


ISTITUTO DI INGEGNERIA DEL MARE
 INSTITUTE OF MARINE ENGINEERING

PROCEDURA
TITOLO
Taratura Dinamometro J15
AUTORE/I
Nome
Cognome
Matricola

1

Roberto

Basti

40372

2

Stefano

Dalla Torre

12789

3

Flavio

Olivieri

15261

**PROGETTO/
COMMESSA**
Identificativo
RESPONSABILE/I
COMMITTENTE/I
PARTNER/S
KEYWORDS
DIFFUSIONE
Privata
Riservata
Pubblica

X

NOTE
Revisione
NOTE GENERALI D'ISTITUTO
Data

CENTRO DI RICERCA DI APPARTENENZA	CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche		
DENOMINAZIONE ISTITUTO	CNR – INM <i>Istituto di Ingegneria del Mare</i>		
SEDE/INDIRIZZO	Via di Vallerano, 139 – 00128 Roma (RM)		
TEL	06 502991	FAX	06 5070619
E-MAIL	segreteria.inm@cnr.it	PEC	protocollo.inm@pec.cnr.it
WEBSITE	www.inm.cnr.it		
DIRETTORE D'ISTITUTO	Dott. Ing. IAFRATI Alessandro		

Visto, si approva
IL DIRETTORE

TABELLA DEI CONTRIBUTORI

Autore di Riferimento ai fini della gestione del prodotto

<i>Nome</i>	<i>Cognome</i>	<i>Matricola</i>
Stefano	Dalla Torre	12789

Autore/i

<i>Nome</i>	<i>Cognome</i>	<i>Matricola</i>
Roberto	Basti	40372
Flavio	Olivieri	15261

