguita per determinare i coefficienti idrodinamici statici. Qui si seguito si riporta la valutazione del coefficiente di forza  $C_Y$ , determinato dalle forze laterali agenti lungo l'asse di beccheggio y al variare dell'angolo di imbardata  $\beta$  (figura 10).



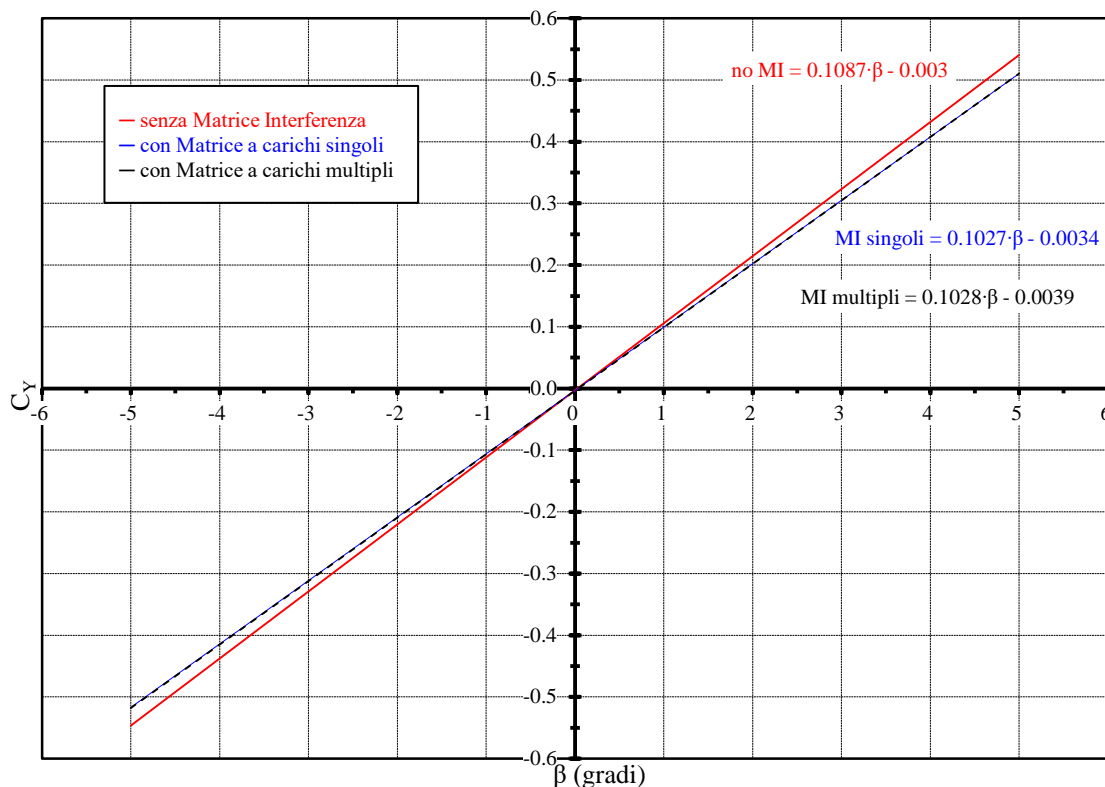


Figura 10. Valutazione del coefficiente di imbardata  $dC_Y/d\beta$  con diverse modalità di utilizzo della matrice di interferenza.

La pendenza della retta di regressione del coefficiente di forza fornisce il relativo coefficiente idrodinamico statico del primo ordine. Le grandezze misurate sono state elaborate sia senza l'applicazione della matrice di interferenza, sia alternativamente con due matrici: quella presentata in precedenza e quella ottenuta con 66 tipi di carico applicati in più direzioni contemporaneamente.

	intercetta	$X_{\text{misurata}}$	$Y_{\text{misurata}}$	$Z_{\text{misurata}}$	$M_{X,\text{misurata}}$	$M_{Y,\text{misurata}}$	$M_{Z,\text{misurata}}$
	(N)	(N)	(N)	(N)	(N·m)	(N·m)	(N·m)
$X_{\text{vera}}$ (N)	0.253	1.00033	0.00105	-0.00269	0.00679	-0.00343	0.00229
$Y_{\text{vera}}$ (N)	-0.059	0.01827	1.00175	0.01384	-0.15595	0.00544	-0.00725
$Z_{\text{vera}}$ (N)	0.303	0.01189	-0.00665	1.00846	-0.11027	-0.00452	-0.00455
$M_{X,\text{vera}}$ (N·m)	0.011	-0.00020	-0.00409	-0.00080	0.99220	-0.00027	0.00074
$M_{Y,\text{vera}}$ (N·m)	0.002	0.00706	-0.00058	0.00135	0.00325	1.00679	-0.00117
$M_{Z,\text{vera}}$ (N·m)	0.647	-0.02617	-0.00260	-0.00056	-0.00209	-0.01757	1.00689

Tabella 2. Matrice di interferenza ottenuta con carichi multipli.

Non applicare la matrice di interferenza in questo caso significa sopravvalutare il coefficiente idrodinamico del 5%, mentre non si rileva differenza dall'utilizzo dei due tipi di taratura eseguiti.

Al fine di inquadrare meglio il comportamento dello strumento, anche in termini di ripetibilità, sono state riassunte i termini delle matrici di interferenza ottenute in quindici anni, dal 2001 al 2016.

I singoli termini diagonali delle sei componenti ottenuti da sette campagne di taratura sono riportati in figura 11, avendo come riferimento il valore ideale 1.

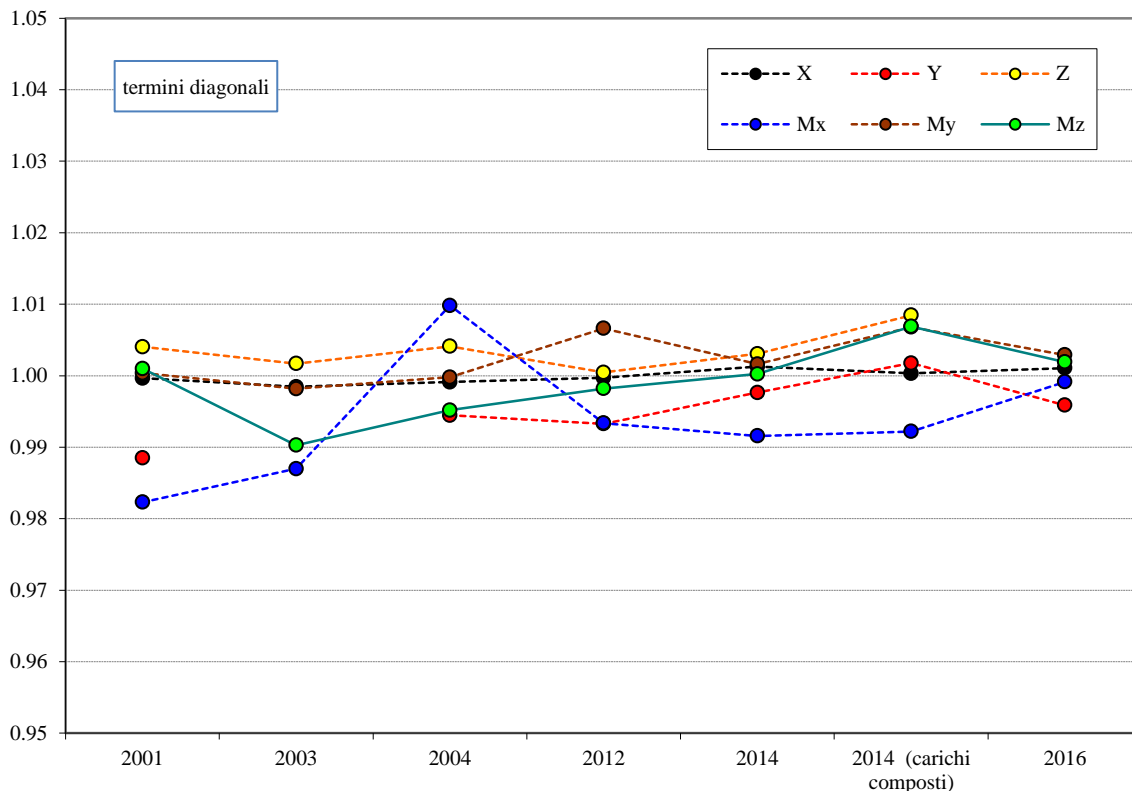


Figura 11. Lo storico dei termini diagonali della matrice calcolati nel tempo.

Successivamente è stata eseguita l'analisi statistica e i valori medi e relative incertezze sono stati infine riportati in figura 12.

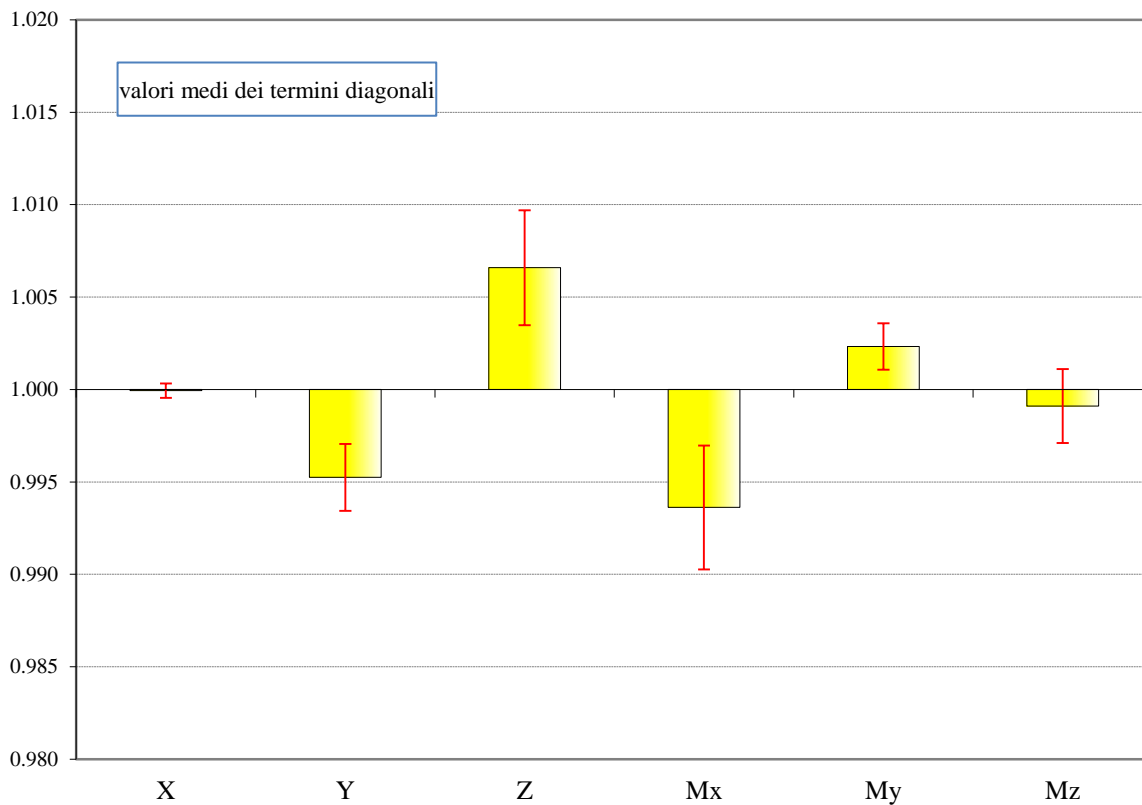


Figura 12. Valori medi dei termini diagonali ottenuti nel tempo con relativa incertezza.

Il grafico può essere utile per valutare la correttezza delle future tarature, valutando se il risultato ottenuto rientra nell'intervallo  $c_{i,i} \pm u$ . Similmente nella figura 13 sono stati raccolti i valori medi dei coefficienti di interferenza ottenuti dalle sette tarature. Per ogni componente di forza o momento i cinque coefficienti di interferenza sono riportati nella sequenza della rispettiva riga della matrice (es.: per Z sono riportati in ordine  $c_{Z,X}$ ,  $c_{Z,Y}$ ,  $c_{Z,Mx}$ ,  $c_{Z,My}$ ,  $c_{Z,Mz}$ )

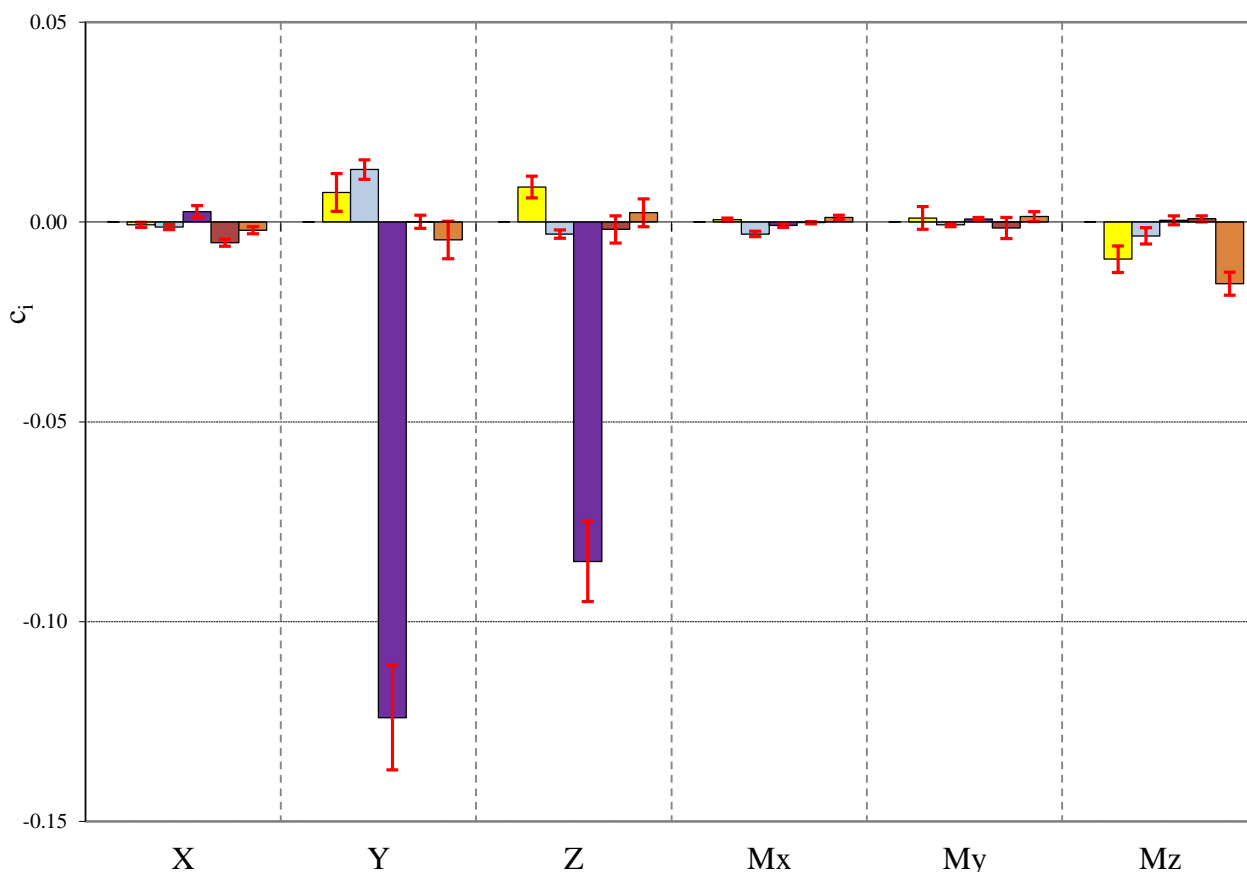


Figura 13. Valori medi dei coefficienti di interferenza valutati nel tempo con relativa incertezza.

## 6 Valutazione dell'incertezza della taratura.

In ogni processo di misurazione di un misurando l'informazione ottenuta è completa solo se è corredata da indicazioni utili ad illustrarne l'affidabilità. Queste indicazioni sono:

- l'incertezza da cui si pensa possa essere affetta la stima del misurando;
- il livello di fiducia che si ha nella stima che si è fatta sull'incertezza.

Il metodo utilizzato per la valutazione dell'incertezza segue le linee guida della ISO GUM [2]. Il punto cardine della procedura è rappresentato dall'esecuzione di specifiche prove per determinare i contributi di incertezza sia di tipo A che B. Riguardo al primo contributo vengono effettuate serie di osservazioni statistiche che collezionano per ogni componente almeno 10 rilievi, per diverse quantità del carico o verso della sollecitazione. Si riportano a seguire alcuni risultati significativi ottenuti con la R-62, che mostrano globalmente una alta ripetibilità delle misure.

