



Document Type	Technical specifications	Document Number
Title		Revision
Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy		

Specifiche tecniche

Banco Prova per Motori Elettrici TEST-eDRIVE

	Document Type	Technical specifications	Document Number
	Title		Revision
	Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy		

Indice

Sommario

INDICE	2
1. REQUISITI TECNICI MINIMI	3
1.1. TAGLIA E PRESTAZIONI NOMINALI MINIME.....	3
1.2. DESCRIZIONE DELLE PARTI MECCANICHE	4
1.2.1. <i>Telaio e Squadre</i>	5
1.2.2. <i>Struttura di compartimentazione</i>	6
1.3. AZIONAMENTO FRENO DM	6
1.4. SISTEMA DI SUPERVISIONE E CONTROLLO.....	7
1.4.1. <i>Interfaccia utente UI</i>	7
1.4.2. <i>I/O gestiti dal sistema Real-Time RTHW</i>	8
1.5. SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO TERMICO	8
1.5.1. <i>Raffreddamento a liquido della macchina freno DM</i>	8
1.5.2. <i>Raffreddamento/riscaldamento a liquido della macchina in test MUT</i>	8
1.6. SENSORI E TRASDUTTORI	9
1.6.1. <i>Torsiometro HBM</i>	9
1.7. ELEMENTI NECESSARI DELLA FORNITURA.....	9
1.8. RIASSUNTO DEI REQUISITI MINIMI	10

	Document Type	Technical specifications	Document Number
	Title		Revision
	Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy		

1. Requisiti Tecnici Minimi

L'oggetto della fornitura, detto "banco TEST-eDRIVE", è un sistema per il test per macchine elettriche rotanti.

La macchina in prova è indicata con la sigla **MUT (machine under test)**, non fa parte della fornitura, e non è identificata univocamente in questa fase. Il banco deve essere in grado di testare MUT di taglia e dimensioni diverse.

I componenti hardware e software del banco sono:

- Struttura meccanica per il sostegno della macchina in test e della macchina freno
- Involucro di compartimentazione del banco
- Macchina ed Azionamento freno (indicati con l'acronimo **DM: Driving Machine**)
- Sistema di supervisione e controllo del banco prova
- Sistema di condizionamento termico
- Sensori e Trasduttori

1.1. Taglia e Prestazioni nominali minime

Le prestazioni **nominali continuative** richieste della DM sono indicate in Tabella 1, le curve nominali corrispondenti sono rappresentate in Figura 1. L'azionamento DM presenta una zona di funzionamento a coppia costante fino alla velocità base (N_b) ed una a potenza costante dalla velocità base fino alla massima velocità (N_{max}). La descrizione delle modalità di funzionamento, sistemi di misura, struttura meccanica, ecc. è demandata ai successivi capitoli.

Tabella 1. Prestazioni nominali continuative

T_n	Coppia Nominale	≥ 200	Nm
P_n	Potenza nominale (da 6000 a 20000 rpm)	≥ 125	kW
N_b	Velocità base	≥ 5968	RPM
N_{max}	Velocità massima operativa	≥ 20000	RPM
$N_{max OS}$	Overspeed	$= 22.000$	RPM