Personale Coinvolto

<i>Nome</i>	<i>Cognome</i>	<i>Matricola</i>

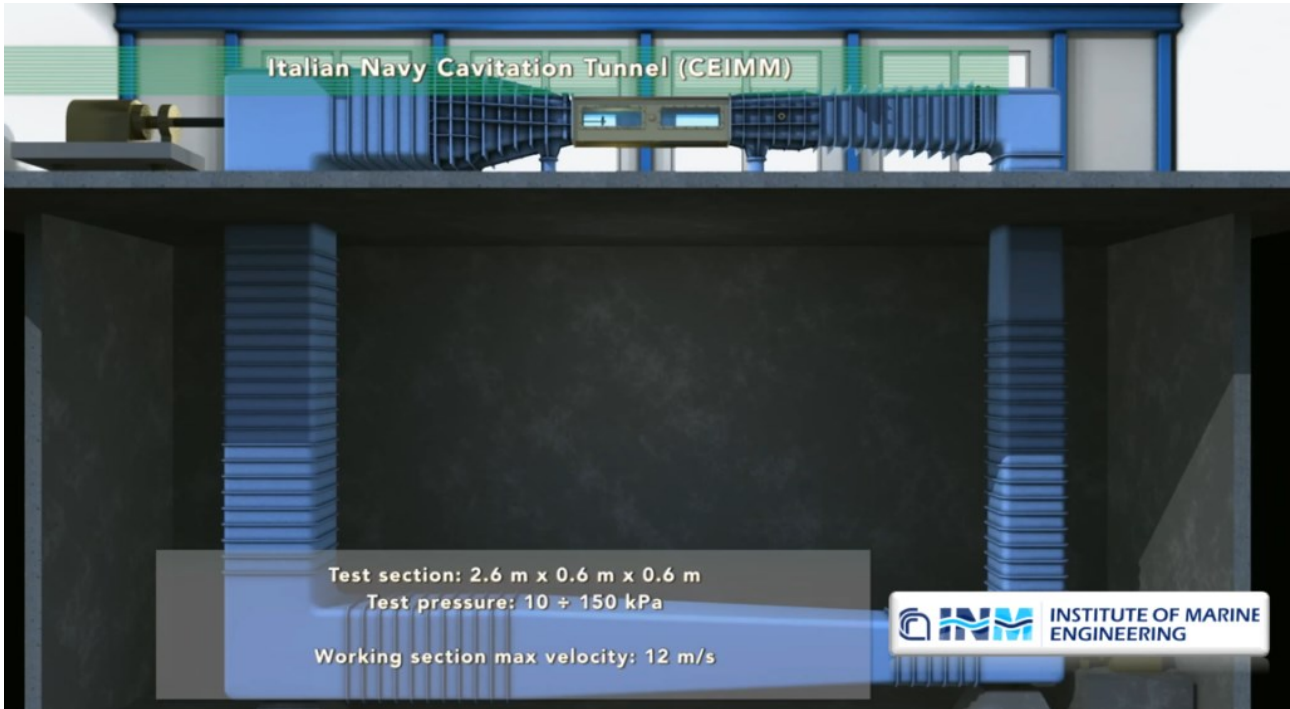
Nota di Riservatezza

This Technical Report contains information which is communicated in confidence and should not be divulged, even partially, without the consent of CNR INM and of the organization for whom prepared.

I contenuti di questo rapporto sono considerati di proprietà dell'organizzazione per cui sono preparati. Nessuna parte di questo rapporto può essere divulgata in alcuna forma e modo senza il permesso di un rappresentante autorizzato di questa organizzazione.

Taratura Dinamometro J15

R. Basti, S. Dalla Torre



Il presente documento descrive la sequenza di operazioni necessarie ad eseguire la taratura delle grandezze fisiche spinta (Thrust) e coppia (torque) del dinamometro J15, un sistema di misurazione progettato per la valutazione delle prestazioni di eliche in scala all'interno di gallerie idrodinamiche. La conduzione di sperimentazioni su modelli fisici di tale natura richiede l'impiego di strumentazione specialistica, spesso sviluppata e realizzata specificamente per il contesto di ricerca.

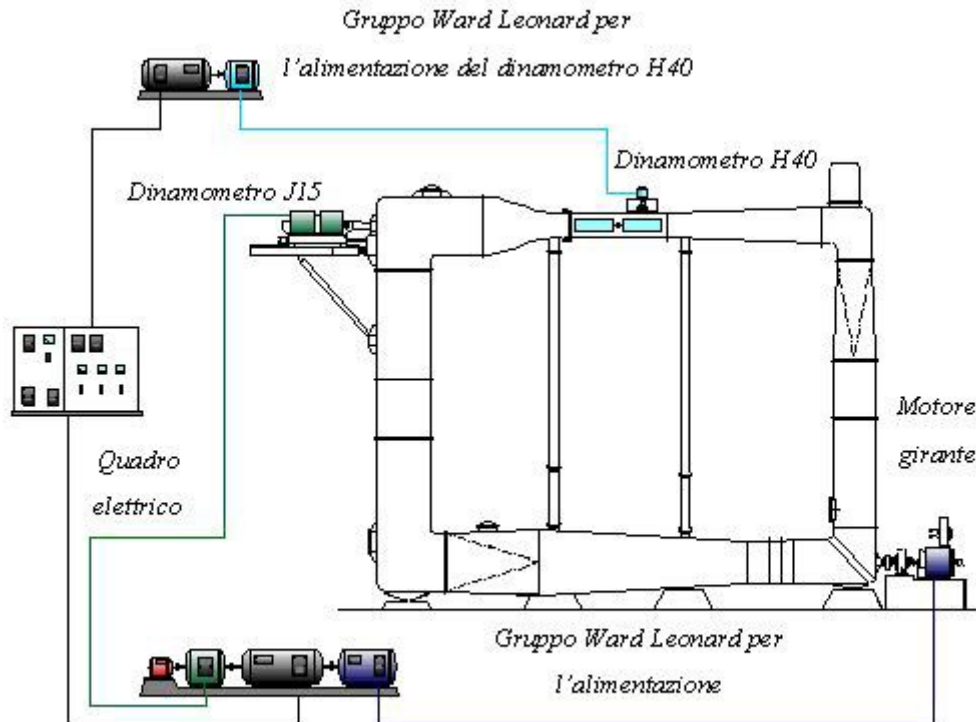
Cenni Storici

Le dotazioni sperimentali dell'Istituto di Ingegneria del Mare (INM) derivano dall'integrazione di impianti, attrezzature ed equipaggiamenti provenienti dai diversi Istituti confluiti.