Ripetibilità di X

n° osservazione	X (N)	
	misura	misura
1	-195.95	-1173.06
2	-195.95	-1173.26
3	-195.99	-1173.26
4	-196.03	-1173.49
5	-196.03	-1173.57
6	-196.03	-1173.81
7	-196.07	-1173.93
8	-196.38	-1173.96
9	-196.58	-1174.24
10	-196.93	-1174.44
11	-196.97	-1174.51
12	-197.24	-1174.83
13	-197.40	-1174.83
<b>totale osservazioni</b>	<b>13</b>	<b>12</b>
media	-196.42	-1173.86
$\sigma$	0.54	0.56
u	0.15	0.16
u/ $\bar{x}$ (%)	0.08	0.01

Ripetibilità di Z<sub>3</sub> (anno 1999)

n° osservazione	Z <sub>3</sub> - (N)			Z <sub>3</sub> + (N)		
	stazione / serie	peso applicato	misura	stazione / serie	peso applicato	misura
1	E1/1	980	469.87	E2/1	980	479.28
2	E1/1	980	471.54	E2/1	980	479.28
3	E1/1	980	468.79	E2/2	980	478.89
4	E1/1	980	470.26	E2/3	980	478.79
5	E1/2	980	473.40	E2/3	980	479.09
6	E1/2	980	473.89	E2/4	980	479.09
7	E1/3	980	472.72	E2/4	980	479.28
8	E1/3	980	473.21	E2/5	980	479.28
9	E1/4	980	469.19	E2/5	980	479.19
10	E1/4	980	470.75	E2/6	980	479.38
11	E1/5	980	461.05	E2/6	980	479.19
12	E1/5	980	462.23	E2/7	980	479.58
13	E1/6	980	466.74	E2/7	980	479.09
14	E1/6	980	467.52	E2/7	980	479.28
<b>totale osservazioni</b>	<b>n° oss. = 14</b>			<b>n° oss. = 14</b>		
media	469.37			479.19		
$\sigma$	3.93			0.20		
u	1.05			0.05		
u/ $\bar{Z}$ (%)	0.22			0.01		

Ripetibilità di Y<sub>1</sub>

n° osservazione	Y <sub>1</sub> - (N)			Y <sub>1</sub> + (N)		
	stazione / serie	peso applicato	misura	stazione / serie	peso applicato	misura
1	E7/1	1176	-2396.61	E8/1	1176	1244.58
2	E7/1	1176	-2396.61	E8/1	1176	1244.87
3	E7/2	1176	-2396.61	E8/2	1176	1244.77
4	E7/2	1176	-2397.15	E8/2	1176	1245.22
5	E7/3	1176	-2398.03	E8/3	1176	1244.04
6	E7/3	1176	-2398.52	E8/3	1176	1244.38
7	E7/4	1176	-2394.80	E8/4	1176	1215.61
8	E7/4	1176	-2395.34	E8/4	1176	1215.81
9	E7/4	1176	-2395.73	E8/5	1176	1244.63
10	E7/4	1176	-2396.71	E8/5	1176	1244.77
11	E7/5	1176	-2398.48	E8/6	1176	1246.20
12	E7/5	1176	-2400.09	E8/6	1176	1246.64
<b>totale osservazioni</b>	<b>12</b>			<b>n° oss. = 12</b>		
media	-2397.06			1240.13		
$\sigma$	1.50			11.43		
u	0.43			3.30		
u/ $\bar{Y}$ (%)	0.02			0.27		

Ripetibilità di Y<sub>2</sub>

n° osservazione	Y <sub>2</sub> - (N)			Y <sub>2</sub> + (N)		
	stazione / serie	peso applicato	misura	stazione / serie	peso applicato	misura
1	E7/1	1176	1263.20	E8/1	1176	-2430.92
2	E7/1	1176	1263.30	E8/1	1176	-2431.41
3	E7/2	1176	1263.30	E8/2	1176	-2432.35
4	E7/2	1176	1263.35	E8/2	1176	-2433.28
5	E7/3	1176	1263.55	E8/3	1176	-2432.64
6	E7/3	1176	1263.84	E8/3	1176	-2433.08
7	E7/4	1176	1263.06	E8/4	1176	-2404.95
8	E7/4	1176	1263.06	E8/4	1176	-2431.46
9	E7/4	1176	1263.20	E8/5	1176	-2432.20
10	E7/4	1176	1263.30	E8/5	1176	-2434.16
11	E7/5	1176	1263.55	E8/6	1176	-2435.19
12	E7/5	1176	1264.09	E8/6	1176	-2435.19
<b>totale osservazioni</b>	<b>12</b>			<b>n° oss. = 11</b>		
media	1263.40			-2430.15		
$\sigma$	0.31			8.45		
u	0.09			2.55		
u/ $\bar{Y}$ (%)	0.01			0.10		

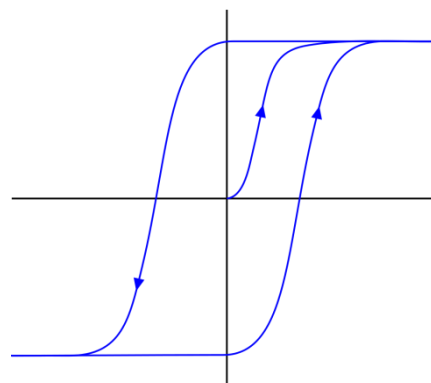
Ripetibilità di Z<sub>1</sub> (anno 1999)

n° osservazione	Z <sub>1</sub> - (N)			Z <sub>1</sub> + (N)		
	stazione / serie	peso applicato	misura	stazione / serie	peso applicato	misura
1	E1/1	980	2108.89	E2/1	980	-1631.17
2	E1/1	980	2116.63	E2/1	980	-1634.80
3	E1/1	980	2108.59	E2/2	980	-1633.03
4	E1/1	980	2114.47	E2/3	980	-1632.74
5	E1/2	980	2105.65	E2/3	980	-1636.96
6	E1/2	980	2108.69	E2/4	980	-1632.45
7	E1/3	980	2106.04	E2/4	980	-1636.66
8	E1/3	980	2110.85	E2/5	980	-1632.25
9	E1/4	980	2108.30	E2/5	980	-1636.56
10	E1/4	980	2112.12	E2/6	980	-1631.86
11	E1/5	980	2106.53	E2/6	980	-1633.82
12	E1/5	980	2111.34	E2/7	980	-1631.86
13	E1/6	980	2104.47	E2/7	980	-1633.92
14	E1/6	980	2108.20	E2/7	980	-1633.92
<b>totale osservazioni</b>	<b>n° oss. = 14</b>			<b>n° oss. = 13</b>		
media	2109.34			-1633.70		
$\sigma$	3.43			1.98		
u	0.92			0.55		
u/ $\bar{Z}$ (%)	0.04			0.03		

Ripetibilità di Z<sub>2</sub> (anno 1999)

n° osservazione	Z <sub>2</sub> - (N)			Z <sub>2</sub> + (N)		
	stazione / serie	peso applicato	misura	stazione / serie	peso applicato	misura
1	E1/1	980	-1634.90	E2/1	980	2098.49
2	E1/1	980	-1613.72	E2/1	980	2125.55
3	E1/1	980	-1644.11	E2/2	980	2100.16
4	E1/1	980	-1620.19	E2/3	980	2127.71
5	E1/2	980	-1627.05	E2/3	980	2099.57
6	E1/2	980	-1618.43	E2/4	980	2120.85
7	E1/3	980	-1609.80	E2/4	980	2083.20
8	E1/3	980	-1609.41	E2/5	980	2099.77
9	E1/4	980	-1607.35	E2/5	980	2080.85
10	E1/4	980	-1610.00	E2/6	980	2092.71
11	E1/5	980	-1594.02	E2/6	980	2084.67
12	E1/5	980	-1597.06	E2/7	980	2096.83
13	E1/6	980	-1598.92	E2/7	980	2096.83
14	E1/6	980	-1600.68	E2/7	980	2096.83
<b>totale osservazioni</b>	<b>n° oss. = 14</b>			<b>n° oss. = 12</b>		
media	-1613.26			2100.86		
$\sigma$	14.56			15.94		
u	3.89			4.60		
u/ $\bar{Z}$ (%)	0.24			0.22		

L'isteresi di un trasduttore è un fenomeno per cui il valore assunto dalla misura durante i cicli di carico e scarico è influenzato, oltre che dal carico, anche dai valori che aveva assunto in precedenza. Durante la taratura della bilancia Remmers un ciclo completo per un trasduttore si esegue in genere quando, dopo aver caricato e scaricato i pesi su una delle stazioni che ne permettono la sollecitazione, si passa a caricare la stazione opposta. Nel caso della R-62 da un punto di vista grafico è difficile visualizzare l'isteresi come presentato in maniera "scolastica" nella figura a fianco. Più significativo è invece fare una valutazione numerica, che poi diventerà una delle componenti dell'incertezza.



Dopo aver eseguito il ciclo di carico e scarico, si valuta l'incertezza  $h_j$ , pari alla metà della media delle differenze delle misure ottenute allo stesso carico tra andata e ritorno.

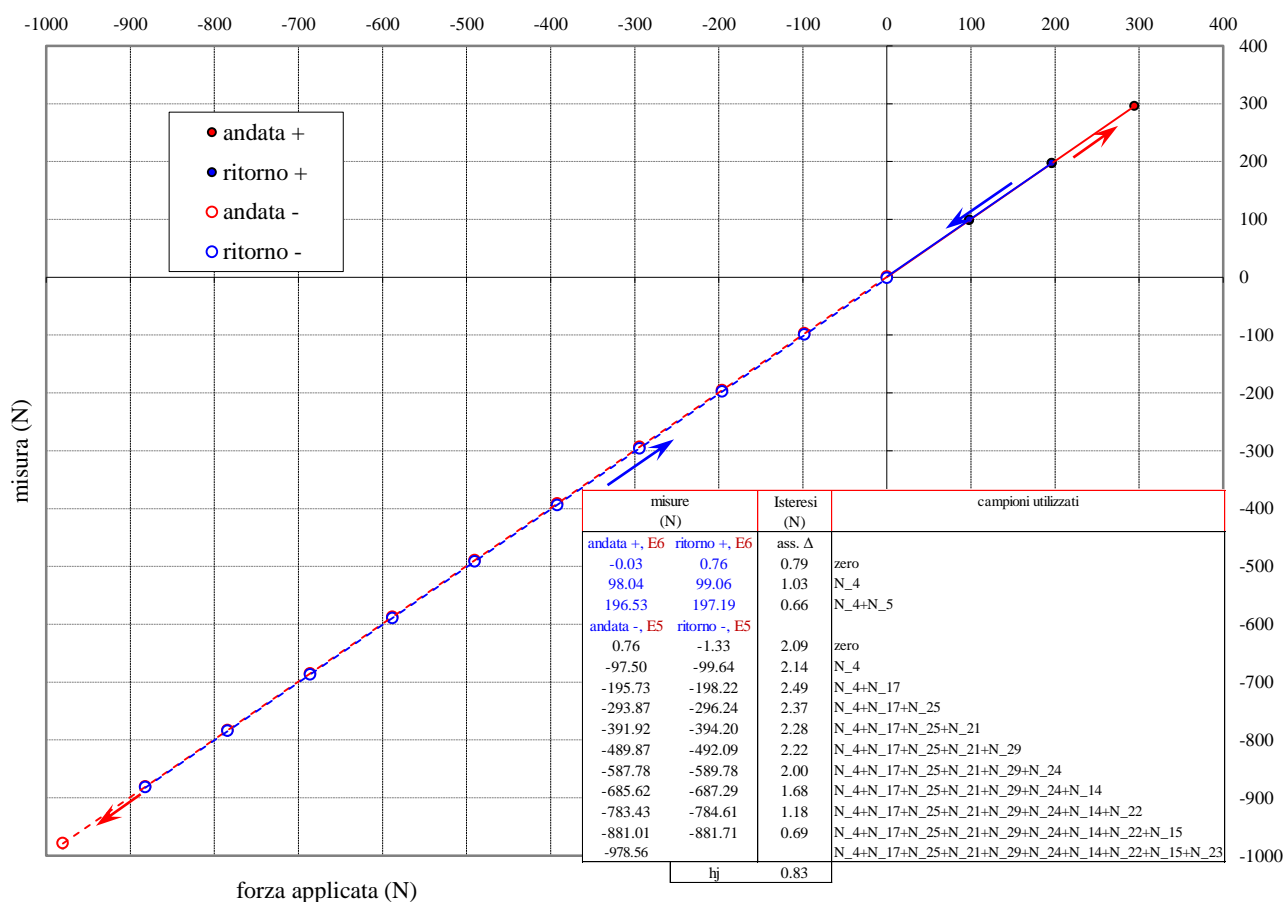


Figura 14. Ciclo di carico-scarico per il trasduttore X, valutazione dell'isteresi.

Durante una valutazione dell'isteresi per la X, con varie tipologie di carico, ci si è accorti che il fenomeno era influenzato da piccoli attriti statici tra parte mobile e fissa della bilancia che insorgevano durante il carico. Facendo infatti vibrare la bilancia dopo ogni singolo carico, e prima di acquisire, il valore dell'isteresi si dimezzava. In questo caso per la valutazione dell'incertezza composta quindi sono stati utilizzati i risultati ottenuti in questa condizione, considerando che è quella più realistica perché durante le prove in vasca le vibrazioni del sistema sono notevoli. D'altra

parte in genere nei cicli di carico-scarico la vibrazione non è applicata, anche perché non influenza la valutazione dei fattori di scala, che rimane sempre lo scopo principale della taratura. Nelle tabelle da 8 a 12 sono presentate le valutazioni per le altre componenti della bilancia. Qui di seguito si mostra uno solo dei cicli, relativo al trasduttore  $Z_2$  che ha presentato la maggiore incertezza, solo per evidenziare che comunque anche in questo caso è difficile visualizzare le differenze tra carico e scarico.

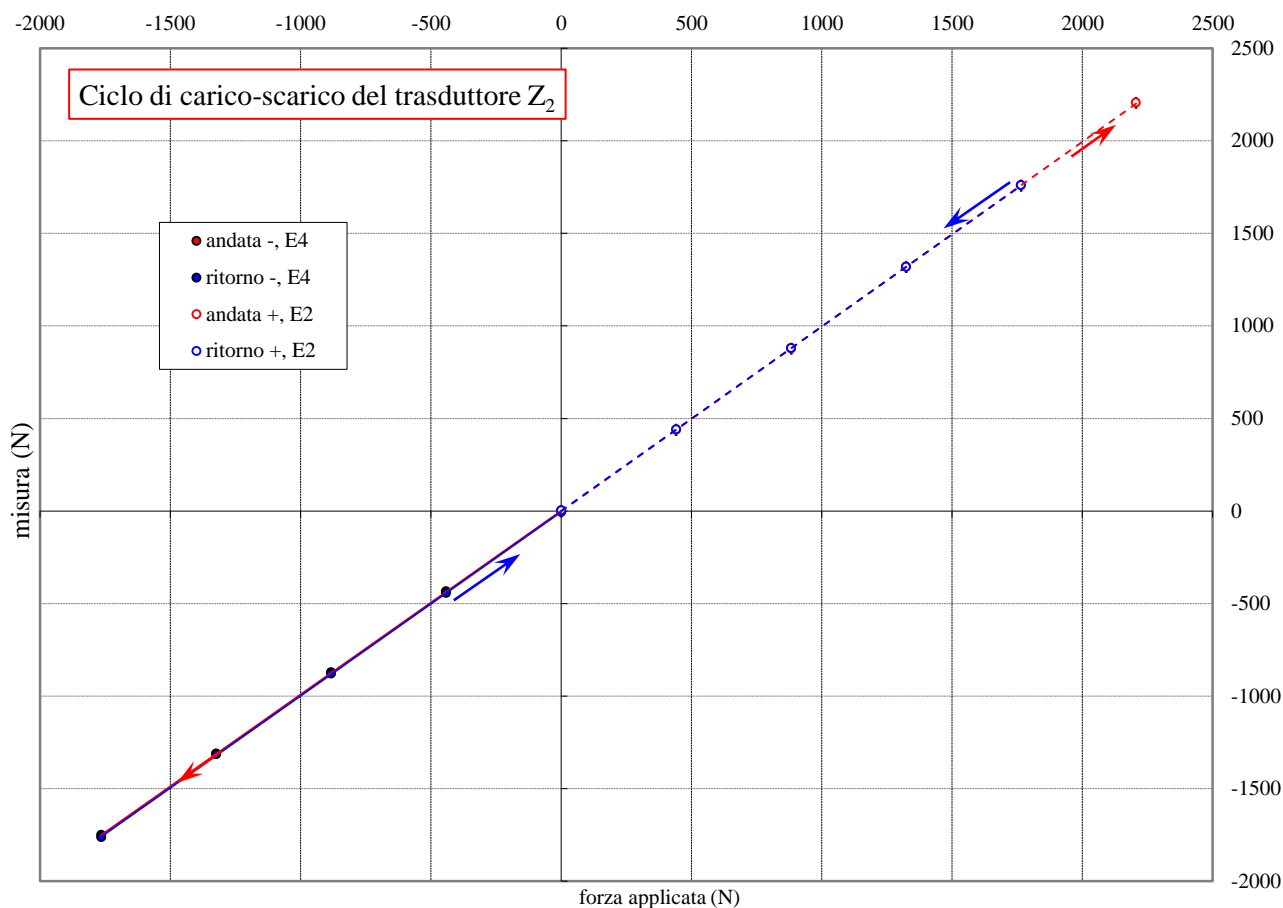


Figura 15. Ciclo di carico-scarico per il trasduttore  $Z_2$ .

Tra le altre componenti dell'incertezza che possono influenzare il processo di taratura, l'INM include la risoluzione dello strumento, la deviazione standard del segnale acquisito, l'incertezza dovuta ai campioni riferimento e infine l'errore introdotto dalle regressioni lineari. Quest'ultime nel nostro caso hanno spesso un peso significativo. Qui di seguito si riporta per il trasduttore X il quadro sinottico con cui l'INM di norma riassume la valutazione dell'incertezza, insieme al grafico che visualizza i vari contributi di incertezza e l'incertezza composta.

Per ogni contributo vengono riportate informazioni quali la tipologia A o B, la distribuzione statistica ipotizzata ed il divisore associato.

## Report di taratura trasduttore X

Caratteristiche strumento				Condizioni taratura e campioni di riferimento			
Strumento	costruttore	modello	n° identificazione	procedura	campioni riferimento	campioni utilizzati	certificato
trasduttore	Remmers	R-62 X	No. 13	Pr31, Pr44	masse	N4 to N23	
unità di misura	portata nominale	campo di taratura	sovraccarico massimo	temperatura	umidità relativa	posizione fissaggio	supporto
N	1000	-980 to 294	120%	18	33%	orizzontale	R-62 IX

## Bilancio incertezza per X

Fonte d'incertezza	valore	Tipo A/B	Distribuzione probabilità	divisore	c	contributo d'incertezza
risoluzione	0.20	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.12
deviazione standard del segnale	0.086	A	normale	2	1	0.04
ripetibilità	0.161	A	normale	2	1	0.08
isteresi	0.269	A	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.16
disallineamento	0.096	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.06
campioni riferimento	0.059	B	normale	2	1	0.03
regressione lineare	0.383	A	normale	2	1	0.19
<b>incertezza composta</b>						<b>0.29</b>

## Analisi di conformità

Incertezza richiesta*	0.20	Incertezza estesa %	0.06	Conforme
-----------------------	------	---------------------	------	----------

## Bilancio incertezza per X

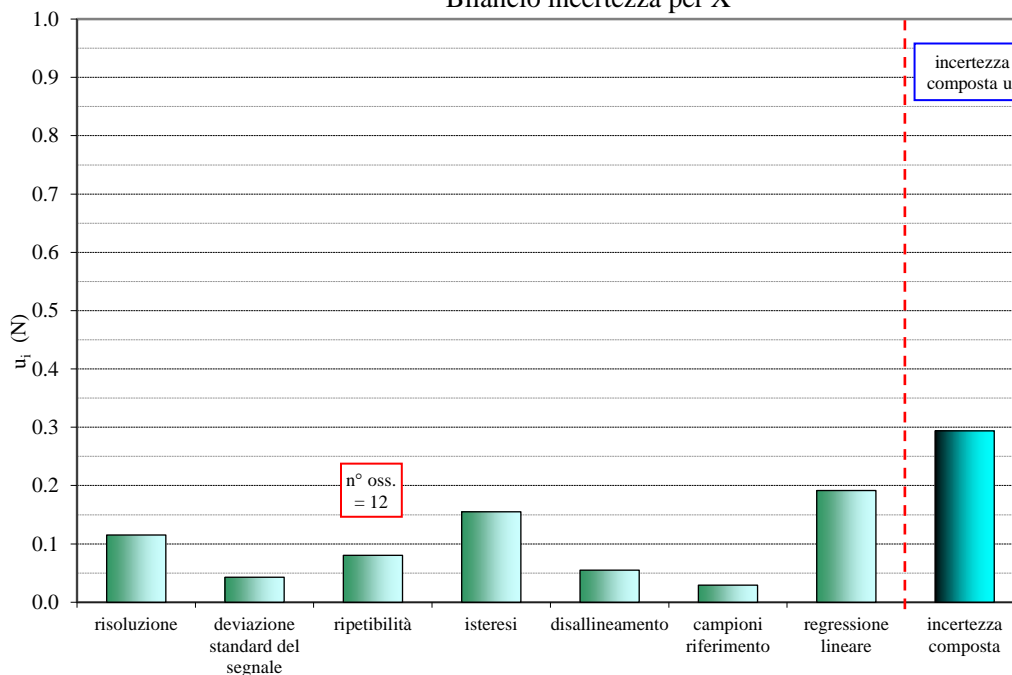


Figura 16. Valutazione dell'incertezza composta il trasduttore X.