Document
Type
Title

Technical specifications

Document Number

Revision

Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy

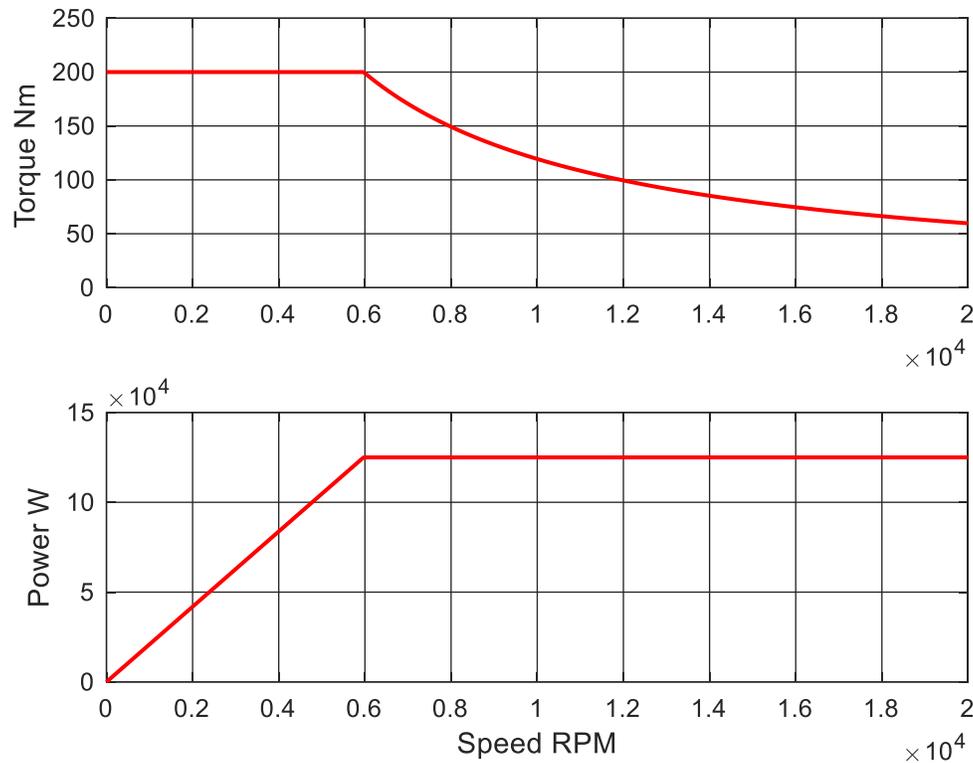


Figura 1 Curve limite di funzionamento della DM.

1.2. Descrizione delle parti meccaniche

Il banco sarà installato in una cella di prova con un involucro di compartimentazione che funge da riparo di sicurezza. L'involucro è parte della fornitura. La cella sarà posta nel laboratorio aperto la cui pianta è riportata in Figura 2, nell'area indicata con un quadrato blu. La dimensione del laboratorio è di 416 m², mentre l'area indicata in blu è di 25 m². La distanza dalle finestre nella parte superiore del laboratorio è di 5 metri, come indicato in figura. L'altezza del soffitto è superiore ai 5 metri.

Il banco test è montato a pavimento e provvisto di un sistema di smorzamento delle vibrazioni. La macchina freno DM e la macchina in test MUT sono montate su squadre. A tal scopo si è pensato di suddividere il banco in parti distinte:

- Struttura di acciaio da vincolare al pavimento
- Telaio e Squadre
- Struttura di compartimentazione

Il Telaio o la struttura-basamento devono prevedere elementi antivibranti in modo da mitigare la propagazione delle vibrazioni al pavimento della sala prove.

	Document Type	Technical specifications	Document Number
	Title		Revision
Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy			