La sede principale di Roma, precedentemente nota come INSEAN, fu istituita nel **1927** nell'area di San Paolo con l'obiettivo primario di supportare l'industria cantieristica italiana, sia in ambito civile che militare. A tal fine, fu equipaggiata con laboratori e infrastrutture dotate di installazioni e apparecchiature dedicate a studi, ricerche ed esperimenti.

Negli anni '70, con il trasferimento presso l'attuale sede di Via di Vallerano, i laboratori, le officine e gli impianti sperimentali furono oggetto di un significativo ampliamento, parallelamente a un processo di ammodernamento e adeguamento tecnologico delle attrezzature esistenti.

La Marina Militare Italiana, che contribuì finanziariamente alla realizzazione delle nuove strutture, optò per la costruzione e gestione diretta di un **tunnel idrodinamico** adiacente agli impianti dell'INM. Tale infrastruttura è ora il **Centro Esperienze Idrodinamiche Marina Militare (C.E.I.M.M.)**. Attualmente, sebbene il tunnel rimanga di proprietà della Marina Militare, la sua gestione operativa è affidata al personale tecnico dell'INM, che ne consente l'utilizzo per scopi scientifici da parte dei ricercatori e tecnologi dell'Istituto.



Descrizione Tecnica del Tunnel di Cavitazione

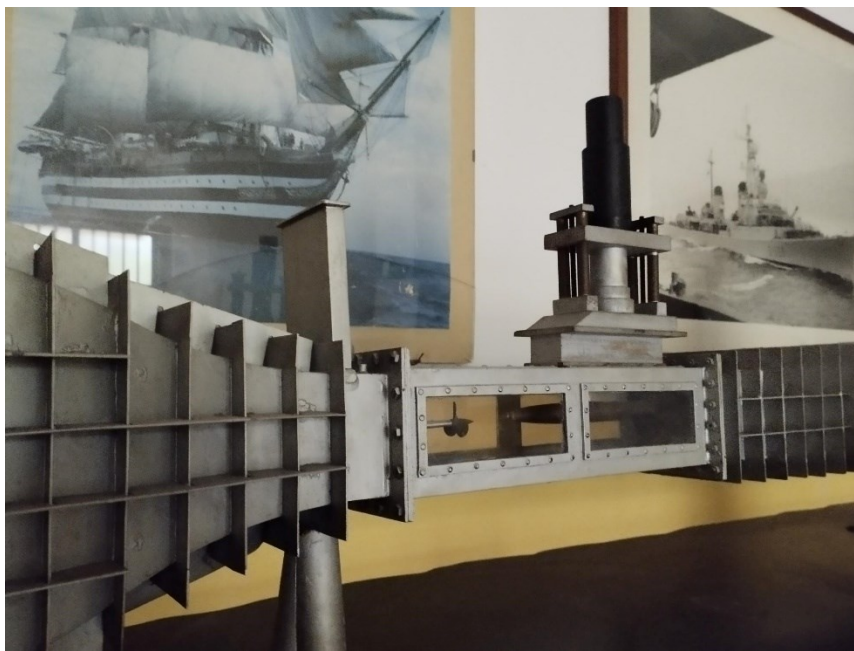
Presso il C.E.I.M.M., opera un tunnel di cavitazione Cussons, modello K15, gestito dal CNR-INM. Questo tunnel, sviluppato da Kempfs & Remmers (Germania), è dimensionato per condurre test su eliche (con diametro massimo di 300 mm), profili alari e appendici di carena in scala. Pur essendo versatile, è primariamente dedicato a testare eliche, timoni e appendici anche in condizioni di cavitazione.

Le sperimentazioni idrodinamiche che l'impianto consente di eseguire includono:

- **Caratterizzazione di eliche e profili:** Determinazione delle curve caratteristiche a differenti indici di cavitazione, in flussi uniformi e non uniformi (scala modello).
- **Analisi della cavitazione:** Identificazione ed osservazione visiva sul comportamento dell'elica per rilevarne l'inizio e l'estensione del fenomeno di cavitazione in corrispondenza di punti operativi significativi (questi ultimi dedotti dalle prove di autopropulsione in vasca).
- **Visualizzazione della scia:** Osservazioni della scia mediante sistemi **LDV (Laser Doppler Velocimetry)** e **PIV (Particle Image Velocimetry)** su scala modello.
- **Misure acustiche e pressorie:** Rilevazione del rumore e delle pressioni indotte.