Al solito l'incertezza ottenuta per le altre cinque componenti è riportata in appendice B.

## 7 Conclusioni.

In questo rapporto sono riportati i principali risultati di taratura ottenuti sulla bilancia a sei componenti Remmers R62 per prove su corpi immersi.

- La linearità nella risposta dei singoli trasduttori risulta molto buona. Il trasduttore X da 1 kN, sollecitato in un verso fino al fondo scala, presenta in media una linearità pari a 1. I trasduttori di forza laterale  $Y_1$  e  $Y_2$  da 6 kN sono stati sollecitati in entrambe le direzioni fino a circa la metà del fondo scala, con scostamenti delle pendenze delle rette di regressione dal caso ideale dell'ordine del per mille. I trasduttori di forza verticale  $Z_1$  e  $Z_2$  da 6 kN sono stati anch'essi



sollecitati fino a circa metà FS, con uno scostamento delle rette di regressione che va dal 3 al 6%. Il trasduttore  $Z_3$ , sempre da 6 kN, invece, data la sua posizione longitudinale centrale, risulta sollecitato solo di un decimo del fondo scala.

- Quando si passa alla combinazione dei trasduttori per misurare le sei componenti dell'azione esterna la linearità è rappresentata dai termini diagonali della matrice di interferenza. Naturalmente lo scostamento è in stretta relazione con quello dei singoli trasduttori, e va dall'1% della X fino al 6% della forza verticale Z e del momenti di rollio  $M_X$ . Le interferenze in maggior parte sono contenute in una fascia di scostamento dallo zero (caso ideale, nessuna interferenza) pari a  $\pm 0.02$ , ad eccezione di un paio di valori intorno a -0.10, legati alla misura del momento di rollio, che resta quella con maggiore indeterminazione.
- Nella valutazione dell'incertezza composta dei singoli trasduttori si rileva differenza tra il trasduttore X e gli altri. Del resto la bilancia è stata realizzata fondamentalmente per prove di rimorchio ed autopropulsione. La  $u_c$  di X è infatti uguale a 0.3 N, mentre le altre intorno a 2N, con un valore massimo di 3N.

Per quanto concerne l'incertezza, probabilmente la migliore indicazione di cosa significa per le misure durante le prove in acqua la fornisce il seguente grafico a barre. In esso sono riportate le varie componenti dell'incertezza valutate durante prove di rimorchio su un modello di sommergibile. La prima componente è la  $u_c$  della X.

Le incertezze sono riportate in percentuale della misura della resistenza a tre velocità (3 valori del numero di Froude Fr). La componente "taratura" ha un peso significativo, e comunque va dallo 0.4% a bassa velocità fino allo 0.25% della misura di resistenza del sommergibile ad alta velocità.

## Bibliografia

---

- 1 Kempf & Remmers GmbH, Operating Instructions R 62
- 2 Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement ISO GUM (JCGM 100 : 2008 – BIPM)
- 3 Gertler M., "Resistance Experiments on a Systematic Series of Streamlined Bodies of Revolution – for Application to the Design of High-Speed Submarines," David W. Taylor Model Basin Report, April 1950
- 4 Hamilton G.F., Model and Trial Analysis Deeply Submerged Single Screws Submarines
- 5 ITTC Recommended Procedures: 7.5-02-03-01.1 "Testing and Extrapolation Methods Propulsion, Performance Propulsion Tests"
- 6 Sale M. *Pretaratura supporto bilancia R62-IX*. Rapporto tecnico CNR-INSEAN (2006)
- 7 Cantrell, C. A.: Technical Note: Review of methods for linear least-squares fitting of data and application to atmospheric chemistry problems, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 5477–5487, doi:10.5194/acp-8-5477-2008, 2008.
- 8 Bevington, P. R., and D. K. Robinson (2003), *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*, 3rd ed. Boston, MA: McGraw-Hill, ISBN 0-07-247227-8, 2003.

Appendice A

1. Relazioni nei piani XY, XZ e YZ.

L'equilibrio di forze e momenti, insieme alle formule (1) e (2), consentono di determinare i valori di misura attesi dei sei trasduttori della bilancia. Le risposte sono valutate in base all'applicazione separata di componenti normali ai tre piani cartesiani.

Se si applica una forza  $F = F_Z = Z_0$ , parallela all'asse delle  $z$  e perpendicolare al piano XY, nel punto di applicazione  $P_0(x_0, y_0, 0)$ ,

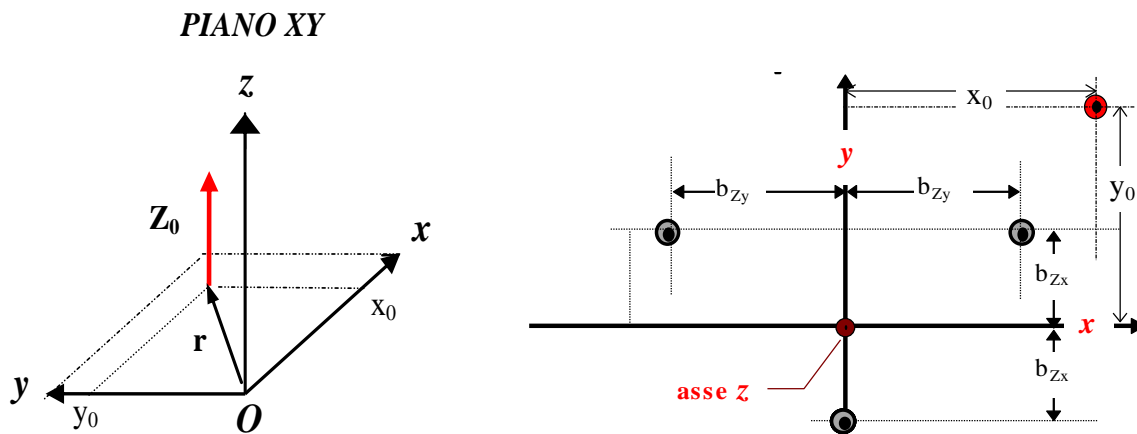


Figura 17. Piano XY: (sn) forza applicata, (dx) disposizione dei trasduttori.

essa produce le seguenti sei componenti di risposta della bilancia:

componenti della forza

$$X = 0$$

$$Y = Y_1 + Y_2 = 0$$

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 = Z_0$$

componenti dei momenti

$$M_x = (Z_1 + Z_2 - Z_3) \cdot b_{Zx} = Z_0 \cdot y_0$$

$$M_y = (Z_1 - Z_2) \cdot b_{Zy} = -Z_0 \cdot x_0$$

$$M_z = 0$$

Se si applica una forza  $F = F_Y = Y_0$ , parallela all'asse delle  $y$  e perpendicolare al piano XZ, nel punto di applicazione  $P_0(x_0, 0, z_0)$ ,

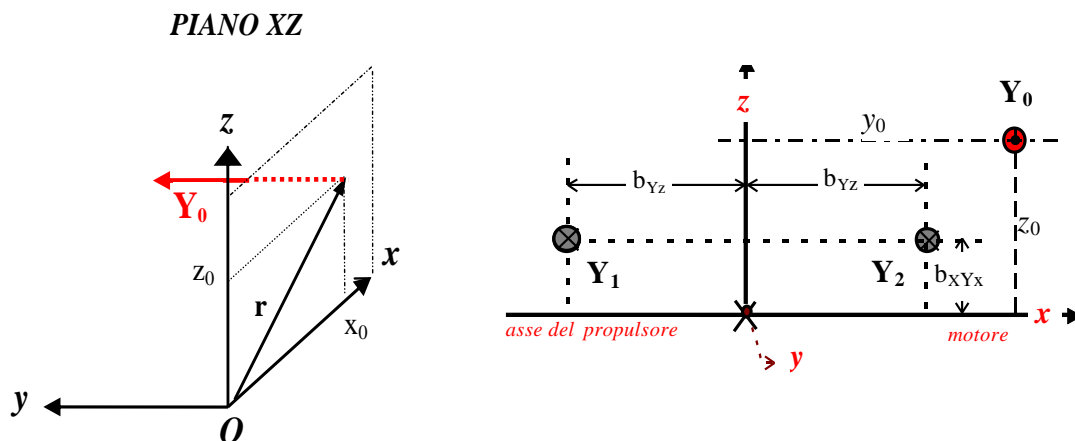


Figura 18. Piano xz: (sn) forza applicata, (dx) disposizione dei trasduttori.

le sei componenti di risposta sono:

componenti della forza

$$X = 0$$

$$Y = Y_1 + Y_2 = Y_0$$

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0$$

componenti dei momenti

$$M_x = -(Y_1 + Y_2) \cdot b_{XYx} = -Y_0 \cdot z_0$$

$$M_y = 0$$

$$M_z = (Y_2 - Y_1) \cdot b_{YZ} = Y_0 \cdot x_0$$

Se si applica una forza  $\mathbf{F} = \mathbf{F}_x = \mathbf{X}_0$ , parallela all'asse delle x e perpendicolare al piano YZ, nel punto di applicazione  $P_0(0, y_0, z_0)$

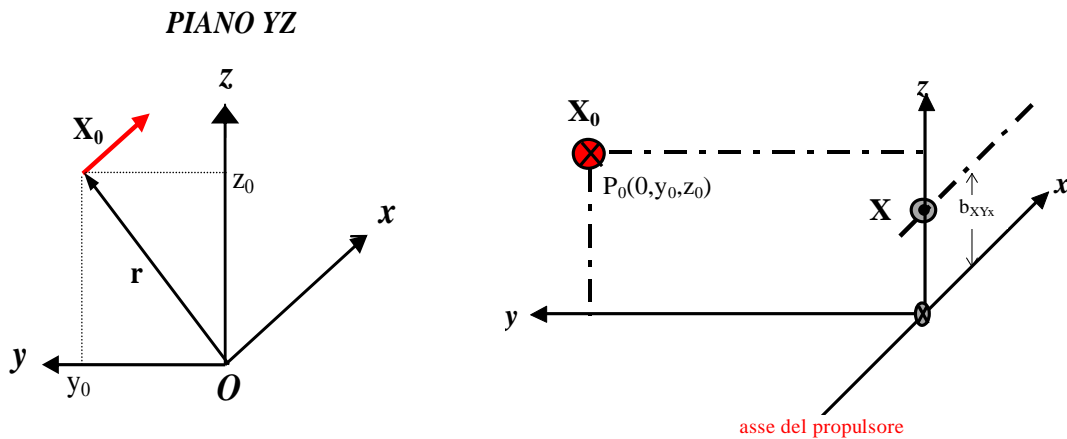


Figura 19. Piano YZ: (sn) forza applicata, (dx) disposizione dei trasduttori.

le sei componenti di risposta sono:

componenti della forza

$$X = X_0$$

$$Y = Y_1 + Y_2 = 0$$

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0$$

componenti dei momenti

$$M_x = 0$$

$$M_y = X \cdot b_{XYx} = X_0 \cdot z_0$$

$$M_z = 0 = -X_0 \cdot y_0 \quad (1)$$

(1) la bilancia è "cieca" ad un disassamento  $y_0$  rispetto all'asse x

Applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, se si applica una generica forza di componenti  $X_0$ ,  $Y_0$  e  $Z_0$  in un punto  $P_0(x_0, y_0, z_0)$ , le relazioni generali si ottengono dalla somma delle tabelle 1, 2 e 3:

Forze, relazioni generali

$$X = X_0$$

$$Y = Y_1 + Y_2 = Y_0$$

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 = Z_0$$

Momenti, relazioni generali

$$M_x = (Z_1 + Z_2 - Z_3) \cdot b_{Zx} - (Y_1 + Y_2) \cdot b_{XYx} = Z_0 \cdot y_0 - Y_0 \cdot z_0$$

$$(3) \quad M_y = (Z_1 - Z_2) \cdot b_{Zy} + X \cdot b_{XYx} = -Z_0 \cdot x_0 + X_0 \cdot z_0 \quad (4)$$

$$M_z = (Y_2 - Y_1) \cdot b_{YZ} = Y_0 \cdot x_0 - X_0 \cdot y_0$$

## 2. Procedura di taratura a singole stazioni

Durante la taratura, in base alle stazioni di taratura del supporto R62/IX utilizzate, applicando le (3) e (4) si ottengono i valori nominali di output dei sei trasduttori di forza, da confrontare con l'effettiva misura.

Un peso campione applicato alternativamente nelle stazioni E1, E2, E3 ed E4, con posizione  $P_0(x_0, 0, 0)$ , produce l'azione esterna  $F = Z_0$ , positiva o negativa qui di seguito riportata:

posizione	Forza applicata: $Z_0 =$	punto di applicazione $P_0(x_0, 0, 0)$ $x_0 =$
E1	$+Z_0$	+1.000 m
E2	$+Z_0$	-1.000 m
E3	$-Z_0$	+1.000 m
E4	$-Z_0$	-1.000 m

e sollecita i trasduttori  $Z_i$ . In questo caso si possono usare le formule di Tabella 1 semplificate, che conducono al seguente sistema:

$$\begin{aligned} X &= 0 & (Z_1 + Z_2 - Z_3) \cdot b_{Zx} &= Z_0 \cdot y_0 \\ Y_1 + Y_2 &= 0 & (Z_1 - Z_2) \cdot b_{Zy} &= -Z_0 \cdot x_0 \\ Z_1 + Z_2 + Z_3 &= Z_0 \end{aligned}$$

le cui soluzioni per le  $Z_i$  sono:

$$Z_1 = \frac{Z_0 \left( 1 + 2 \frac{x_0}{b_{Zy}} \right)}{4} \quad Z_2 = \frac{Z_0 \left( 1 - 2 \frac{x_0}{b_{Zy}} \right)}{4} \quad Z_3 = \frac{1}{2} \cdot Z_0$$

Un peso applicato nelle stazioni E5 ed E6, con posizione  $P_0(x_0, 0, 0)$  non significativa, produce un'azione esterna coincidente con l'asse  $x$ ,  $F = X_0$ , in senso positivo o negativo come di seguito:

posizione	Forza applicata: $X_0 =$	punto di applicazione $P_0(x_0, 0, 0)$
E5	$-X_0$	sull'asse $x$
E6	$+X_0$	sull'asse $x$

e sollecita, oltre che ovviamente il trasduttore  $X$ , anche i trasduttori  $Z_i$ . Le relazioni generali, semplificate nel caso:

$$\begin{aligned} X &= X_0 & (Z_1 + Z_2 - Z_3) \cdot b_{Zx} &= 0 \\ Y_1 + Y_2 &= 0 & (Z_1 - Z_2) \cdot b_{Zy} + X_0 \cdot b_{XYx} &= 0 \\ Z_1 + Z_2 + Z_3 &= 0 \end{aligned}$$

conducono al seguente sistema:

$$\begin{cases} Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0 \\ Z_1 + Z_2 - Z_3 = 0 \\ (Z_1 - Z_2) \cdot b_{Zy} = -b_{XYx} \cdot X_0 \end{cases} \quad 1$$

e cui soluzioni sono

$$Z_1 = -\frac{X_0}{2} \cdot \frac{b_{XYx}}{b_{Zy}}, \quad Z_2 = +\frac{X_0}{2} \cdot \frac{b_{XYx}}{b_{Zy}} \quad e \quad Z_3 = 0$$

Un peso applicato alternativamente nelle stazioni E7, E8, E9 ed E10, con la solita posizione  $P_0(x_0, 0, 0)$ , produce l'azione esterna  $F = Y_0$ , positiva o negativa qui di seguito riportata:

posizione	Forza applicata: $Y_0 =$	punto di applicazione $P_0 (x_0, 0, 0)$ $x_0 =$
E7	$-Y_0$	-1.000 m
E8	$-Y_0$	+1.000 m
E9	$+Y_0$	-1.000 m
E10	$+Y_0$	+1.000 m

che sollecita tutti i trasduttori tranne la X. In questo caso le relazioni generali si semplificano nel seguente sistema:

$$X = 0 \quad (Z_1 + Z_2 - Z_3) \cdot b_{Zx} - (Y_1 + Y_2) \cdot b_{XYx} = 0$$

$$Y_1 + Y_2 = Y_0 \quad (Z_1 - Z_2) \cdot b_{Zy} = 0$$

$$Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0 \quad (Y_2 - Y_1) \cdot b_{Yz} = Y_0 \cdot x_0$$

dalle quali si individuano due sistemi:

$$\begin{cases} Y_1 + Y_2 = Y_0 \\ -Y_1 + Y_2 = \frac{x_0}{b_{Yz}} \end{cases} \quad \begin{cases} Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0 \\ Z_1 + Z_2 - Z_3 = Y_0 \cdot \frac{b_{XYx}}{b_{Zx}} \\ (Z_1 - Z_2) = 0 \end{cases}$$

le cui soluzioni sono:

$$Y_1 = \frac{Y_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{x_0}{b_{Yx}}\right), \quad Y_2 = \frac{Y_0}{2} \cdot \left(1 + \frac{x_0}{b_{Yx}}\right) \quad \text{e} \quad Z_1 = Z_2 = \frac{Y_0}{4} \cdot \frac{b_{XYx}}{b_{Zx}}, \quad Z_3 = -\frac{Y_0}{2} \cdot \frac{b_{XYx}}{b_{Zx}}$$

Infine un peso applicato nelle stazioni E11 ed E12, con posizione  $P_0 (0, y_0, 0)$ , produce ancora un'azione esterna verticale, solo negativa  $F = -Z_0$ , ma ha lo scopo di sollecitare in particolare il momento  $M_x$ .

posizione	Forza applicata: $Z_0 =$	punto di applicazione $P_0 (0, x_0, 0)$ $y_0 =$
E11	$-Z_0$	-0.500 m
E12	$-Z_0$	+0.500 m

Le relazioni generali divengono:

$$X = 0 \quad (Z_1 + Z_2 - Z_3) \cdot b_{Zx} = Z_0 \cdot y_0$$

$$Y_1 + Y_2 = 0 \quad (Z_1 - Z_2) \cdot b_{Zy} = 0$$

$$Z_1 + Z_2 + Z_3 = Z_0$$

dalle quali si individua il sistema:

$$\begin{cases} Z_1 + Z_2 + Z_3 = Z_0 \\ Z_1 + Z_2 - Z_3 = -\frac{y_0}{b_{Zx}} Z_0 \\ (Z_1 - Z_2) = 0 \end{cases}$$

Le cui soluzioni sono:

$$Z_1 = Z_2 = \frac{Z_0}{4} \cdot \left(1 - \frac{y_0}{b_{Zx}}\right) \quad Z_3 = \frac{Z_0}{2} \cdot \left(1 + \frac{y_0}{b_{Zx}}\right)$$

## Appendice B

## Tabelle e grafici

Tabella 3. Esempio di Test Matrix in tatura a singola stazione.