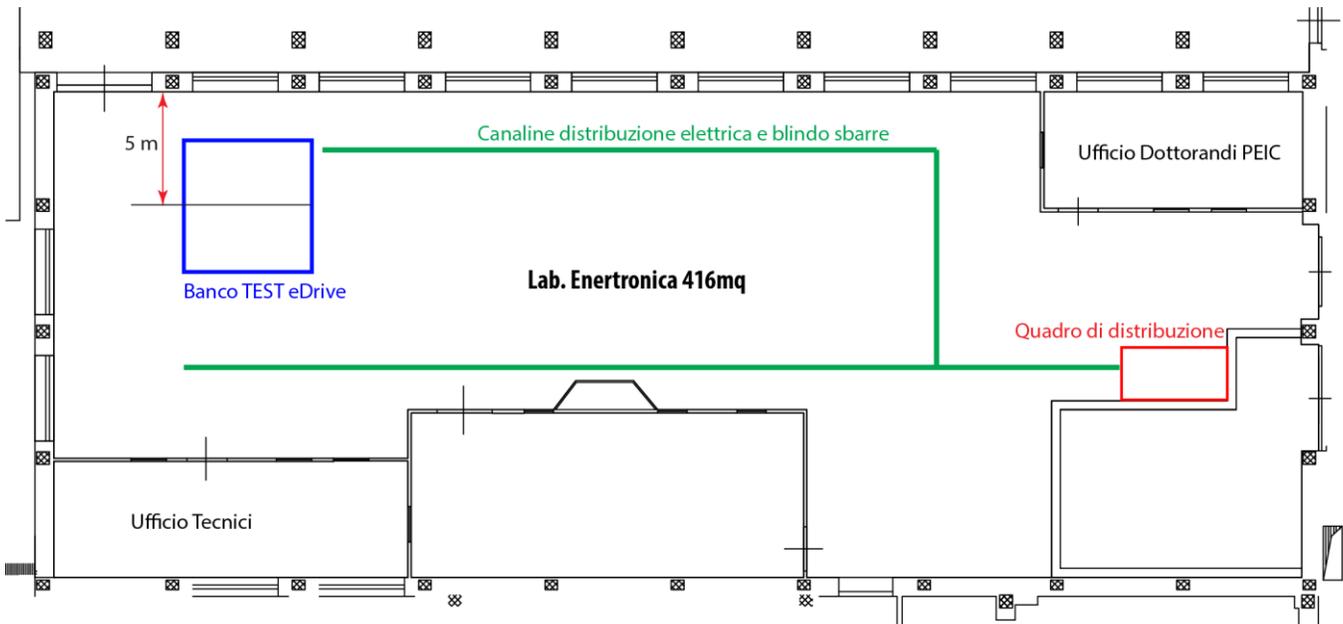


Figura 2 Pianta del Laboratorio di Enertronica del Politecnico di Torino ed are prevista per il banco TEST eDrive

1.2.1. Telaio e Squadre

Considerata la velocità massima di 20.000 rpm (**22.000 rpm overspeed**), le macchine oggetto di test saranno tipologia per l'installazione flangiata. In questo modo viene garantito per costruzione l'allineamento tra il sistema di fissaggio e l'asse dell'albero motore. La struttura meccanica del banco deve quindi garantire l'allineamento degli assi delle macchine rotanti DM e MUT, per tolleranza di costruzione. Inoltre, deve essere in grado di resistere le sollecitazioni che vengono a crearsi durante i test, senza deformarsi in modo significativo.

Considerando la taglia in coppia dell'azionamento DM si richiede che il diametro di riscontro per la MUT sia pari a **250 mm**, quindi la squadra che supporta il MUT deve disporre di un buco di riscontro di diametro 250mm.

La squadra del MUT deve poter scorrere orizzontalmente sul telaio per permettere la facile installazione del MUT ed il successivo impegno dell'albero MUT nel sistema di trasmissione e trasduzione di coppia. Il sistema di traslazione orizzontale deve garantire per tolleranza di costruzione l'allineamento degli assi rotanti. Una volta in posizione, la squadra deve potere essere fissata al telaio, per esempio tramite viti. In Figura 3 è riportata un'immagine indicativa della squadra lato MUT.

	Document Type	Technical specifications	Document Number
	Title		Revision
Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy			

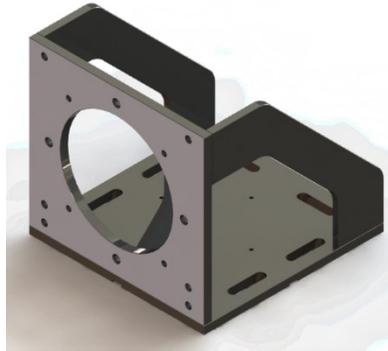


Figura 3 Squadra porta MUT

1.2.2. Struttura di compartimentazione

Il banco di test inteso come la struttura meccanica che supporta la MUT e la DM deve essere interamente contenuto all'interno di un contenitore atto a confinare le parti rotanti. Il drive di controllo della MUT (che non fa parte della fornitura) è posto all'esterno del sistema di compartimentazione, come anche il sistema di acquisizione e misura.