Le misurazioni includono forze, momenti, velocità, pressione e rumore. È inoltre possibile lo studio di eliche controrotanti (CRP). Il tunnel permette l'esecuzione di test di cavitazione ed erosione tramite la riduzione della pressione del sistema a valori compresi tra 1,5 e 0,15 Atm, con una velocità massima del flusso di 12 m/s. Questo limite è imposto dall'estensione delle sezioni verticali del tunnel e dalla potenza del motore della girante.

La struttura del tunnel si compone di due sezioni orizzontali di 12 metri e due sezioni verticali di 8,5 metri, unite da raccordi equipaggiati con raddrizzatori di flusso. La camera di prova, posizionata centralmente nella sezione superiore, presenta una sezione quadrata di 60 x 60 x 220 cm. È equipaggiata con finestre di osservazione in polimero trasparente su tutti e quattro i lati, ciascuna di 30 x 100 cm (con uno spessore di 30 mm), consentendo le visualizzazioni di fenomeni di flusso.



Sistemi di Misura

L'impianto integra sistemi di misurazione consistenti non solo nei dinamometri standard ma anche in sistemi non invasivi avanzati per la misurazione della velocità, basati su tecnologie laser (Velocimetria Doppler Laser, Velocimetria a Immagine di Particella).

Di seguito un elenco dei principali sistemi di misurazione equipaggiati con sensori estensimetrici:

- **Dinamometro principale:** J15, Kempfs & Remmers (coppia, spinta e velocità di rotazione)
- **Dinamometro ausiliario:** H40, Kempfs & Remmers. (coppia, spinta e velocità di rotazione)
- **Bilance:** a 3 e 5 componenti, Kempfs & Remmers. (forze)

J15

L'asse del dinamometro è coincidente con l'asse orizzontale superiore del tunnel. Il braccio portaelica, sostenuto da una crociera, fuoriesce a monte della camera di osservazione, dove è posizionato il gruppo motore. Quest'ultimo è montato su una slitta apposita che permette lo scorrimento longitudinale del gruppo motore/J15.

I **valori massimi operativi** del dinamometro sono:

- **Spinta:** 2450 N
- **Coppia:** 98 Nm
- **Velocità di rotazione:** 4000 rpm

Le misurazioni vengono effettuate tramite due distinte **celle di carico estensimetriche** (a ponte di Wheatstone).

Il **Ponte di Wheatstone** è un circuito elettrico utilizzato per misurare una resistenza elettrica sconosciuta, o per rilevare piccole variazioni di resistenza, come quelle causate dalla deformazione di un estensimetro. Consiste in quattro resistori disposti a ponte, alimentati da una tensione. Tre resistori hanno valori noti, mentre il quarto è la resistenza incognita (o un sensore che varia la sua resistenza). Quando il ponte è bilanciato, la differenza di potenziale tra i due punti centrali del ponte è zero, permettendo di calcolare il valore della resistenza incognita. Nel caso delle celle di carico, la deformazione del materiale su cui è applicato l'estensimetro provoca una variazione della sua resistenza, sbilanciando il ponte e generando una tensione misurabile, proporzionale alla forza o alla coppia applicata.

Sistema di Acquisizione Dati

L'**acquisizione dati (DAQ)** è il processo di campionamento e conversione di segnali analogici rappresentanti grandezze fisiche in un formato digitale manipolabile. I sistemi DAQ sono costituiti da una catena di misura completa, che include i seguenti componenti:

- **Sensori:** Trasduttori per la conversione delle grandezze fisiche in segnali elettrici.
- **Condizionamento del segnale:** Circuiti per l'amplificazione, filtraggio e linearizzazione dei segnali del sensore.
- **Convertitore analogico/digitale (ADC):** Per la digitalizzazione dei segnali condizionati.
- **Computer:** Con software dedicato per la gestione delle misure, la visualizzazione, l'analisi e l'archiviazione dei dati.