Test Matrix

n° rilievo	data	stazione E	Sequenza di tratura		Misura delle 6 componenti bilancia						Misura dell'azione esterna applicata					
			peso applicato (N)	pesi campione utilizzati	X (N)	Y <sub>1</sub> (N)	Y <sub>2</sub> (N)	Z <sub>1</sub> (N)	Z <sub>2</sub> (N)	Z <sub>3</sub> (N)	X (N)	Y (N)	Z (N)	Mx (N-m)	My (N-m)	Mz (N-m)
1	4/apr/14	1	0.0	zero	0.02	-0.1	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0
2	"	1	196.1	N <sub>5</sub> +N <sub>4</sub>	0.96	-8.2	3.3	441.4	-339.2	94.4	1.0	-4.9	196.6	1.1	195.2	3.7
3	"	1	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	1.85	-16.0	6.3	882.5	-678.9	190.3	1.8	-9.7	393.9	1.9	390.4	7.1
4	"	1	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	2.65	-23.4	9.1	1324.9	-1020.1	287.0	2.6	-14.3	591.7	2.6	586.3	10.4
5	"	1	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	3.40	-31.1	12.0	1765.9	-1360.4	383.8	3.4	-19.1	789.2	3.2	781.7	13.8
6	"	1	980.4	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub> +N <sub>18</sub> +N <sub>19</sub>	4.10	-38.8	14.9	2208.6	-1700.7	480.8	4.1	-23.9	988.6	4.0	977.4	17.2
7	"	1	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	3.59	-31.3	12.2	1770.1	-1363.2	384.2	3.6	-19.1	791.1	3.3	783.4	13.9
8	"	1	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	2.91	-23.8	9.5	1325.8	-1021.3	287.6	2.9	-14.3	592.0	2.5	586.9	10.6
9	"	1	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	2.13	-16.3	6.7	884.1	-681.2	191.2	2.1	-9.6	394.1	1.7	391.4	7.3
10	"	1	196.1	N <sub>5</sub> +N <sub>4</sub>	1.23	-8.6	3.8	442.8	-341.1	95.2	1.2	-4.9	196.9	0.9	196.0	4.0
11	"	1	0.0	zero	0.22	-0.7	0.5	1.4	-1.7	0.3	0.2	-0.2	0.0	-0.1	0.8	0.4
12	"	2	0.0	zero	-0.04	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
13	"	2	196.1	N <sub>5</sub> +N <sub>4</sub>	-0.04	4.6	-7.7	-342.2	438.6	95.9	0.0	-3.1	192.3	0.1	-195.2	-3.9
14	"	2	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	0.03	9.2	-15.5	-684.4	877.5	192.3	0.0	-6.3	385.4	0.3	-390.5	-7.9
15	"	2	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	0.07	13.8	-23.3	-1026.6	1317.7	288.8	0.1	-9.5	579.9	0.5	-586.1	-11.9
16	"	2	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	0.26	18.5	-31.2	-1368.7	1758.3	385.2	0.3	-12.7	774.8	0.9	-781.7	-15.9
17	"	2	980.4	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub> +N <sub>18</sub> +N <sub>19</sub>	0.60	23.5	-39.3	-1711.4	2205.0	482.0	0.6	-15.8	975.5	1.8	-979.1	-20.1
18	"	2	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	0.29	19.1	-31.5	-1370.7	1759.7	385.5	0.3	-12.4	774.5	0.7	-782.6	-16.2
19	"	2	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	0.12	14.8	-23.9	-1029.2	1318.7	289.1	0.1	-9.1	578.5	0.3	-587.0	-12.4
20	"	2	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	0.00	10.3	-16.2	-687.5	879.2	192.7	0.0	-5.8	384.3	0.0	-391.7	-8.5
21	"	2	196.1	N <sub>5</sub> +N <sub>4</sub>	0.01	5.8	-8.6	-345.4	440.5	96.3	0.0	-2.8	191.4	-0.1	-196.5	-4.6
22	"	2	0.0	zero	0.07	1.2	-0.8	-3.1	1.9	0.3	0.1	0.4	-0.9	-0.2	-1.3	-0.7
23	4/apr/14	3	0.0	zero	-0.21	-1.3	0.7	-0.2	-0.3	0.5	-0.2	-0.7	0.0	-0.1	0.0	0.6
24	"	3	196.1	N <sub>5</sub> +N <sub>4</sub>	-1.54	7.1	-2.8	-439.4	340.1	-96.6	-1.5	4.4	-195.9	-0.4	-194.9	-3.2
25	"	3	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	-2.94	15.8	-6.3	-878.2	680.9	-193.6	-2.9	9.5	-390.9	-0.7	-389.9	-7.0
26	"	3	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	-4.51	24.3	-9.9	-1317.0	1022.1	-290.5	-4.5	14.5	-585.5	-0.9	-584.9	-10.9
27	"	3	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	-6.04	32.8	-13.5	-1755.4	1363.6	-387.5	-6.0	19.3	-779.4	-1.0	-779.9	-14.8
28	"	3	980.4	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub> +N <sub>18</sub> +N <sub>19</sub>	-7.67	41.4	-17.2	-2193.7	1706.0	-484.3	-7.7	24.2	-972.1	-1.0	-975.1	-18.8
29	"	3	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	-6.13	33.1	-13.7	-1756.2	1363.9	-387.5	-6.1	19.4	-779.9	-1.1	-780.2	-15.0
30	"	3	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	-4.63	24.7	-10.1	-1318.0	1022.7	-290.6	-4.6	14.5	-586.0	-1.0	-585.3	-11.1
31	"	3	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	-3.07	16.1	-6.6	-879.4	681.6	-193.7	-3.1	9.5	-391.5	-0.8	-390.3	-7.3
32	"	3	196.1	N <sub>5</sub> +N <sub>4</sub>	-1.62	7.4	-2.9	-440.3	340.7	-96.6	-1.6	4.5	-196.3	-0.5	-195.3	-3.3
33	"	3	0.0	zero	-0.26	-1.2	0.6	-0.8	-0.1	0.5	-0.3	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	0.6
34	7/apr/14	3	0.0	zero	0.02	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.3	-0.1	0.0	0.0	-0.1
35	"	3	98.0	N <sub>4</sub>	-0.62	4.1	-1.9	-219.6	170.1	-48.5	-0.6	2.2	-98.1	-0.2	-97.4	-1.9
36	"	3	196.1	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub>	-1.36	8.4	-3.7	-439.2	340.4	-97.2	-1.4	4.8	-195.9	-0.3	-194.9	-3.9
37	"	3	294.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub>	-1.99	12.7	-5.2	-658.5	510.7	-145.7	-2.0	7.5	-293.5	-0.5	-292.3	-5.7
38	"	3	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	-2.68	17.0	-7.1	-878.0	681.1	-194.2	-2.7	9.9	-391.1	-0.6	-389.8	-7.7
39	"	3	490.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub>	-3.44	21.4	-8.9	-1097.3	851.6	-242.7	-3.4	12.4	-488.4	-0.7	-487.3	-9.7
40	"	3	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	-4.23	25.7	-10.8	-1316.6	1022.2	-291.1	-4.2	14.9	-585.6	-0.8	-584.8	-11.7
41	"	3	686.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub>	-4.97	30.0	-12.6	-1535.8	1192.8	-339.6	-5.0	17.3	-682.6	-0.9	-682.3	-13.6
42	"	3	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	-5.75	34.2	-14.4	-1755.1	1363.6	-388.0	-5.8	19.8	-779.5	-0.9	-779.8	-15.6
43	"	3	882.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub> +N <sub>18</sub>	-6.55	38.5	-16.4	-1974.2	1534.3	-436.5	-6.5	22.1	-876.3	-1.0	-877.3	-17.6
44	"	3	980.4	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub> +N <sub>18</sub> +N <sub>19</sub>	-7.35	42.8	-18.2	-2193.4	1709.7	-484.8	-7.3	24.6	-968.4	-0.5	-976.0	-19.5
45	"	3	882.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub> +N <sub>18</sub>	-6.51	38.7	-16.5	-1975.2	1535.4	-436.4	-6.5	22.2	-876.3	-1.0	-877.8	-17.6
46	"	3	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	-5.83	34.4	-14.6	-1755.9	1364.1	-388.0	-5.8	19.8	-779.8	-1.0	-780.1	-15.7
47	"	3	686.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub>	-4.89	30.2	-12.8	-1536.8	1193.6	-339.5	-4.9	17.4	-682.8	-0.9	-682.7	-13.8
48	"	3	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	-4.16	25.9	-11.1	-1317.7	1023.0	-291.1	-4.2	14.8	-585.8	-0.8	-585.3	-11.8
49	"	3	490.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub>	-3.46	21.7	-9.3	-1098.5	852.4	-242.6	-3.5	12.3	-488.7	-0.7	-487.8	-9.9
50	"	3	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	-2.82	17.3	-7.4	-879.2	681.9	-194.2	-2.8	10.0	-391.5	-0.6	-390.4	-7.9
51	"	3	294.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub>	-2.12	13.0	-5.7	-659.8	511.4	-145.6	-2.1	7.3	-294.0	-0.5	-292.9	-6.0
52	"	3	196.1	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub>	-1.42	8.8	-4.0	-440.3	341.0	-97.2	-1.4	4.9	-196.4	-0.4	-195.4	-4.1
53	"	3	98.0	N <sub>4</sub>	-0.74	4.5	-2.1	-220.5	170.6	-48.6	-0.7	2.4	-98.5	-0.2	-97.8	-2.1
54	"	3	0.0	zero	-0.06	0.1	-0.3	-0.8	0.3	0.0	-0.1	-0.2	-0.5	-0.1	-0.3	-0.1
55	"	4	0.0	zero	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
56	"	4	196.1	N <sub>5</sub> +N <sub>4</sub>	-0.19	-4.4	7.5	343.4	-435.6	-98.2	-0.2	3.1	-190.4	0.7	194.7	3.8
57	"	4	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	-0.23	-9.0	15.1	687.4	-873.1	-196.3	-0.2	6.1	-382.0	1.2	390.1	7.7
58	"	4	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	-0.14	-13.7	22.8	1031.7	-1311.3	-294.5	-0.1	9.2	-574.1	1.6	585.7	11.7
59	"	4	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	0.02	-18.4	30.7	1376.2	-1751.1	-392.6	0.0	12.3	-767.5	1.9	781.8	15.7
60	"	4	980.4	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub> +N <sub>18</sub> +N <sub>19</sub>	0.32	-23.2	38.8	1725.8	-2269.6	-490.9	0.3	15.6	-1034.7	-7.0	998.9	19.8
61	"	4	784.3	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub> +N <sub>16</sub> +N <sub>17</sub>	0.27	-18.6	31.6	1378.4	-1762.8	-393.0	0.3	13.0	-777.4	0.7	785.3	16.0
62	"	4	588.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub> +N <sub>14</sub> +N <sub>15</sub>	0.18	-14.0	24.4	1033.4	-1314.6	-295.1	0.2	10.4	-576.3	1.5	587.0	12.3
63	"	4	392.2	N <sub>4</sub> +N <sub>5</sub> +N <sub>6</sub> +N <sub>7</sub>	0.25	-9.3	16.9	689.1	-879.4	-197.0	0.2	7.6	-387.3	0.6	392.1	8.4
64	"	4	196.1	N <sub>5</sub> +N <sub>4</sub>	0.28	-4.7	9.4	344.6	-443.4	-98.9	0.3	4.7	-197.7	-0.1	197.0	4.5
65	"	4														