Il sistema di compartimentazione deve essere però facilmente rimovibile o apribile per permettere la facile installazione della MUT sul banco, utilizzando sistemi di sollevamento opportuni (non inclusi).

La struttura di compartimentazione deve prevedere fori passacavo opportunamente posizionati e disponibili all'utente, per il passaggio dei cavi di alimentazione e misura della MUT e dei tubi del sistema di raffreddamento a liquido.

Devono essere predisposte delle aperture per il sistema di ventilazione della compartimentazione, come descritto nel seguito.

1.3. Azionamento freno DM

In Figura 4 è riportato lo schema di principio dell'azionamento del DM. La rete di alimentazione disponibile per l'azionamento DM è trifase con tensione nominale concatenata 400 VRMS, trifase con neutro e conduttore di terra.

Le prestazioni nominali minime dell'azionamento della macchina freno DM sono riportate in Tabella 1 ed esplicitate in Figura 1.

L'azionamento DM deve presentare funzionamento sui quattro quadranti, ovvero con velocità e coppia sia positive che negative. È richiesto quindi che lo stadio di alimentazione della DM deve essere di tipo rigenerativo **active front end (AFE)**, in modo da garantire flussi di potenza bidirezionali da e verso la rete trifase di alimentazione.

Per sicurezza, è richiesto che **l'azionamento DM disponga di una gamba freno o modulo di frenatura elettrica**.

La tipologia di controllo implementata a bordo del drive di controllo della DM deve essere tale da garantire un controllo di coppia preciso anche senza feedback da torsionmetro (modalità nel seguito indicata come **open-loop di coppia**) su tutto il campo operativo di coppia e velocità. Si richiede che l'errore di coppia sia contenuto entro il 4%.



Document
Type
Title

Technical specifications

Document Number

Revision

Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy

AZIONAMENTO DRIVING MACHINE (DM)

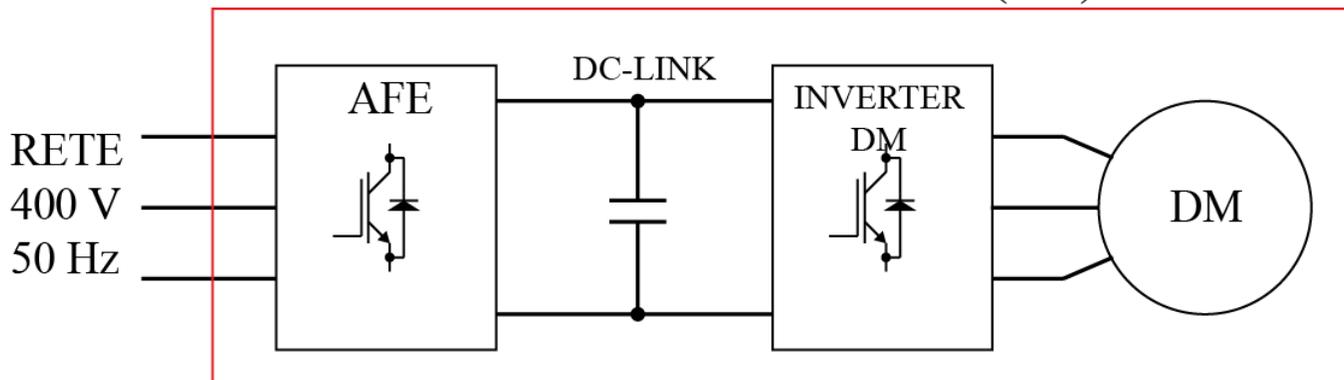


Figura 4 Descrizione dell'azionamento della DM.

1.4. Sistema di supervisione e controllo

Il sistema di supervisione e controllo del banco permette di controllare la macchina freno DM, il chiller della MUT ed una serie di segnali accessori descritti nel seguito.

L'interfaccia utente viene chiamata nel seguito UI (User Interface) e deve essere una interfaccia grafica interattiva che gira su PC. **Non è necessario che il PC su cui gira la UI sia parte della fornitura.**

Il sistema di supervisione deve prevedere un hardware real-time indicato nel seguito come RTHW (Real-Time Hardware). Questo sistema deve essere programmabile in ambiente LabVIEW .