Nelle tarature è stato impiegato un dispositivo **DEWE43-A** per l'acquisizione e l'analisi dei dati. Questo sistema, caratterizzato da flessibilità ed elevate prestazioni, include amplificatori di segnale di qualità e compatibilità con diverse tipologie di sensori e segnali. Il DEWE43-A integra convertitori sigma-delta a 24 bit e 16 canali di ingresso, di cui 8 analogici (tensione e/o ponte) e 8 digitali, con una frequenza di campionamento simultanea di **200 kS/sec**.

Tutte le apparecchiature DEWE operano con il software di acquisizione dati **DewesoftX Professional** (versione base), fornito in dotazione

Taratura

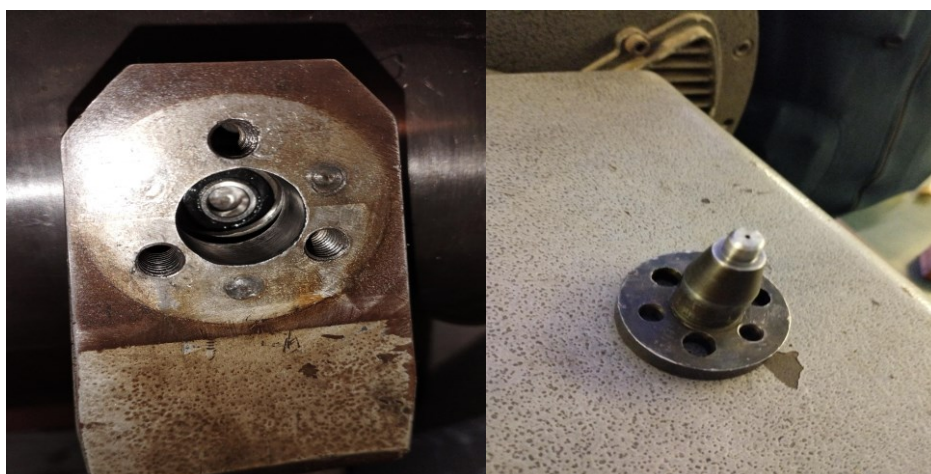
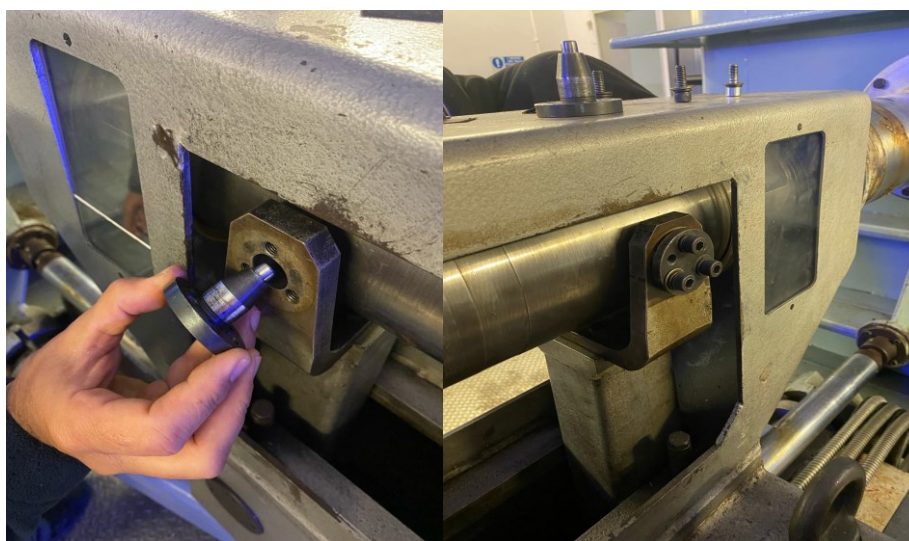
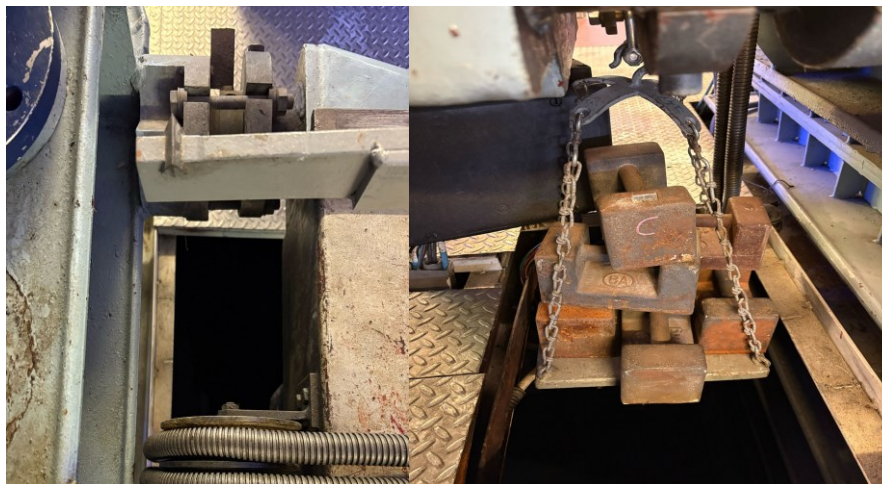
Per la spinta procedere come segue:

1. **smontare** il contrappeso fissato sulla struttura. Questo contrappeso ha la funzione di bilanciare il peso intrinseco del dinamometro.
2. **montare** nella sede del contrappeso l'apposita asta alla quale verrà appesa il piattello porta-pesi.
3. **Appendere** il piattello porta pesi sulla sede all'estremità dell'asta.
4. **Applicare la sequenza di carichi** predefinita, registrando i valori.
5. **Acquisire i segnali** dal dinamometro.

È fondamentale notare che la lunghezza di questo braccio ausiliario è il doppio della leva di misura della spinta del dinamometro. Di conseguenza, per ottenere il valore corretto della spinta letta dal dinamometro si tiene conto che il valore misurato è il doppio del carico applicato.

N.B. Per avere un segnale libero da attriti, liberare il dinamometro dall'asse





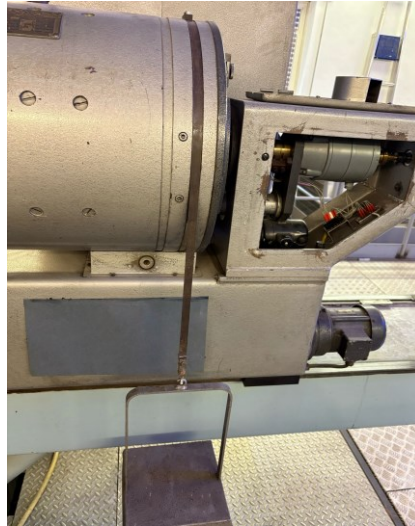
effettuare dei test di funzionalità con tutto rimontato

Per la coppia procedere come segue:

1. **Collegare la fettuccia di acciaio** nell'apposito alloggiamento (come indicato in figura).

2. **Agganciare il piattello porta-pesi** (come indicato in figura).
3. **Applicare la sequenza di carichi** predefinita, registrando i valori.
4. **Acquisire i segnali** dal dinamometro.

Il valore di coppia di riferimento da associare al segnale acquisito è calcolato moltiplicando il carico applicato (in Newton) per **0,23 m**, che rappresenta il braccio di leva efficace determinato dal raggio della carcassa del motore.



Bibliografia

Sv. Aa. Harvald. “Resistance and propulsion of ships” - Wiley, 1983

ITTC Recommended Procedures and Guidelines - 7.5-02-02-01 , 2021

Ernest O. Doebelin “Engineering experimentation : planning, execution, reporting” - McGraw-Hill, 1995

UNI CEI EN ISO/IEC 17025 “Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura”, 2019

Appendici

Consiglio Nazionale delle Ricerche
National Council of Research

Taratura
Calibration
MOD 04 Rev.0/2025
Rapporto di taratura n. 2313
Calibration report n.