n° rilievo	data	stazione E	peso applicato (N)	pesi campione utilizzati	X (N)	Y <sub>1</sub> (N)	Y <sub>2</sub> (N)	Z <sub>1</sub> (N)	Z <sub>2</sub> (N)	Z <sub>3</sub> (N)	X (N)	Y (N)	Z (N)	Mx (N-m)	My (N-m)	Mz (N-m)
66	2/apr/14	5	0.0	zero	0.76	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.8	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0
67	"	5	98.0	N_4	-97.50	4.4	-2.7	6.3	-5.5	0.5	-97.5	1.7	1.3	0.0	0.5	-2.3
68	"	5	196.1	N_4+N_17	-195.73	7.8	-4.9	12.4	-10.9	0.7	-195.7	2.9	2.2	0.0	0.9	-4.1
69	"	5	294.1	N_4+N_17+N_25	-293.87	10.9	-6.9	18.5	-16.4	1.0	-293.9	4.0	3.2	0.0	1.4	-5.7
70	"	5	392.2	N_4+N_17+N_25+N_21	-391.92	13.8	-8.7	24.6	-22.0	1.3	-391.9	5.1	4.0	0.0	1.8	-7.2
71	"	5	490.2	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29	-489.87	16.6	-10.7	30.7	-27.5	1.6	-489.9	5.9	4.8	0.1	2.3	-8.7
72	"	5	588.2	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29+N_24	-587.78	19.4	-12.5	36.8	-32.9	1.9	-587.8	6.9	5.7	0.1	2.7	-10.2
73	"	5	686.3	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29+N_24+N_14	-685.62	22.2	-14.2	42.8	-38.4	2.2	-685.6	8.0	6.5	0.1	3.2	-11.7
74	"	5	784.3	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29+N_24+N_14+N_22	-783.43	25.0	-16.1	48.9	-43.9	2.5	-783.4	8.9	7.4	0.1	3.6	-13.1
75	"	5	882.3	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29+N_24+N_14+N_22+N_15	-881.01	27.6	-17.8	54.8	-49.4	2.7	-881.0	9.9	8.2	0.1	4.0	-14.5
76	"	5	980.4	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29+N_24+N_14+N_22+N_15+N_23	-978.56	30.2	-19.4	60.8	-54.8	3.0	-978.6	10.8	9.0	0.1	4.4	-15.9
77	"	5	882.3	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29+N_24+N_14+N_22+N_15	-881.71	27.6	-17.7	54.9	-49.4	2.6	-881.7	9.9	8.0	0.1	4.0	-14.5
78	"	5	784.3	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29+N_24+N_14+N_22	-784.61	24.8	-15.9	48.7	-44.0	2.2	-784.6	8.9	6.9	0.1	3.6	-13.0
79	"	5	686.3	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29+N_24+N_14	-687.29	22.2	-14.3	42.7	-38.6	1.9	-687.3	7.9	6.0	0.1	3.2	-11.7
80	"	5	588.2	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29+N_24	-589.78	19.4	-12.5	36.7	-33.2	1.6	-589.8	6.9	5.0	0.1	2.7	-10.2
81	"	5	490.2	N_4+N_17+N_25+N_21+N_29	-492.09	16.6	-10.7	30.6	-27.7	1.3	-492.1	6.0	4.2	0.1	2.3	-8.7
82	"	5	392.2	N_4+N_17+N_25+N_21	-394.20	13.9	-8.8	24.6	-22.2	1.0	-394.2	5.1	3.4	0.0	1.8	-7.3
83	"	5	294.1	N_4+N_17+N_25	-296.24	10.9	-7.0	18.5	-16.6	0.7	-296.2	3.9	2.5	0.0	1.4	-5.7
84	"	5	196.1	N_4+N_17	-198.22	7.8	-5.0	12.4	-11.2	0.5	-198.2	2.9	1.7	0.0	0.9	-4.1
85	"	5	98.0	N_4	-99.64	4.4	-2.8	6.2	-5.6	0.3	-99.6	1.6	1.0	0.0	0.5	-2.3
86	"	5	0.0	zero	-1.33	0.1	0.1	0.1	-0.1	0.0	-1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
87	"	5	0.0	zero	0.06	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
88	"	5	9.8	P34	-9.75	0.4	-0.5	0.6	-0.6	0.0	-9.8	-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.3
89	"	5	19.6	P33	-19.56	1.0	-0.8	1.2	-1.1	0.0	-19.6	0.2	0.1	0.0	0.1	-0.6
90	"	5	29.4	P33+P34	-29.38	1.3	-1.0	1.9	-1.7	0.0	-29.4	0.3	0.2	0.0	0.2	-0.7
91	"	5	39.2	P33+P38	-39.16	1.8	-1.3	2.5	-2.2	0.0	-39.2	0.5	0.3	0.0	0.2	-1.0
92	"	5	49.0	P36	-48.97	2.2	-1.5	3.0	-2.8	0.0	-49.0	0.7	0.2	0.0	0.2	-1.2
93	"	5	58.8	P36+P34	-58.81	2.6	-1.9	3.7	-3.4	0.1	-58.8	0.7	0.4	0.0	0.3	-1.4
94	"	5	68.6	P36+P33	-68.60	3.1	-2.1	4.3	-3.9	0.1	-68.6	1.0	0.5	0.0	0.4	-1.6
95	"	5	78.5	P36+P33+P34	-78.42	3.6	-2.3	5.0	-4.4	0.2	-78.4	1.2	0.7	0.0	0.4	-1.9
96	"	5	88.3	P36+P33+P38	-88.23	3.9	-2.6	5.5	-5.0	0.2	-88.2	1.3	0.8	0.0	0.4	-2.1
97	"	5	98.0	N4	-97.98	4.2	-2.8	6.2	-5.5	0.3	-98.0	1.5	0.9	0.0	0.5	-2.2
98	"	5	107.9	N4+P34	-107.83	4.5	-3.1	6.8	-6.1	0.3	-107.8	1.5	1.0	0.0	0.5	-2.4
99	"	5	117.7	N4+P33	-117.62	4.9	-3.2	7.4	-6.7	0.3	-117.6	1.7	1.1	0.0	0.6	-2.6
100	"	5	127.5	N4+P33+P34	-127.43	5.3	-3.5	8.0	-7.2	0.3	-127.4	1.8	1.2	0.0	0.6	-2.8
101	"	5	137.3	N4+P33+P38	-137.22	5.6	-3.6	8.6	-7.7	0.3	-137.2	2.0	1.2	0.0	0.6	-3.0
102	"	5	147.1	N4+P36	-147.03	6.0	-4.0	9.3	-8.3	0.4	-147.0	2.0	1.4	0.0	0.7	-3.2
103	"	5	156.9	N4+P36+P34	-156.84	6.3	-4.2	9.9	-8.9	0.4	-156.8	2.1	1.4	0.0	0.8	-3.4
104	"	5	166.7	N4+P36+P33	-166.63	6.7	-4.3	10.4	-9.4	0.5	-166.6	2.4	1.5	0.0	0.8	-3.5
105	"	5	176.5	N4+P36+P33+P34	-176.46	7.0	-4.6	11.1	-10.0	0.5	-176.5	2.4	1.6	0.0	0.8	-3.7
106	"	5	186.3	N4+P36+P33+P38	-186.25	7.3	-4.7	11.7	-10.5	0.5	-186.2	2.6	1.7	0.0	0.9	-3.9
107	"	5	196.1	N4+N17	-196.04	7.7	-4.9	12.3	-11.0	0.6	-196.0	2.8	1.9	0.0	0.9	-4.0
108	"	6	0.0	T = 18°C, zero	-0.03	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
109	"	6	98.0	N_4	98.04	-0.4	1.1	-5.2	5.1	-0.1	98.0	0.7	-0.2	0.0	-0.1	0.5
110	"	6	196.1	N_4+N_5	196.53	-0.6	1.7	-10.3	10.3	-0.1	196.5	1.1	0.0	0.0	-0.2	0.7
111	"	6	294.2	N_4+N_5+N_7	295.35	-0.7	2.2	-15.3	15.3	0.0	295.3	1.5	0.0	0.0	-0.3	0.9
112	"	6	196.1	N_4+N_5	197.19	-0.6	1.8	-10.3	10.4	0.1	197.2	1.3	0.2	0.0	-0.2	0.8
113	"	6	98.0	N_4	99.06	-0.4	1.2	-5.0	5.3	0.2	99.1	0.8	0.4	0.0	-0.1	0.5
114	3/apr/14	7	0.0	zero	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
115	"	7	98.1	N_5	-0.56	-201.9	103.7	-4.3	-7.4	12.1	-0.6	-98.2	0.4	-0.5	0.8	97.8
116	"	7	196.1	N_5+N_4	-1.07	-403.6	207.5	-8.7	-14.7	24.1	-1.1	-196.1	0.7	-1.0	1.5	195.5
117	"	7	294.2	N_5+N_4+N_7	-1.68	-605.3	311.4	-13.2	-22.0	36.1	-1.7	-293.9	1.0	-1.6	2.2	293.3
118	"	7	392.2	N_5+N_4+N_7+N_17	-2.19	-806.9	415.2	-17.7	-29.1	48.2	-2.2	-391.6	1.4	-2.1	2.8	391.1
119	"	7	490.3	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25	-2.82	-1008.5	519.3	-22.3	-36.3	60.3	-2.8	-489.3	1.7	-2.6	3.5	488.9
120	"	7	588.3	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24	-3.40	-1209.8	623.1	-26.9	-43.5	72.5	-3.4	-586.7	2.0	-3.2	4.1	586.5
121	"	7	686.3	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29	-3.95	-1411.1	727.1	-31.6	-50.8	84.7	-4.0	-684.0	2.3	-3.8	4.7	684.2
122	"	7	784.4	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22	-4.67	-1612.6	831.3	-36.3	-57.9	96.8	-4.7	-781.3	2.6	-4.3	5.3	782.0
123	"	7	882.4	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14	-5.44	-1813.8	935.3	-41.1	-64.9	108.8	-5.4	-878.4	2.9	-4.9	5.8	879.7
124	"	7	980.4	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15	-6.23	-2015.1	1039.5	-46.0	-71.7	120.8	-6.2	-975.5	3.1	-5.4	6.3	977.5
125	"	7	1078.5	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15+N_23	-7.08	-2216.4	1143.7	-50.9	-78.5	132.7	-7.1	-1072.7	3.3	-6.0	6.7	1075.2
126	"	7	1176.5	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15+N_23	-7.85	-2417.4	1247.9	-56.0	-85.2	144.5	-7.8	-1169.5	3.4	-6.5	7.1	1172.9
127	"	7	1078.5	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15+N_23	-7.05	-2217.1	1144.1	-51.2	-78.4	132.7	-7.1	-1073.0	3.1	-6.0	6.6	1075.6
128	"	7	980.4	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15	-6.27	-2016.4	1040.0	-46.4	-71.6	120.8	-6.3	-976.4	2.8	-5.4	6.1	978.1
129	"	7	882.4	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14	-5.60	-1815.7	936.1	-41.7	-64.7	108.8	-5.6	-879.6	2.5	-4.9	5.6	880.6
130	"	7	784.4	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22	-4.84	-1615.0	832.2	-37.0	-57.7	96.9	-4.8	-782.7	2.2	-4.4	5.0	783.1
131	"	7	686.3	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29	-4.16	-1413.7	728.0	-32.4	-50.6	84.9	-4.2	-685.6	1.9	-3.8	4.5	685.4
132	"	7	588.3	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24	-3.50	-1212.6	624.1	-27.8	-43.5	72.9	-3.5	-588.4	1.6	-3.3	3.8	587.7
133	"	7	490.3	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25	-2.92	-1011.2	520.1	-23.3	-36.4	60.8	-2.9	-491.0	1.2	-2.8	3.2	490.0
134	"	7	392.2	N_5+N_4+N_7+N_17	-2.27	-809.7	416.1	-18.7	-29.2	48.7	-2.3	-393.6	0.9	-2.2	2.6	392.2
135	"	7	294.2	N_5+N_4+N_7	-1.68	-608.0	312.2	-14.2	-21.9	36.6	-1.7	-295.8	0.5	-1.7	1.9	294.5
136	"	7	196.1	N_5+N_4	-1.09	-406.3	208.3	-9.8	-14.6	24.5	-1.1	-198.0	0.2	-1.2	1.2	196.7
137	"	7	98.1	N_5	-0.49	-204.5	104.5	-5.4	-7.2	12.3	-0.5	-99.9	-0.3	-0.6	0.4	98.9



Tabella 4. (sn) Pesì campione (reference standard) usati in taratura, (dx) esempio di Test Matrix a carichi in più direzioni.

nome peso	peso kg	peso N	incertezza N	Carichi applicati (kg)													
				lungo z	lungo x		lungo y				per Mx						
				rilievi	data	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
N4	10.0016	98.0487	0.0039														
N5	10.0036	98.0683	0.0098	1	7/apr/14		20									10	10
N6	10.0004	98.0369	0.0049	2	"		20			20						10	10
N7	10.0007	98.0399	0.0049	3	"		20			40						10	10
N10	9.9996	98.0291	0.0049	4	"			20								10	10
N14	9.9999	98.0324	0.0062	5	"		10	10									20
N15	9.9989	98.0221	0.0060	6	"		10	10								20	
N16	9.9974	98.0075	0.0062	7	8/apr/14					0				5	5		
N17	10.0031	98.0637	0.0060	8	"					10				5	5		
N18	9.9987	98.0203	0.0070	9	"					20				5	5		
N19	9.9999	98.0324	0.0062	10	"					30				5	5		
N20	9.9988	98.0211	0.0061	11	"					30				10	10		
N21	10.0007	98.0402	0.0064	12	"					20				10	10		
N22	10.0031	98.0636	0.0061	13	"					10				10	10		
N23	10.0011	98.0439	0.0062	14	"					0				10	10		
N24	9.9980	98.0133	0.0062	15	"					10				15	15		
N25	9.9998	98.0307	0.0061	16	"					20				15	15		
N26	9.9972	98.0056	0.0061	17	"					30				15	15		
N29	9.9998	98.0310	0.0060	18	"					30		5		10			
N30	4.9997	49.0136	0.0039	19	"					30		5			5		
N31	4.9983	48.9998	0.0029	20	"					20		5			5		
				21	"					10		5			5		
				22	"					0		5			5		
				23	"					0		10			10		
				24	"					10		10			10		
				25	"					20		10			10		
				26	"					30		10			10		
				27	"					30		10				5	5
				28	"					30		10				10	
				29	"					30		10				10	10
				30	"					30		10				10	10
				31	"					20		10				10	10
				32	"					20		10				10	10
				33	"					20					10		
				34	"					20					15		
				35	"					10					15		
				36	"					0						15	
				37	"					10						10	10
				38	"					10		5			5	10	10
				39	"					10		15			15	10	10
				40	"					20		15			15	10	10
				41	"					20				15	15	10	10
				42	"					10				15	15	10	10
				43	"					0				15	15	10	10
				44	"					0				15	15	10	10
				45	"		5	5		0							
				46	"		5	5		10							
				47	"		5	5		20							
				48	"		5	5		30							
				49	"		10	10		30							
				50	"		10	10		20							
				51	"		10	10		10							
				52	"		10	10		0							
				53	"		15	15		10							
				54	"		15	15		20							
				55	"		15	15		30							
				56	"		15	15		30		5			5		
				57	"		15	15		30		10			10		
				58	"		15	15		30				10	10		
				59	"		15	15		30				5	5		
				60	"		15	15		20				5	5		
				61	"		15	15		10				5	5		
				62	"		10	10		10				5	5		
				63	"		10	10		10				10	10		
				64	"		5	5		10				10	10		
				65	"		5	5		20				10	10		
				66	"		5	5		30				10	10		

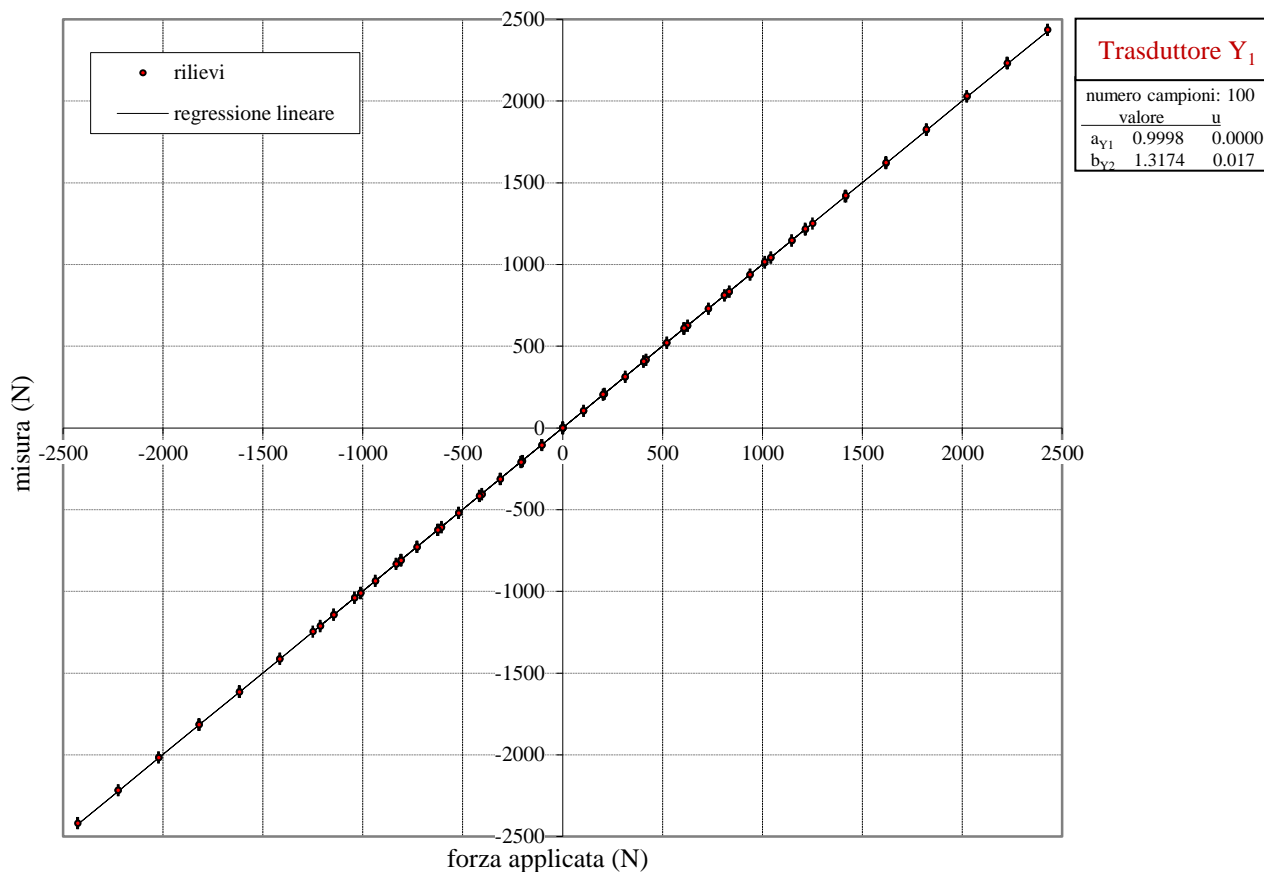


Figura 20. Risposta del trasduttore  $Y_1$  (misura) alla sollecitazione esterna (forza applicata).

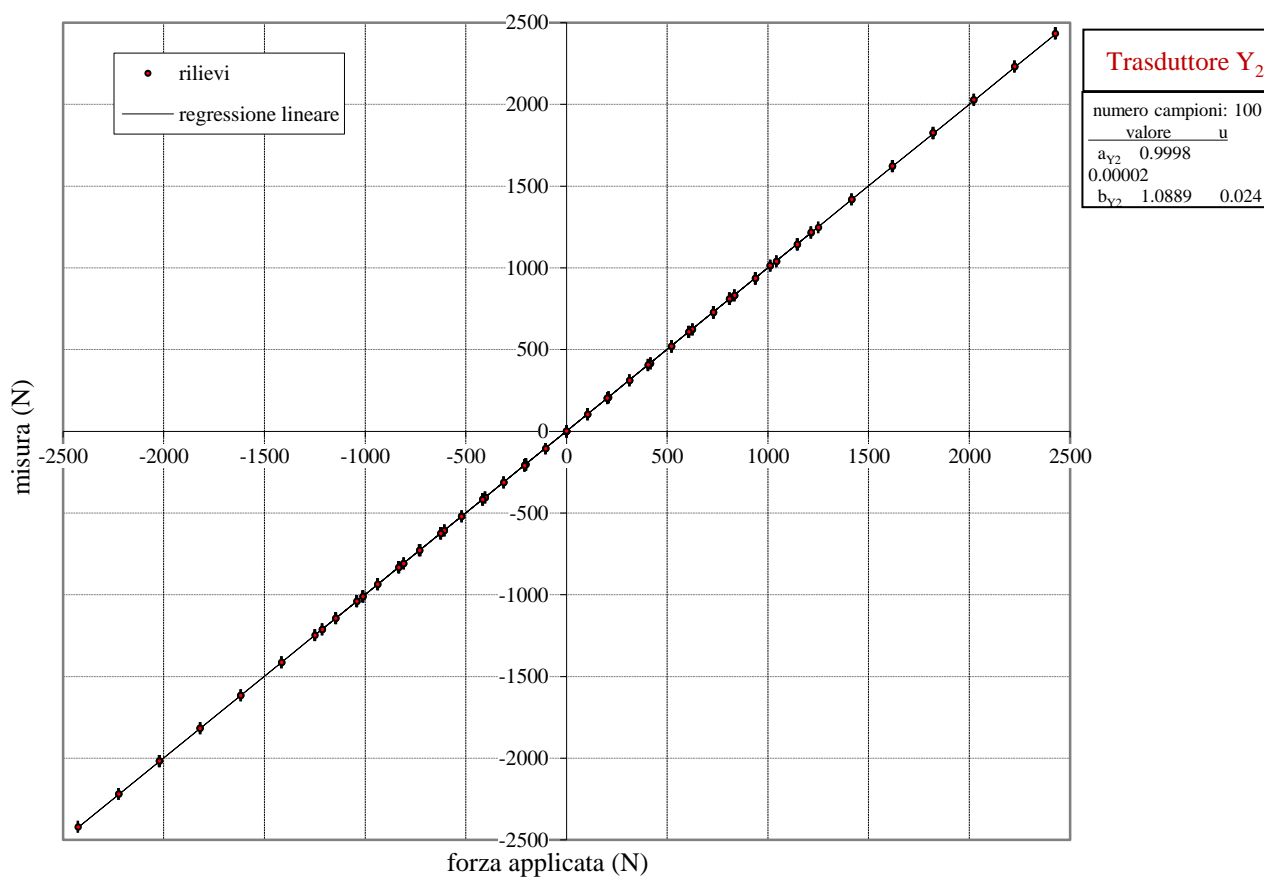


Figura 21. Risposta del trasduttore  $Y_2$  (misura) alla sollecitazione esterna (forza applicata).