Indipendentemente dalla piattaforma RTHW utilizzata, la comunicazione con l'azionamento DM deve rispettare i requisiti di esecuzione hard real-time, con tempo ciclo 1 ms o inferiore. La piattaforma RTHW comunica con la UI per quanto di competenza di quest'ultima, come descritto nel seguito.

La UI deve prevedere una modalità operativa **controllo custom** in cui il controllo della DM viene programmato ed eseguito all'interno della RTHW, utilizzando come uscita (comando di attuazione) il riferimento di coppia della DM, e come ingressi la misura di coppia dal torsionometro ed il segnale di posizione della DM o del torsionometro. L'algoritmo di controllo implementato sulla RTHW in LabVIEW ha un tempo ciclo di 1 ms o inferiore.

Il sistema di acquisizione dei dati di misura delle grandezze elettriche e meccaniche della MUT (nel seguito indicato con DAQ) non è incluso nella fornitura.

1.4.1. Interfaccia utente UI

Dall'interfaccia utente si accede a:

- i parametri di funzionamento e configurazione della DM
- i set point di coppia e velocità da pannello o analogici della DM
- la possibilità di entrare in modalità **controllo custom**, dove il riferimento di coppia della DM viene generato dall'hardware real-time in base ad un algoritmo user-defined programmato in LabVIEW.
- Il set-point del chiller della MUT
- Se presente nella fornitura, il set-point del sistema di condizionamento dell'aria per la MUT (vedi voci premiali)

	Document Type	Technical specifications	Document Number
	Title		Revision
	Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy		

- Le letture di tutti i feedback descritti nel seguito
- Global fault e fungo di emergenza
- I messaggi di errore dei vari sottosistemi parte della fornitura devono essere riportati alla UI

1.4.2. I/O gestiti dal sistema Real-Time RTHW

Gli I/O accessori elencati nel seguito devono essere acquisiti dall'hardware real-time e gestibili tramite la UI. Questi sono:

- Riferimento di velocità della DM (via analog input)
- Riferimento di coppia della DM (via analog input)
- ≥ 10 GPIO digitali configurabili
- ≥ 2 Accelerometri per diagnostica e segnalazione di vibrazioni eccessive
- ≥ 8 canali di input per sensori termici
- Il segnale dell'encoder della DM, o in alternativa il segnale di posizione angolare del torsionometro
- Il segnale di coppia del torsionometro
- Una interfaccia CAN o EtherCAT o protocollo ritenuto analogo (sarà richiesto il dbc di interfaccia) per interazione con l'inverter che comanda la MUT o con altre unità digitali non comprese nella fornitura.

1.5. Sistemi di condizionamento termico

I sistemi di condizionamento termico, parte della fornitura, sono due, **indipendenti tra di loro**. In dettaglio:

- Un sistema di raffreddamento a liquido della macchina freno DM.
- Un sistema di condizionamento termico (raffreddamento e riscaldamento) a liquido della macchina in test MUT.

Inoltre, il banco deve essere predisposto per il test di una MUT raffreddata ad aria. Per questo è necessario che la struttura di compartimentazione preveda delle prese d'aria che permettano il collegamento ad un sistema di ventilazione. Posizione e dimensioni delle forature saranno concordate con il fornitore, indipendentemente che la fornitura preveda il sistema di ventilazione o no.

1.5.1. Raffreddamento a liquido della macchina freno DM

Per esigenze di compattezza la DM deve essere raffreddata a liquido. La tipologia di chiller da utilizzare è di tipo standard, non ha requisiti particolari sulla temperatura del fluido refrigerante e deve semplicemente garantire la funzionalità della macchina DM in condizioni nominali continuative. La temperatura di input e output del refrigerante devono essere monitorabili tramite UI.