ISTITUTO DI INGEGNERIA DEL MARE
INSTITUTE OF MARINE ENGINEERING
Laboratorio Metrologico
Metrology Lab

Caratteristiche strumento Instrumental characteristics				Dati taratura e campioni riferimento Calibration and reference standard data			
Strumento Instrument	Costruttore Manufacturer	Modello Model	numero di serie Serial number	Procedura procedure	riferimento reference	campioni utilizzati used reference	certificati certificates
Dinamometro Dynamometer	KEMPF & REMMERS	J15	J	PR 31	in corso in use	4,5,6,7,41	
Unità di misura measurand	portata nominale nominal range	sovraccarico massimo maximum overload	segnale di zero zero point	temperatura ambiente ambient temperature	umidità relativa Relative humidity	posizione angolo angle	supporto Accessories
Nm	100	0%	0.0 V	21	37%	verticale vertical	J15

Dati amplificatore e condizionatore segnale Signal amplifier and conditioner data								
Modello type	identificativo identification	canale channel	misura measurement	Intervallo di misura Measuring Range	Tensione di uscita dal punta (V) Output voltage at the tip	Frequenza campiona- mento Sample rate	TEDS ID/ID	Certificato Certificate
Dawa434	007RFB8	1	lineare/straight	0-10 V		100		141015-2

Bilancio incertezza Uncertainty Budget							
Fonte Source	risultato result	Valore Value	Tipo (A/B) Type (A/B)	Distribuzione probabilità Probability distribution	Divisore divisor	c c	Contributo Incertezza Contribution
risoluzione ripetibilità inversione	risoluzione resolution	5.0E-01	B	rettilineare	1.73	1	0.29
	ripetibilità repeatability	2.0E-01	B	rettilineare	1.73	1	0.12
deviazione standard conversione analogico-digitale distacco	deviazione standard standard deviation	1.0E-01	B	rettilineare	1.73	1	0.06
	conversione analogico-digitale distacco	4.4E-04	A	normale	2	1	0.00
campioni riferimento regressione lineare	conversione analogico-digitale distacco	2.5E-02	B	rettilineare	1.73	1	0.01
	campioni riferimento regressione lineare	7.0E-03	B	rettilineare	1.73	1	0.00
regressione lineare	conversione analogico-digitale distacco	1.5E-02	B	normale	2	1	0.01
	regressione lineare linear regression	1.8E-01	A	normale	2	1	0.06
incertezza composta	Combined uncertainty						0.33

Analisi di conformità* Compliance Analysis*				
incertezza richiesta Target uncertainty*	1.00	incertezza estesa 95% Expanded uncertainty 95%*	0.66	Conforme Compliant

Programma usato Used Software	Fattore di scala k scale factor k 95%/95
Dewason V.2024.3	24.92

Data Date	Esecutore Performer	Firma Signature
10/03/2025	S. DALY TORRE	

* vedi procedura PR-31
** incertezza totale dei campioni di riferimento
*** fattore di copertura k=2, intervallo di confidenza 95%
**** incertezza relativa al braccio di carico
* see procedure PR-31
** total uncertainty of reference standard
*** coverage factor k=2, level of confidence 95%
**** the relative uncertainty at the load arm

Campo di taratura range calibration: 0-100 Nm

campioni di riferimento reference standard	valore misurato measured value (V)	risultati misure measurement results			incertezza puntuali local uncertainties			
		app. approx.	momento reference value torque	valore regressione regressive value	scarto deviation	riferimento** reference**	composta* combined*	estesa relativa*** expanded relative***
0	0.00	+	0.00	0.12	0.75	4.3E-02	0.32	0.00
4	0.45	+	11.27	11.31	0.04	4.3E-02	0.31	0.00
4	0.60	+	22.95	22.92	0.03	4.3E-02	0.31	0.00
4+1	1.35	+	33.87	33.72	0.09	4.3E-02	0.32	0.00
4+6	1.80	+	45.11	44.95	0.16	4.3E-02	0.32	0.04
4+5+1	2.28	+	65.38	65.40	-0.12	4.3E-02	0.32	0.00
+1+6	2.70	+	67.62	67.41	0.21	4.3E-02	0.34	0.00
4, 5+6, 41	2.77	+	75.92	75.10	0.20	4.3E-02	0.34	0.00

Consiglio Nazionale delle Ricerche
National Council of Research

Taratura
Calibration
MDD 04 Rev. 5/2025

ISTITUTO DI INGEGNERIA DEL MARE
INSTITUTE OF MARINE ENGINEERING
Laboratorio Meteorologico
Meteorology Lab

Rapporto di taratura n. 2312
Calibration report n.