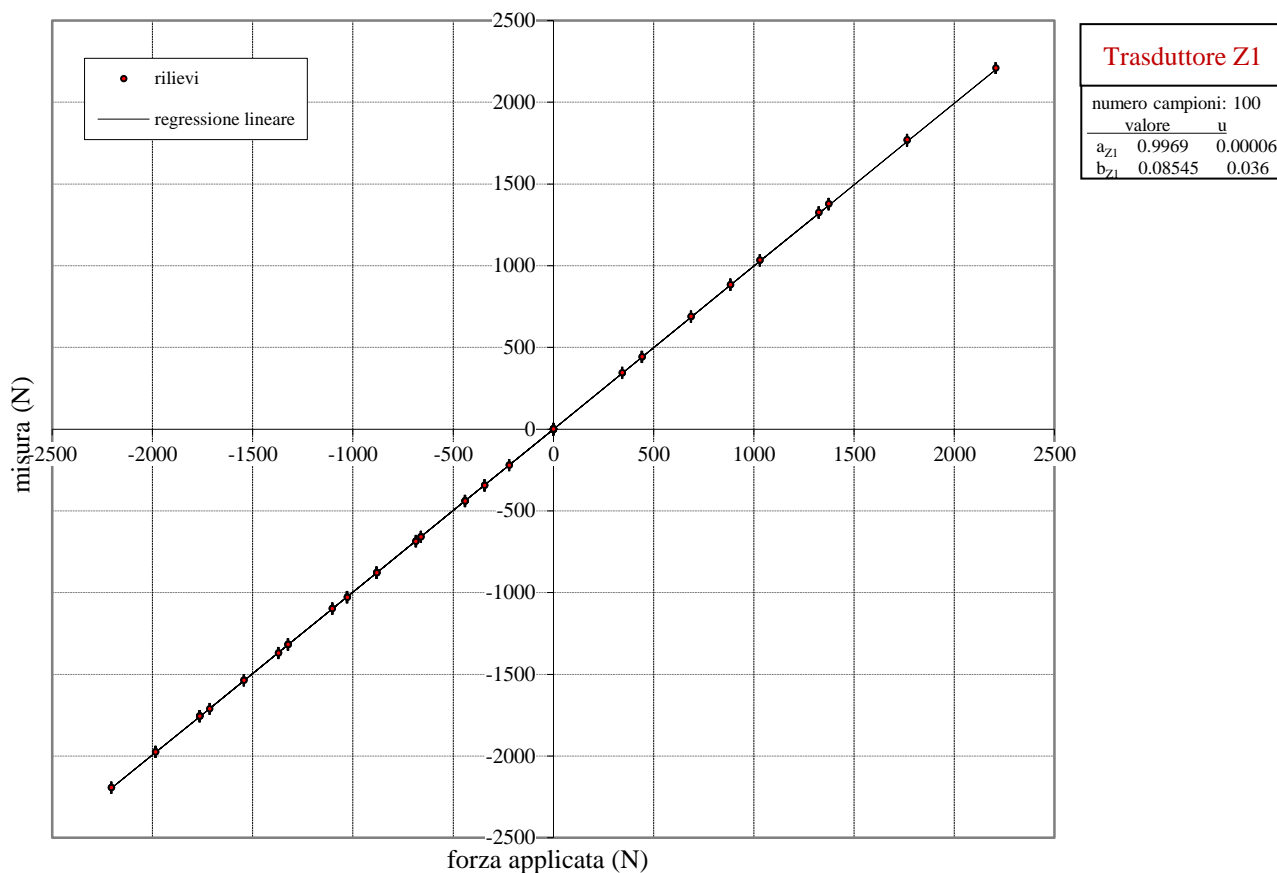


Figura 22. Risposta del trasduttore  $Z_1$  (misura) alla sollecitazione esterna (forza applicata).

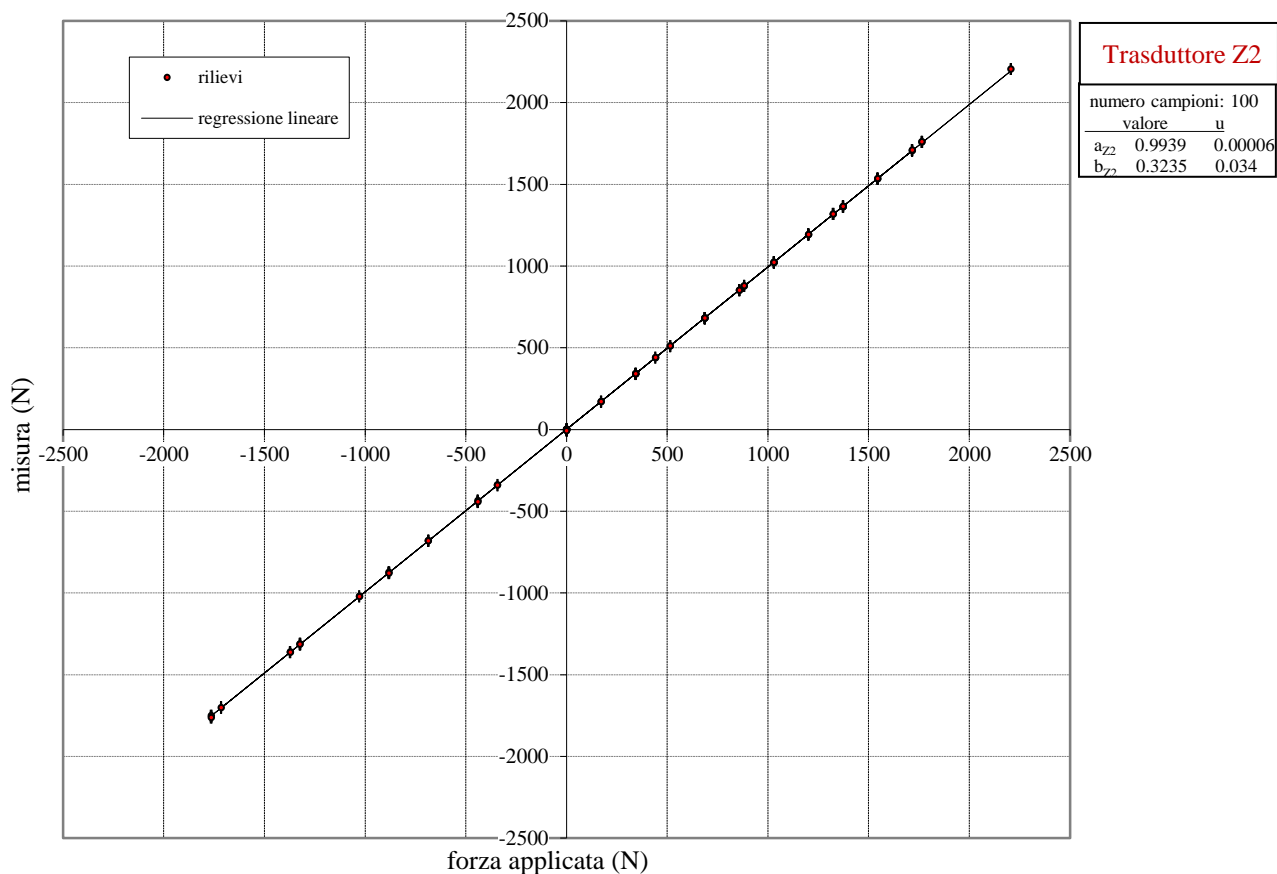


Figura 23. Risposta del trasduttore  $Z_2$  (misura) alla sollecitazione esterna (forza applicata).

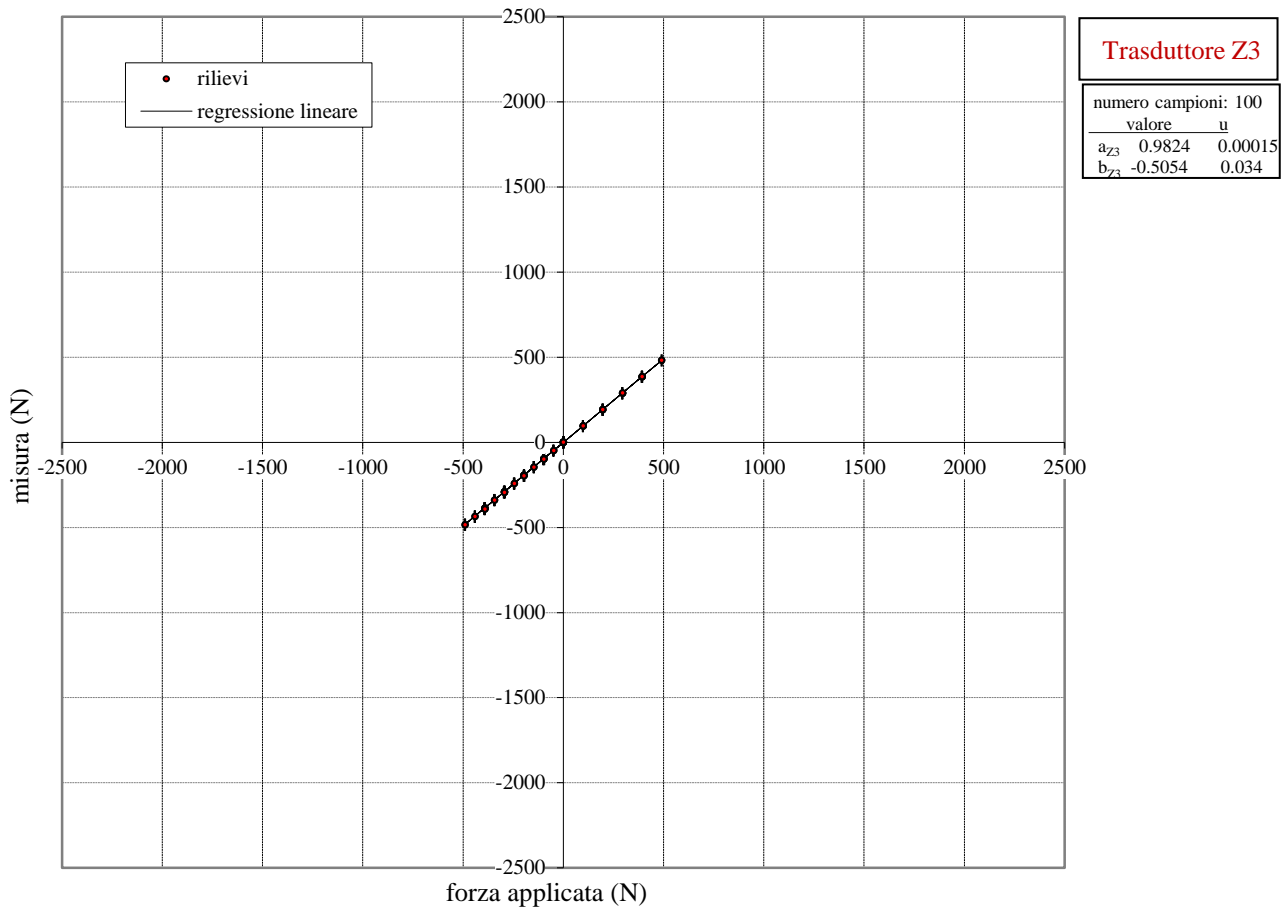


Figura 24. Risposta del trasduttore  $Z_3$  (misura) alla sollecitazione esterna (forza applicata).

Tabella 5. Ciclo di carico-scarico per il trasduttore  $Y_1$ , valutazione dell'isteresi.

03/04/2014		misure (N)		Isteresi (N)	campioni utilizzati
sta 7		andata -, E7	ritorno -, E7	ass. Δ	
$h_j$	1.16	0.00	-2.59	2.59	zero
		-201.90	-204.46	2.56	N_5
		-403.57	-406.28	2.72	N_5+N_4
		-605.28	-608.03	2.75	N_5+N_4+N_7
		-806.88	-809.68	2.80	N_5+N_4+N_7+N_17
		-1008.54	-1011.16	2.62	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25
		-1209.77	-1212.57	2.80	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24
		-1411.13	-1413.69	2.56	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29
		-1612.59	-1614.98	2.39	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22
		-1813.76	-1815.71	1.95	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14
		-2015.07	-2016.43	1.36	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15
		-2216.37	-2217.11	0.74	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15+N_23
sta 8		andata +, E8	ritorno +, E8		
$h_j$	0.49	0.03	0.90	0.88	zero
		104.00	105.03	1.04	N_5
		208.01	209.27	1.26	N_5+N_4
		312.14	313.34	1.20	N_5+N_4+N_7
		416.32	417.51	1.20	N_5+N_4+N_7+N_17
		520.51	521.66	1.15	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25
		624.68	625.84	1.16	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24
		728.88	730.03	1.15	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29
		833.18	834.21	1.03	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22
		937.65	938.43	0.78	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14
		1042.01	1042.58	0.56	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15
		1146.38	1146.73	0.36	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15+N_23
sta 9		andata +, E9	ritorno +, E9		
$h_j$	1.86	-0.09	3.04	3.13	zero
		201.73	205.58	3.85	N_5
		403.91	408.07	4.16	N_5+N_4
		606.40	610.67	4.27	N_5+N_4+N_7
		809.05	813.25	4.20	N_5+N_4+N_7+N_17
		1011.36	1015.85	4.50	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25
		1214.31	1218.67	4.36	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21
		1417.23	1421.39	4.16	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24
		1620.42	1624.31	3.89	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24+N_29
		1824.12	1827.41	3.29	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24+N_29+N_22
		2027.51	2030.20	2.69	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24+N_29+N_22+N_15
		2231.04	2233.19	2.15	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24+N_29+N_22+N_15+N_14
sta 10		andata -, E10	ritorno -, E10		
$h_j$	0.38	0.06	-0.77	0.83	zero
		-103.92	-104.81	0.88	N_5
		-207.89	-208.84	0.95	N_5+N_4
		-311.88	-312.73	0.85	N_5+N_4+N_7
		-415.82	-416.69	0.87	N_5+N_4+N_7+N_17
		-519.70	-520.55	0.85	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25
		-623.51	-624.33	0.82	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24
		-727.41	-728.15	0.74	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29
		-831.24	-831.89	0.65	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22
		-935.06	-935.66	0.61	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14
		-1038.65	-1039.22	0.58	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15
		-1142.47	-1142.89	0.42	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15+N_23
		<b>h<sub>j</sub> medio</b>		<b>0.97</b>	

Tabella 6. Ciclo di carico-scarico per il trasduttore  $Y_2$ , valutazione dell'isteresi.

03/04/2014		misure (N)		Isteresi (N)	campioni utilizzati
sta 7		andata -, E7	ritorno -, E7	ass. $\Delta$	
$h_j$	0.39	0.00	0.69	0.69	zero
		103.74	104.55	0.81	N_5
		207.48	208.29	0.81	N_5+N_4
		311.39	312.20	0.82	N_5+N_4+N_7
		415.25	416.08	0.83	N_5+N_4+N_7+N_17
		519.27	520.14	0.87	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25
		623.10	624.13	1.03	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24
		727.13	728.05	0.92	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29
		831.28	832.23	0.95	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22
		935.34	936.12	0.79	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14
		1039.55	1040.02	0.48	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15
		1143.68	1144.08	0.40	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15+N_23
sta 8		andata +, E8	ritorno +, E8		
$h_j$	0.41	-0.02	-0.73	0.71	zero
		-202.19	-203.03	0.84	N_5
		-404.30	-405.14	0.84	N_5+N_4
		-606.18	-607.14	0.97	N_5+N_4+N_7
		-808.12	-809.07	0.95	N_5+N_4+N_7+N_17
		-1009.78	-1010.78	1.00	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25
		-1211.33	-1212.43	1.10	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24
		-1412.98	-1413.91	0.93	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29
		-1614.60	-1615.40	0.80	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22
		-1816.03	-1816.70	0.67	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14
		-2017.17	-2017.68	0.51	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15
		-2218.42	-2218.85	0.43	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15+N_23
sta 9		andata +, E9	ritorno +, E9		
$h_j$	0.52	0.10	-0.67	0.77	zero
		-103.90	-104.82	0.92	N_5
		-207.87	-209.04	1.17	N_5+N_4
		-311.87	-313.04	1.17	N_5+N_4+N_7
		-415.93	-417.11	1.18	N_5+N_4+N_7+N_17
		-519.76	-521.03	1.27	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25
		-623.76	-624.92	1.16	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21
		-727.66	-728.76	1.09	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24
		-831.52	-832.58	1.05	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24+N_29
		-935.41	-936.39	0.98	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24+N_29+N_22
		-1039.12	-1039.93	0.81	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24+N_29+N_22+N_15
		-1142.75	-1143.57	0.82	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_21+N_24+N_29+N_22+N_15+N_14
sta 10		andata -, E10	ritorno -, E10		
$h_j$	0.96	-0.08	1.85	1.93	zero
		202.15	204.22	2.07	N_5
		404.37	406.57	2.20	N_5+N_4
		606.92	608.97	2.05	N_5+N_4+N_7
		809.56	811.79	2.23	N_5+N_4+N_7+N_17
		1012.33	1014.62	2.30	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25
		1215.04	1217.18	2.14	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24
		1418.09	1420.23	2.15	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29
		1621.30	1623.19	1.88	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22
		1824.61	1826.28	1.67	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14
		2027.74	2029.22	1.47	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15
		2231.21	2232.07	0.86	N_5+N_4+N_7+N_17+N_25+N_24+N_29+N_22+N_14+N_15+N_23
		hj medio		0.57	

Tabella 7. Ciclo di carico-scarico per il trasduttore  $Z_1$ , valutazione dell'isteresi.

04/04/2014		misure (N)		Isteresi (N)	campioni utilizzati
sta 4		andata +, E4	ritorno +, E4	ass. $\Delta$	
$h_j$	0.71	0.03	0.89	0.86	zero
		343.39	344.58	1.19	N_5+N_4
		687.43	689.09	1.66	N_4+N_5+N_6+N_7
		1031.67	1033.38	1.71	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		1376.23	1378.39	1.71	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 2		andata -, E2	ritorno -, E2	ass. $\Delta$	
$h_j$	1.38	0.03	-3.11	3.13	zero
		-342.18	-345.41	3.23	N_5+N_4
		-684.43	-687.53	3.10	N_4+N_5+N_6+N_7
		-1026.59	-1029.23	2.64	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		-1368.69	-1370.69	1.71	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 1		andata +, E1	ritorno +, E1	ass. $\Delta$	
$h_j$	0.96	0.05	1.41	1.36	zero
		441.39	442.82	1.43	N_5+N_4
		882.46	884.06	1.60	N_4+N_5+N_6+N_7
		1324.85	1325.77	0.92	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		1765.89	1770.14	4.25	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 3		andata -, E3	ritorno -, E3	ass. $\Delta$	
$h_j$	0.45	-0.22	-0.78	0.56	zero
		-439.37	-440.35	0.98	N_5+N_4
		-878.22	-879.41	1.19	N_4+N_5+N_6+N_7
		-1317.02	-1317.99	0.98	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		-1755.42	-1756.21	0.79	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 3		andata -, E3	ritorno -, E3	ass. $\Delta$	
$h_j$	0.52	-0.10	-0.77	0.68	zero
		-219.64	-220.49	0.85	N_4
		-439.17	-440.27	1.10	N_4+N_5
		-658.52	-659.80	1.28	N_4+N_5+N_6
		-877.95	-879.22	1.27	N_4+N_5+N_6+N_7
		-1097.31	-1098.48	1.18	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14
		-1316.62	-1317.73	1.12	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		-1535.76	-1536.82	1.05	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16
		-1755.08	-1755.89	0.82	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
		-1974.16	-1975.22	1.05	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17+N_18

$h_j$ medio	0.80
-------------	------



Tabella 8. Ciclo di carico-scarico per il trasduttore  $Z_2$ , valutazione dell'isteresi.