1.5.2. Raffreddamento/riscaldamento a liquido della macchina in test MUT

Il sistema di condizionamento termico della MUT è di tipologia più complessa rispetto a quello della DM perché è volto a mantenere la macchina in prova in differenti condizioni termiche con temperature del fluido refrigerante in ingresso da $\leq 0^{\circ}\text{C}$ a $\geq 80^{\circ}\text{C}$

	Document Type	Technical specifications	Document Number
	Title		Revision
	Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy		

Si prospetta quindi una unità combinata **chiller più riscaldatore** che sia in grado di refrigerare o alternativamente riscaldare il fluido di raffreddamento. Il salto termico tra liquido in ingresso e in uscita deve essere uguale o inferiore a 5°C, e la potenza termica da smaltire è di 10 kW, calcolata ipotizzando un MUT da 100kW con rendimento 90%.

Il set point del chiller (temperatura fluido in ingresso) deve essere selezionabile tramite la UI centralizzata. Le temperature di input e output del refrigerante devono essere monitorabili tramite UI.

1.6. Sensori e Trasduttori

Il sensore principale, incluso nella fornitura è il torsionmetro (HBM T40B o T12HP, 200 Nm, 20.000rpm).

A complemento, è richiesta la presenza di sensori di protezione e diagnostica quali:

- Sensoristica termica sulla DM
- Sensoristica termica sul Drive della DM
- Un accelerometro sulla struttura del banco per la valutazione delle vibrazioni
- Sensore temperatura aria interno cella prova
- Sensore temperatura ingresso/uscita fluido refrigerante MUT

1.6.1. Torsionmetro HBM

All'uscita dell'albero motore della DM deve essere installato un torsionmetro per la misura della coppia scambiata tra la MUT e la DM. Il sensore deve inoltre misurare **velocità e posizione dell'albero**.

Il DAQ (non fornito) deve ricevere il segnale di coppia trasdotto in frequenza ed i segnali dell'encoder angolare integrato nel torsionmetro. Vista la necessità della misura di posizione è necessario che sia presente il reference pulse (index o tacca di zero) nell'interfaccia encoder. L'uscita di coppia analogica è acquisita dal sistema RTHW.

1.7. Elementi Necessari della fornitura

- Documentazione accessoria: manuali di uso e manutenzione, disegni delle parti meccaniche, file sorgenti del SW implementato, dbc della comunicazione LAN
- Training on site: la fornitura dovrà essere accompagnata senza ulteriori oneri del servizio di formazione all'utilizzo del banco prova, per una durata minima di una giornata di 8 ore.
- Garanzia: il banco deve essere corredato dalla garanzia su tutte le componenti, per la durata di almeno 12 mesi decorrenti dal completamento della configurazione;
- Assistenza on site in garanzia: durante il periodo di validità della garanzia, eventuali interventi di assistenza a seguito di guasti e/o malfunzionamenti del banco prova dovranno essere effettuati on site entro 5 giorni lavorativi dalla richiesta da parte della stazione appaltante



Document Type	Technical specifications	Document Number
Title		Revision
Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy		

1.8. Riassunto dei requisiti minimi

Tutte le voci della tabella sono da intendersi come requisiti minimi della fornitura, richieste a pena di esclusione. Ove viene specificato un valore numerico, questo è da intendersi come limite inferiore di prestazione richiesta.

1. Caratteristiche generali		
ID	Descrizione	Valore
1	Coppia nominale continuativa	≥ 200 Nm
2	Potenza nominale continuativa (da 6000 a 20000 rpm)	≥ 125 kW
3	Velocità base	≥ 6000 RPM
4	Velocità massima operativa	≥ 20000 RPM
5	Overspeed	= 22.000 RPM
6	Struttura rigida e telaio	
7	Sistema antivibrazione incluso	
8	Squadra scorrevole, per montaggio MUT	
9	Sistema di fissaggio della squadra MUT, a MUT montata	
10	Alesaggio della squadra MUT	fi = 250 mm
11	Squadra MUT allineata ad asse DM per tolleranza di costruzione	
12	Compartimentazione che preveda l'accesso alla squadra MUT di un operatore con sistema di sollevamento MUT (non incluso)	
2. Ulteriori specifiche dell'azionamento freno DM		
1	Alimentazione trifase, 50 Hz	400 V rms