Caratteristiche strumento strument characteristics				Dati taratura e campioni riferimento Calibration and reference standard data			
Strumento instrument	Costruttore Manufacturer	Modello model	numero di serie serial number	Procedura procedure	Riferimento reference	Campioni allizzati 1507 reference	Certificato certification
Barometro capacitivo	REMMERS	J11		PR-81	pesi weights	4.537, 10.14 12	M003-18
Unità di misura units of measure	portata nominale nominal range	intervallo massimo maximum interval	segnale di zero zero signal	temperatura ambiente ambiente temperature	umidità relative humidity	posizione position	supporto support
N	1400	2315		20	30%		

Dati amplificatore e condizionatore segnale
Signal amplifier and conditioner data

Modello Type	Identificativo Identification	canale channel	misura measurement	Intervallo di misura Measuring Range	Tensione di alimentazione del cavo (V) Supply Voltage	Frequenza campionata Sampling rate	TEOS TC05	Certificato Certificate
Omni 2.4		1	temperatura	0 - 5 V	5Vdc	100		

Bilancio incertezza
Uncertainty Budget

Fonte Source	Valore Value	Tipico Type (A/B)	Distribuzione probabilità Probability distribution	Intervallo Interval	k	Contributo incertezza Uncertainty contribution	
isolazione dipendenza interrelati	0.0E-06	B	retangolare	1,73	1	0,000	
	4.0E-02	A	normale	2	1	0,000	
deviazione standard conversione analogico-digitale disallineamento	0.0E-02	A	retangolare	1,73	1	0,000	
	6.7E-06	B	retangolare	1,73	1	3,073	
campioni riferimento	5.0E-02	B	normale	2	1	0,000	
	4.0E-02	A	normale	2	1	0,000	
incertezza composta							0,9

Analisi di conformità*
Compliance Analysis*

Incertezza richiesta* Target uncertainty*	1,00	incertezza estesa % ^{***} Expanded uncertainty % ^{***}	0,95	Conforme Compliant
--	------	---	------	-----------------------

Programma usato used software	Fattore di scala k scale factor k (ISO)
Divisor M V 2024.3	257,8

Data date	Esecutore Technician	Firma Signature
16/03/2025	R. Suda	<i>[Signature]</i>

* vedi procedura PR-81

** Incertezza totale dei campioni di riferimento

*** Campo di copertura 4-5, intervallo di confidenza 95%

**** valore di riferimento è richiesto per 2 deviazioni

***** Campo di taratura range calibration 4-5%

vedi procedura PR-81

** Incertezza totale dei campioni di riferimento

*** Campo di copertura 4-5, intervallo di confidenza 95%

**** valore di riferimento è richiesto per 2 deviazioni

***** Campo di taratura range calibration 4-5%

campioni di riferimento reference standard	valore misurato measured value (V)	risultati misura measurement results			scarto deviation	incertezza puntuali local uncertainties		incertezza relativa relative uncertainty ratio ^{***}
		app.	valore riferimento reference value mV	regressione regression value		riferimento ^{**} reference ^{**}	composta ^{**} combined ^{**}	
4	0,000	+	0,000	0,000	0,000	0,0000	2,47	
400	0,000	+	100,00	100,000	0,000	0,0100	2,47	0,010
7450	1,317	+	800,10	800,100	0,000	0,0100	2,47	0,010
44000	1,975	+	100,20	100,200	0,000	0,0100	2,47	0,010
44000	2,633	+	700,20	700,200	0,000	0,0100	2,47	0,010
44000	3,291	+	600,30	600,300	0,000	0,0100	2,47	0,010
44000	3,950	+	500,40	500,400	0,000	0,0100	2,47	0,010
44000	4,608	+	400,50	400,500	0,000	0,0100	2,47	0,010
44000	0,000	+	0,0000	0,000	0,000	0,0000	2,47	