03/04/2014		misure (N)		Isteresi (N)	campioni utilizzati
sta 4		andata -, E4	ritorno -, E4	ass. $\Delta$	
$h_j$	2.58	-0.04	-6.75	6.71	zero
		-435.59	-443.35	7.77	N_5+N_4
		-873.11	-879.44	6.33	N_4+N_5+N_6+N_7
		-1311.27	-1314.58	3.31	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		-1751.09	-1762.81	1.71	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 2		andata +, E2	ritorno +, E2	ass. $\Delta$	
$h_j$	0.82	-0.08	1.91	1.99	zero
		438.61	440.48	1.86	N_5+N_4
		877.51	879.17	1.66	N_4+N_5+N_6+N_7
		1317.71	1318.69	0.98	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		1758.26	1759.69	1.71	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 1		andata -, E1	ritorno -, E1	ass. $\Delta$	
$h_j$	0.97	-0.17	-1.68	1.51	zero
		-339.19	-341.13	1.94	N_5+N_4
		-678.89	-681.17	2.28	N_4+N_5+N_6+N_7
		-1020.12	-1021.35	1.23	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		-1360.45	-1363.23	2.78	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 3		andata +, E3	ritorno +, E3	ass. $\Delta$	
$h_j$	0.24	-0.33	-0.09	0.24	zero
		340.10	340.72	0.62	N_5+N_4
		680.95	681.63	0.68	N_4+N_5+N_6+N_7
		1022.08	1022.65	0.58	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		1363.58	1363.89	0.31	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 3		andata +, E3	ritorno +, E3	ass. $\Delta$	
$h_j$	0.35	0.02	0.29	0.27	zero
		170.09	170.58	0.49	N_4
		340.38	341.04	0.66	N_4+N_5
		510.68	511.39	0.71	N_4+N_5+N_6
		681.07	681.92	0.85	N_4+N_5+N_6+N_7
		851.55	852.40	0.85	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14
		1022.16	1023.04	0.88	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		1192.77	1193.55	0.78	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16
		1363.56	1364.08	0.52	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
		1534.33	1535.41	1.08	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17+N_18
		$h_j$ medio		0.99	

Tabella 9. Ciclo di carico-scarico per il trasduttore  $Z_3$ , valutazione dell'isteresi.

04/04/2014		misure (N)		Isteresi (N)	campioni utilizzati
sta 4		andata -, E4	ritorno -, E4	ass. Δ	
$h_j$	0.44	0.03	-0.62	0.65	zero
		-98.19	-98.90	0.71	N_5+N_4
		-196.30	-196.99	0.69	N_4+N_5+N_6+N_7
		-294.47	-295.07	0.59	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		-392.60	-393.01	1.71	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 2		andata +, E2	ritorno +, E2	ass. Δ	
$h_j$	0.31	-0.04	0.34	0.38	zero
		95.90	96.30	0.40	N_5+N_4
		192.30	192.66	0.36	N_4+N_5+N_6+N_7
		288.78	289.07	0.28	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		385.23	385.50	1.71	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 1		andata +, E1	ritorno +, E1	ass. Δ	
$h_j$	0.30	0.00	0.27	0.27	zero
		94.38	95.21	0.84	N_5+N_4
		190.32	191.24	0.92	N_4+N_5+N_6+N_7
		286.96	287.57	0.61	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		383.78	384.16	0.39	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 3		andata -, E3	ritorno -, E3	ass. Δ	
$h_j$	0.02	0.52	0.49	0.03	zero
		-96.63	-96.62	0.01	N_5+N_4
		-193.64	-193.67	0.04	N_4+N_5+N_6+N_7
		-290.55	-290.63	0.08	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		-387.53	-387.53	0.00	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
sta 3		andata -, E3	ritorno -, E3	ass. Δ	
$h_j$	0.02	-0.05	-0.03	0.02	zero
		-48.54	-48.63	0.09	N_4
		-97.16	-97.16	0.00	N_4+N_5
		-145.68	-145.62	0.06	N_4+N_5+N_6
		-194.18	-194.18	0.00	N_4+N_5+N_6+N_7
		-242.67	-242.64	0.03	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14
		-291.10	-291.10	0.00	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15
		-339.60	-339.53	0.07	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16
		-387.99	-387.97	0.02	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17
		-436.45	-436.44	0.01	N_4+N_5+N_6+N_7+N_14+N_15+N_16+N_17+N_18

$h_j$ medio	0.22
-------------	------

Report di taratura trasduttore  $Y_1$

Caratteristiche strumento				Condizioni taratura e campioni di riferimento			
Strumento	costruttore	modello	n° identificazione	procedura	campioni riferimento	campioni utilizzati	certificato
trasduttore	Remmers	R-62 Y1	No. 12	Pr31, Pr44	masse	da N4 a N29	
unità di misura	portata nominale	campo di taratura	sovraccarico massimo	temperatura	umidità relativa	posizione fissaggio	supporto
N	6000	-2427 a 2427	120%	18	33%	orizzontale	R-62 IX

Bilancio incertezza per  $Y_1$

Fonte d'incertezza	valore	Tipo A/B	Distribuzione probabilità	divisore	c	contributo d'incertezza
risoluzione	1.00	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.58
deviazione standard del segnale	0.301	A	normale	2	1	0.15
ripetibilità	3.299	A	normale	2	1	1.65
isteresi	0.972	A	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.56
disallineamento	0.237	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.14
campioni riferimento	0.074	B	normale	2	1	0.04
regressione lineare	2.705	A	normale	2	1	1.35
<b>incertezza composta</b>						<b>2.29</b>

Analisi di conformità

Incertezza richiesta*	0.20	Incertezza estesa % della portata	0.08	Conforme
-----------------------	------	-----------------------------------	------	----------

Bilancio incertezza per  $Y_1$

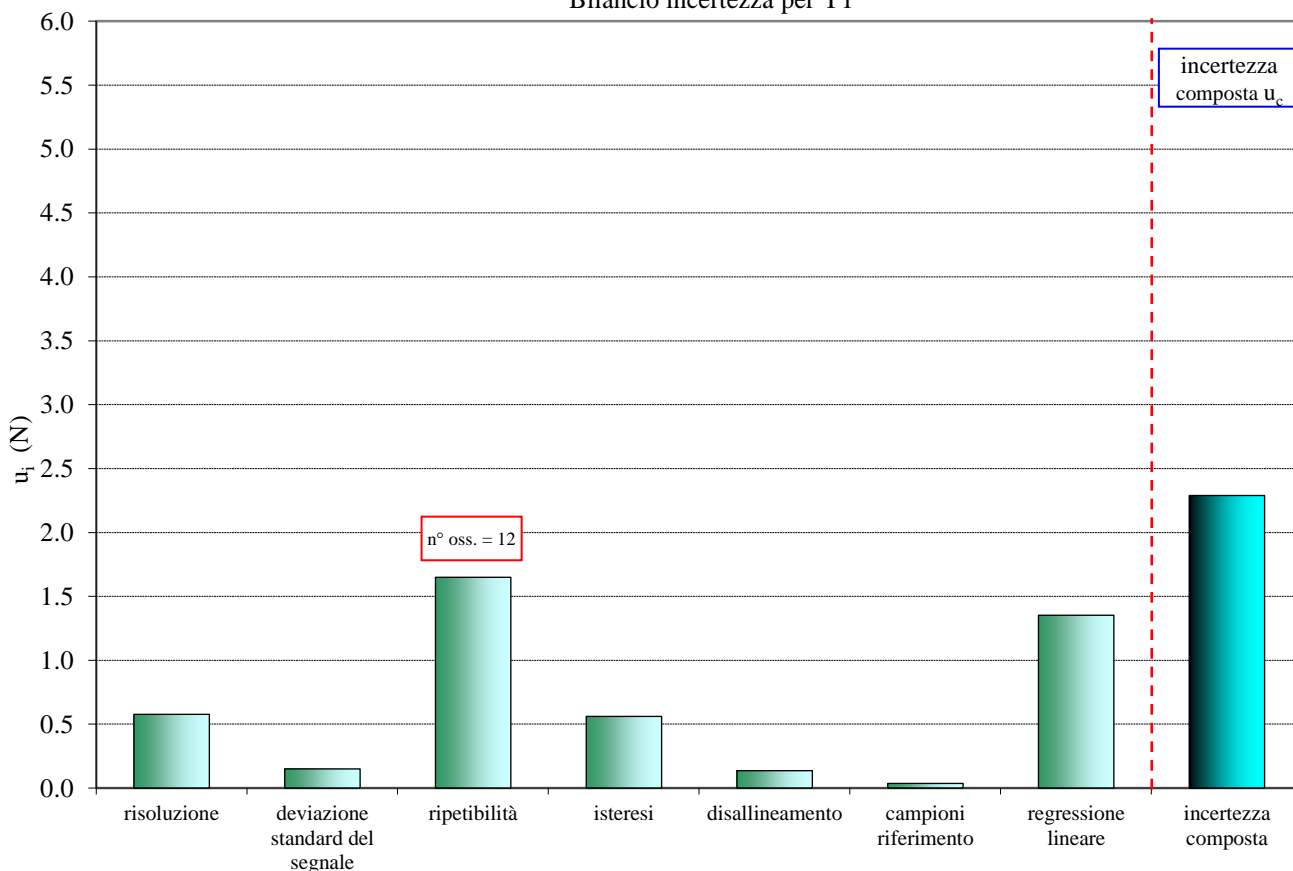


Figura 25. Valutazione dell'incertezza composta il trasduttore  $Y_1$ .

Report di taratura trasduttore  $Y_2$ 

Caratteristiche strumento				Condizioni taratura e campioni di riferimento			
Strumento	costruttore	modello	n° identificazione	procedura	campioni riferimento	campioni utilizzati	certificato
trasduttore	Remmers	R-62 Y2	No. 9	Pr31, Pr44	masse	da N4 a N29	
unità di misura	portata nominale	campo di taratura	sovraccarico massimo	temperatura	umidità relativa	posizione fissaggio	supporto
N	6000	-2427 a 2427	120%	18	33%	orizzontale	R-62 IX

## Bilancio incertezza per Y2

Fonte d'incertezza	valore	Tipo A/B	Distribuzione probabilità	divisore	c	contributo d'incertezza
risoluzione	1.00	B	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.58
deviazione standard del segnale	0.285	A	normal	2	1	0.14
ripetibilità	2.548	A	normal	2	1	1.27
isteresi	0.568	A	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.33
disallineamento	0.237	B	rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.14
campioni riferimento	0.074	B	normal	2	1	0.04
regressione lineare	2.498	A	normal	2	1	1.25
<b>incertezza composta</b>						<b>1.91</b>

## Analisi di conformità

Incertezza richiesta*	0.20	Incertezza estesa % della portata	0.06	Conforme
-----------------------	------	-----------------------------------	------	----------

## Bilancio incertezza per Y2

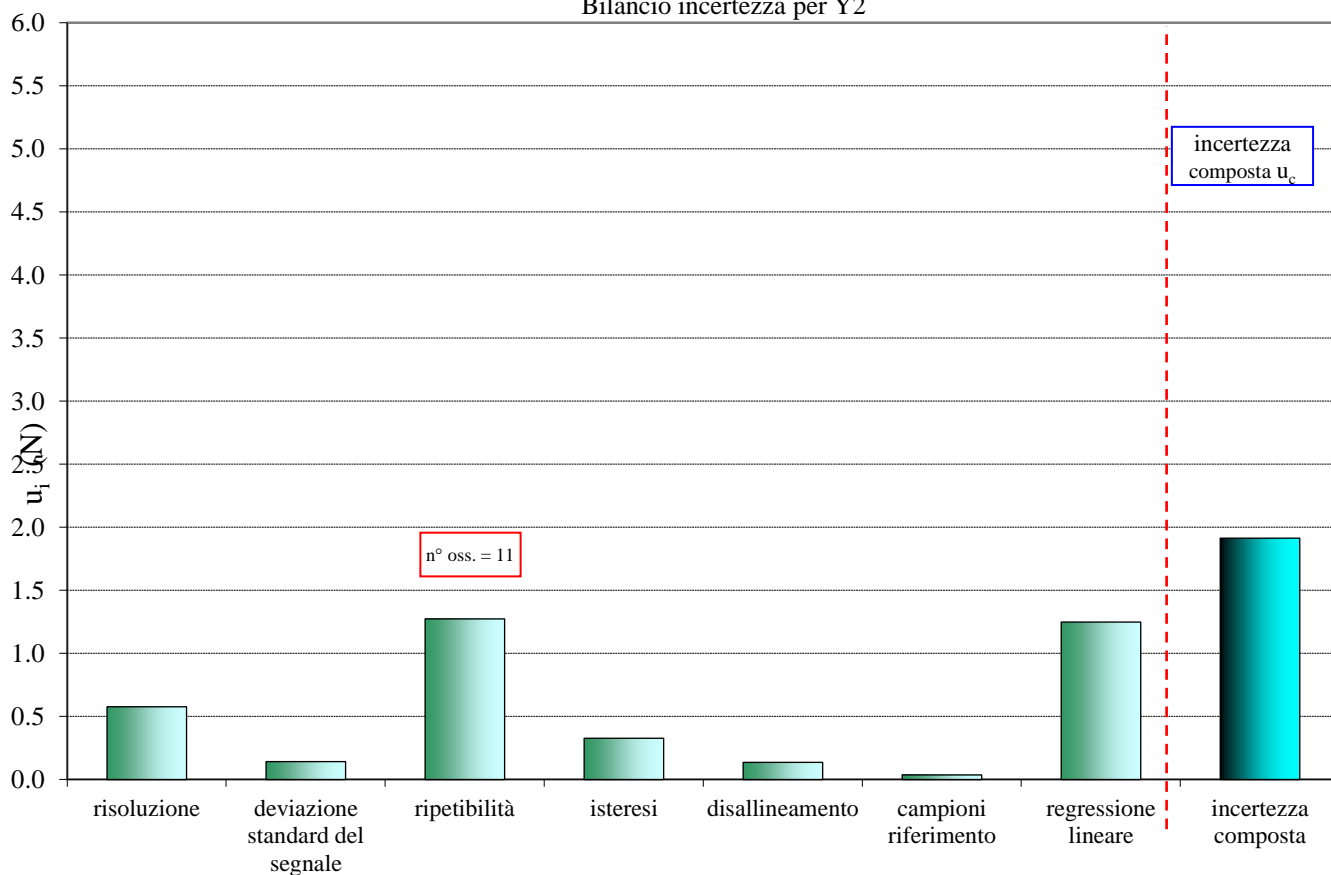


Figura 26. Valutazione dell'incertezza composta il trasduttore Y2.

Report di taratura trasduttore  $Z_1$

Caratteristiche strumento				Condizioni taratura e campioni di riferimento			
Strumento	costruttore	modello	n° identificazione	procedura	campioni riferimento	campioni utilizzati	certificato
trasduttore	Remmers	R-62 Z1	No. 10	Pr31, Pr44	masse	da N4 a N19	
unità di misura	portata nominale	campo di taratura	sovraccarico massimo	temperatura	umidità relativa	posizione fissaggio	supporto
N	6000	-2206 a 2206	120%	18	33%	orizzontale	R-62 IX

Bilancio incertezza per Z1

Fonte d'incertezza	valore	Tipo A/B	Distribuzione probabilità	divisore	c	contributo d'incertezza
risoluzione	1.00	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.58
deviazione standard del segnale	0.239	A	normale	2	1	0.12
ripetibilità	0.917	A	normale	2	1	0.46
isteresi	0.804	A	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.46
disallineamento	0.215	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.12
campioni riferimento	0.061	B	normale	2	1	0.03
regressione lineare	2.911	A	normale	2	1	1.46
<b>incertezza composta</b>						<b>1.71</b>

Analisi di conformità

Incertezza richiesta*	0.20	Incertezza estesa % della portata	0.06	Conforme
-----------------------	------	-----------------------------------	------	----------

Bilancio incertezza per Z1

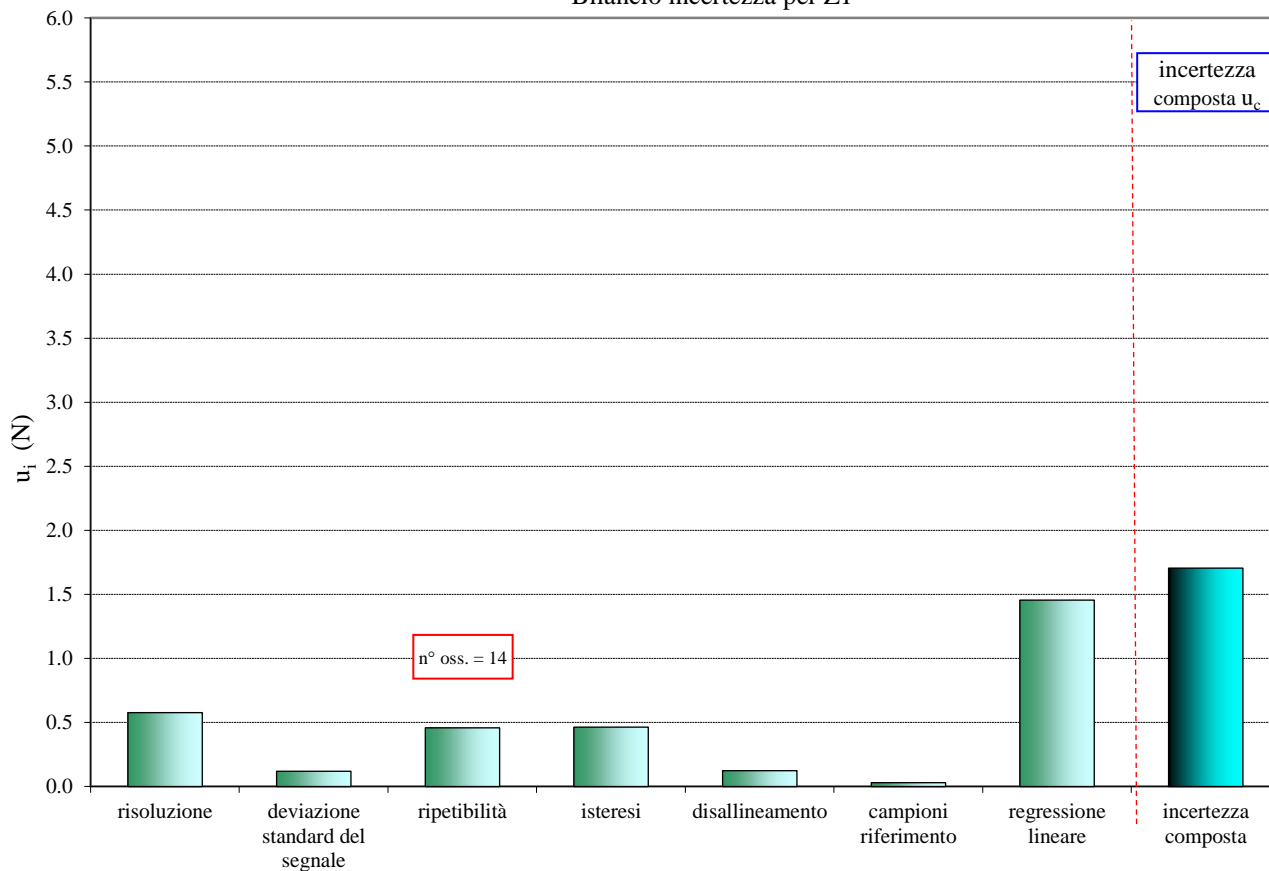


Figura 27. Valutazione dell'incertezza composta il trasduttore Z1.