Document Type	Technical specifications	Document Number
Title		Revision
Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy		

2	Active Front End rigenerativo	
3	Modulo di frenatura elettrica	
4	Controllo open loop di coppia	
5	Precisione del controllo open-loop di coppia	$\leq 4\%$
6	Controllo di velocità in anello chiuso di tipo vettoriale	
3. Supervisione e controllo: hardware real-time RTHW e segnali di I/O richiesti		
1	Hardware real-time (RTHW) per supervisione e controllo	
2	Tempo ciclo minimo dell'esecuzione real-time di RTHW	$\leq 1 \text{ ms}$
3	RTHW programmabile in LabVIEW	
4	RTHW gestisce analog input per riferimento di velocità DM	
5	RTHW gestisce analog input per riferimento di coppia DM	
6	Numero di GPIO digitali configurabili di RTHW	≥ 10
7	RTHW acquisisce il segnale di posizione dell'encoder della DM o, in alternativa, del torsionmetro (almeno una delle due)	
8	RTHW acquisisce il segnale di coppia del torsionmetro	
9	Numero di canali per sensori termici di diagnostica gestiti da RTHW	≥ 8
10	RTHW acquisisce il segnale degli accelerometri per valutazione delle vibrazioni	
11	Interfaccia CAN o EtherCAT disponibile	
4. Interfaccia Utente UI		
1	Interfaccia utente UI comandabile da PC	
2	Controllo del banco DM in coppia (open-loop) gestito da UI	
3	Controllo del banco DM in velocità (anello chiuso) gestito da UI	
4	UI prevede modalità analog input per il controllo di velocità	



Document Type	Technical specifications	Document Number
Title		Revision
Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy		

5	UI prevede modalità analog input per il controllo di coppia	
6	UI prevede modalità "controllo custom", con regolazione di coppia o di velocità in base ad un programma user-defined in LabVIEW (software non fornito)	
7	I GPIO configurabili di RTHW sono gestibili da UI	
8	Fungo di protezione HW	
9	Feedback di stato ON/OFF del chiller DM riportato su UI	
10	Temperatura del liquido del chiller DM riportato su UI	
11	Comando ON/OFF del chiller/riscaldatore della MUT governabile da UI	
12	Feedback di stato ON/OFF del chiller/riscaldatore della MUT riportato su UI	
13	Setpoint temperatura liquido del chiller/riscaldatore MUT gestito da UI	
14	Temperatura in ingresso del liquido del chiller /riscaldatore MUT riportato su UI	
15	Temperatura in uscita del liquido del chiller /riscaldatore MUT riportato su UI	
5. Condizionamento termico		
1	Chiller per il raffreddamento a liquido di DM	
2	Il chiller garantisce il funzionamento continuativo ai valori nominali della DM	
3	Chiller/Riscaldatore per raffreddamento a liquido della MUT	
4	Chiller/Riscaldatore garantisce il funzionamento continuativo di una MUT da 100kW con efficienza 90%	≥ 10 kW termici
5	Temperatura minima del refrigerante (ingresso circuito)	≤ 0°C
6	Batteria per riscaldare il fluido ove necessario	
7	Temperatura massima refrigerante (ingresso circuito)	≥ 80°C



Document Type	Technical specifications	Document Number
Title		Revision
Politecnico di Torino, Dipartimento Energia Galileo Ferraris, Italy		

8	Salto di temperature refrigerante out / in, nelle condizioni nominali continuative	$\leq 5^{\circ}\text{C}$
6. Sensori		
1	Torsiometro HBM T40B	
2	Taglia del torsiometro	= 200 Nm
3	Velocità massima operativa del torsiometro	= 20.000 rpm
4	Torsiometro dotato di "reference pulse"	
5	Numero sensori termici su DM	≥ 1
6	Numero accelerometri per valutazione vibrazioni	≥ 2