Report di taratura trasduttore **Z2**

Caratteristiche strumento				Condizioni taratura e campioni di riferimento			
Strumento	costruttore	modello	n° identificazione	procedura	campioni riferimento	campioni utilizzati	certificato
trasduttore	Remmers	R-62 Z2	No. 11	Pr31, Pr44	masse	da N4 a N19	
unità di misura	portata nominale	campo di taratura	sovraccarico massimo	temperatura	umidità relativa	posizione fissaggio	supporto
N	6000	-1765 to 2206	120%	18	33%	orizzontale	R-62 IX

## Bilancio incertezza per Z2

Fonte d'incertezza	valore	Tipo A/B	Distribuzione probabilità	divisore	c	contributo d'incertezza
risoluzione	1.00	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.58
deviazione standard del segnale	0.271	A	normale	2	1	0.14
ripetibilità	4.602	A	normale	2	1	2.30
isteresi	0.995	A	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.57
disallineamento	0.215	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.12
campioni riferimento	0.061	B	normale	2	1	0.03
regressione lineare	2.882	A	normale	2	1	1.44
<b>incertezza composta</b>						<b>2.84</b>

## Analisi di conformità

Incertezza richiesta*	0.20	Incertezza estesa % della portata	0.09	Conforme
-----------------------	------	--------------------------------------	------	----------

## Bilancio incertezza per Z2

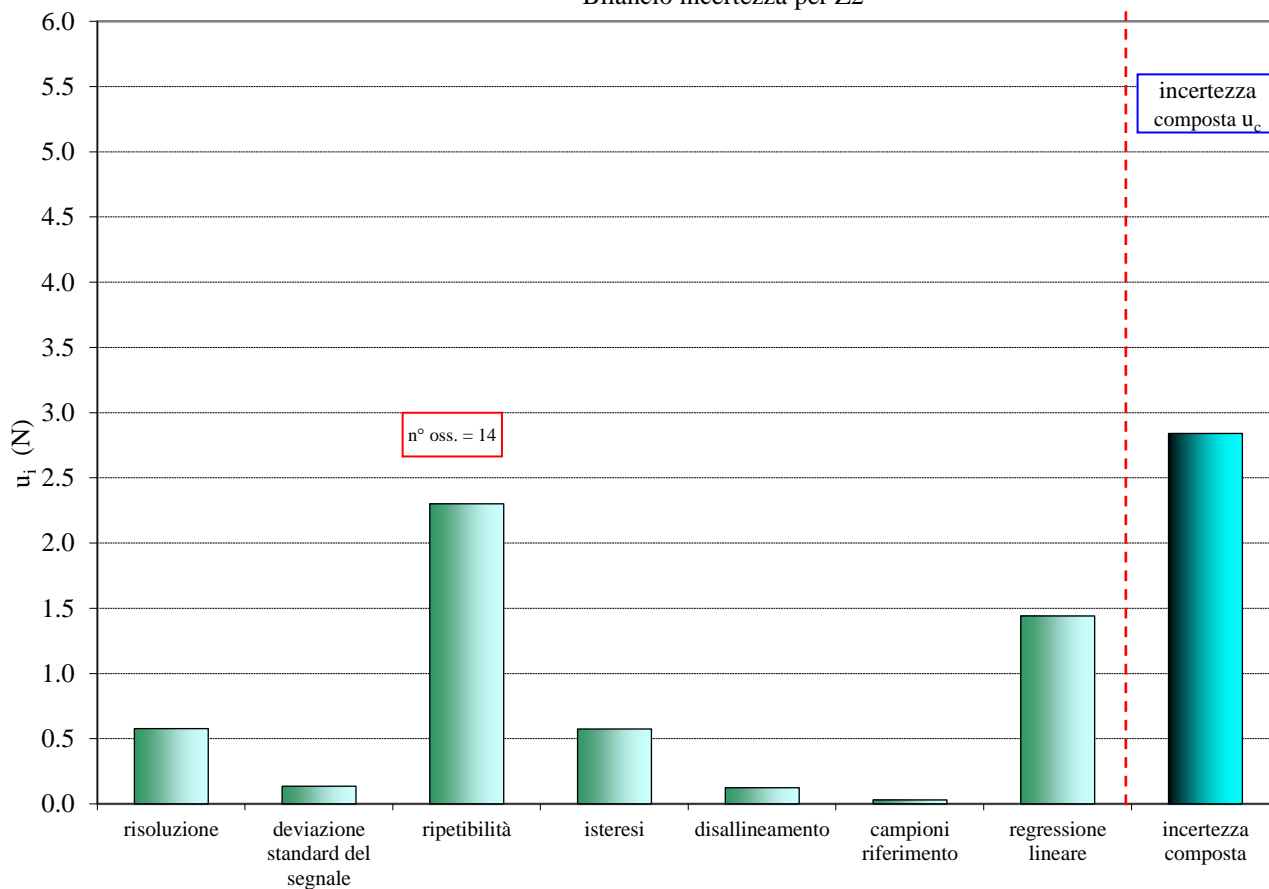


Figura 28. Valutazione dell'incertezza composta il trasduttore Z2.

Report di taratura trasduttore **Z3**

Caratteristiche strumento				Condizioni taratura e campioni di riferimento			
Strumento	costruttore	modello	n° identificazione	procedura	campioni riferimento	campioni utilizzati	certificato
trasduttore	Remmers	R-62 Z3	No. 8	Pr31, Pr44	masse	da N4 a N19	
unità di misura	portata nominale	campo di taratura	sovraccarico massimo	temperatura	umidità relativa	posizione fissaggio	supporto
N	6000	-490 to 490	120%	18	33%	orizzontale	R-62 IX

## Bilancio incertezza per Z3

Fonte d'incertezza	valore	Tipo A/B	Distribuzione probabilità	divisore	c	contributo d'incertezza
risoluzione	1.00	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.58
deviazione standard del segnale	0.234	A	normale	2	1	0.12
ripetibilità	1.052	A	normale	2	1	0.53
isteresi	0.216	A	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.12
disallineamento	0.048	B	rettangolare	$\sqrt{3}$	1	0.03
campioni riferimento	0.061	B	normale	2	1	0.03
regressione lineare	1.460	A	normale	2	1	0.73
<b>incertezza composta</b>						<b>1.08</b>

## Analisi di conformità

Incertezza richiesta*	0.20	Incertezza estesa % della portata	0.04	Conforme
-----------------------	------	-----------------------------------	------	----------

## Bilancio incertezza per Z3

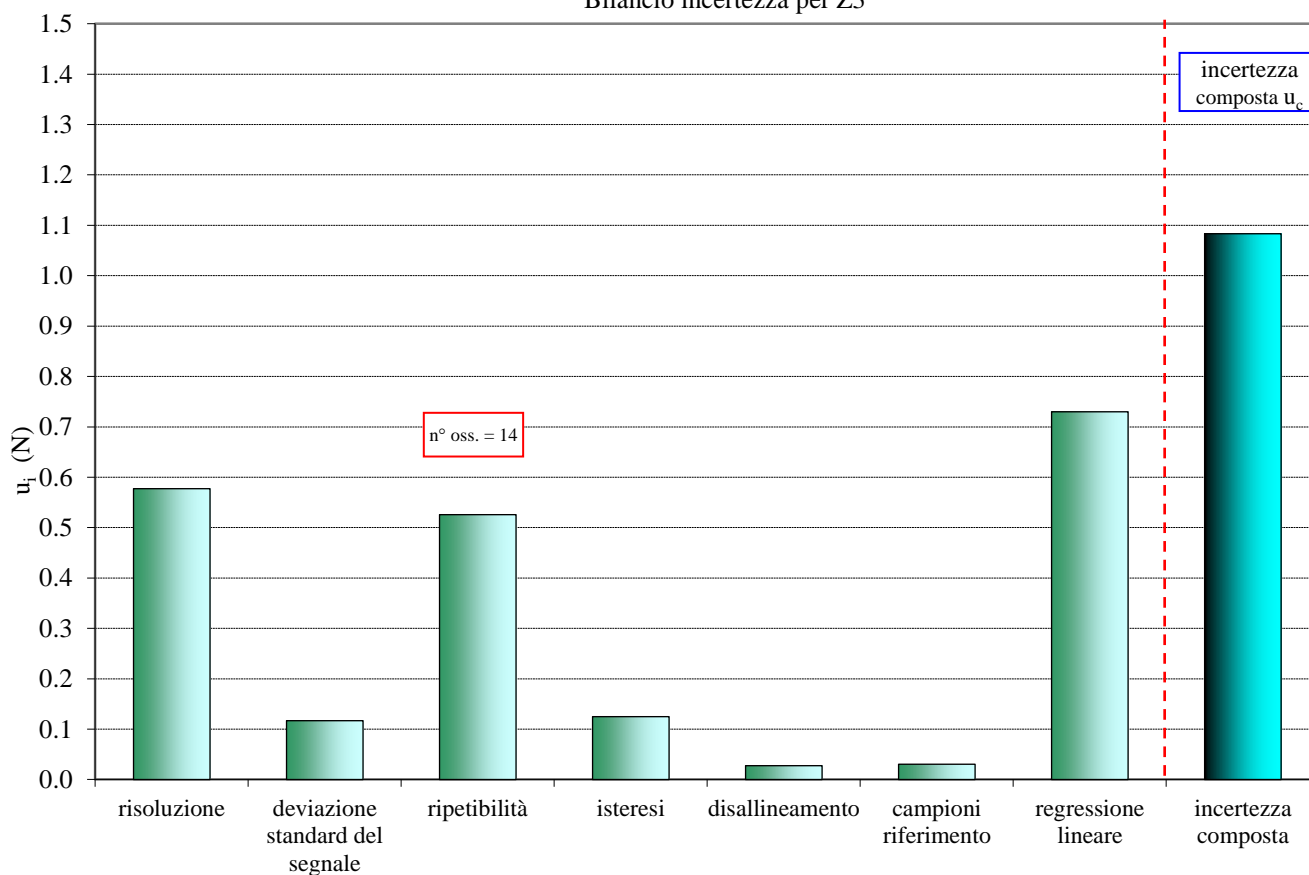


Figura 29. Valutazione dell'incertezza composta il trasduttore Z3.

## Appendice C

## Prestazioni del dinamometro

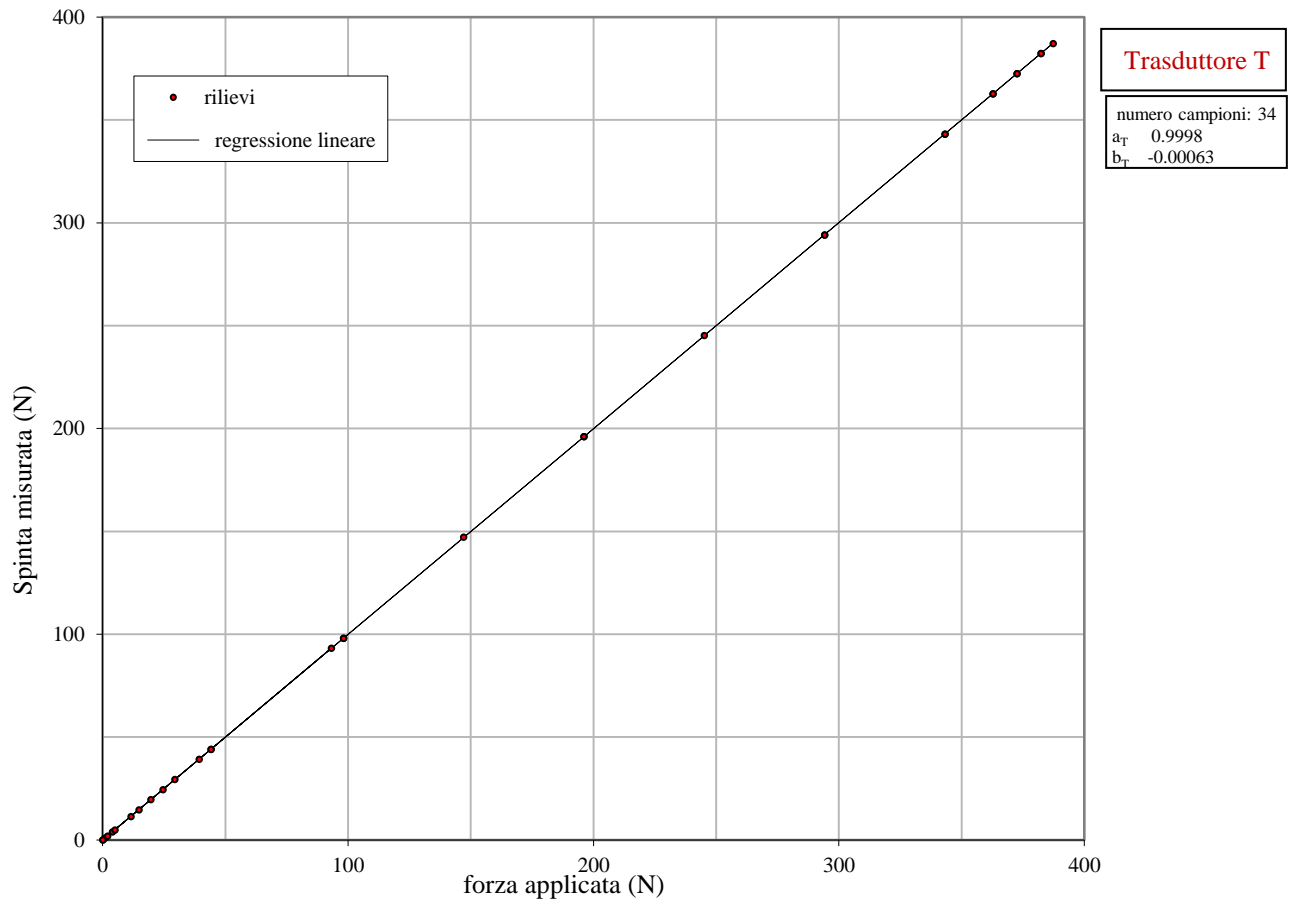


Figura 30. Retta di risposta del trasduttore della spinta T.



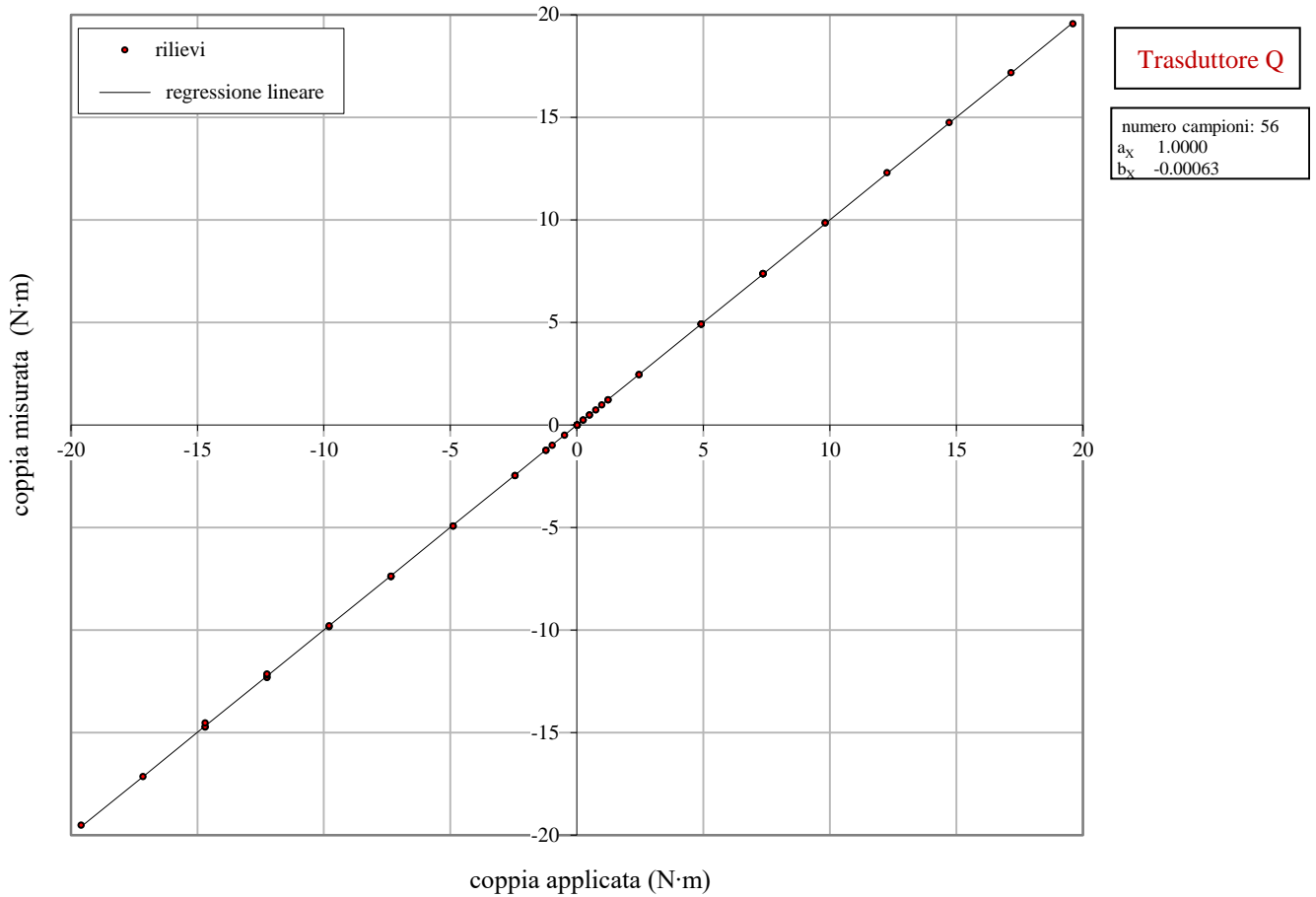


Figura 1. Retta di risposta del trasduttore della spinta T.