



PROCEDURA DI PROVE E COLLAUDI  
PROTOCOLLO AGGIUNTIVO PROVE LABORATORIO

LOCOMOTIVA E401

CODICE: B.20.92.101.02

EDIZIONE: A

Pag. 1 di 39

Concetto: PROVE DI TIPO COMPONENTI

**CONTROLLO EDIZIONE**

EDIZIONE	MOTIVO	DATA
A	Prima edizione	01/06/2017

**DISTRIBUZIONE**

Direzione del progetto	(A. URRIZA)
Responsabile per il progetto tecnico	(A. BALDA)
Responsabile della Qualità	(M. BUCCARELLA)
Ingegnere Area Sistemi	(A. FAGET)
Responsabile produzione	(J.C. GONZÁLEZ)
Responsabile prove dei treni	(A. CARDINALE)

**Eseguito da:**

Nome: Itxaso Segues Guridi

Firma:

Data: 01/06/2017

**Approvato da:**

Nome: Mikel Xabier Rodrigo

Firma:

Data: 01/06/2017

**Verificato da:**

Nome: Arnaud Faget

Firma:

Data: 01/06/2017

## INDICE

1. OGGETTO .....	3
2. NORME, RIFERIMENTI E DOCUMENTI APPLICABILI .....	4
3. SCENARIO .....	5
3.1. Dati generali .....	5
3.2. Composizione scenario di prova.....	6
3.3. Raffreddamento .....	8
3.4. Fonte di alimentazione.....	8
4. SPECIFICHE SISTEMA DI TRAZIONE .....	9
5. MONITORAGGIO .....	11
6. PROVE DA REALIZZARE .....	13
6.1. Prova di riscaldamento [IEC61287-1/2014 4.5.3.13] .....	13
6.2. Prova di transitori e sovratensioni [IEC61287-1/2014 4.5.3.15].....	15
6.3. Prova caratteristica di coppia [IEC61377/2016 7.2&7.3] .....	16
6.4. Prova di riscaldamento (carico costante) [IEC61377/2016 9.2] .....	21
6.5. Transizione trazione/frenatura [IEC61377/2016 10.2] .....	24
6.6. Interruzione della tensione di linea [IEC61377/2016 12.3].....	26
6.7. Prova di riscaldamento (carico costante).....	27
6.8. Misura delle componenti armoniche della corrente in uscita .....	30
6.9. Requisito del capitolato tecnico .....	31
6.10. Caratteristiche di coppia di trazione a tensioni degradate .....	32
6.11. Determinazione perdite di potenza [IEC61287-1/2014 4.5.3.14] .....	34
6.12. Validazione termica del motore in funzione del flusso applicato.....	36
6.13. Misura di armonici della coppia meccanica nell'asse.....	39

## 1. OGGETTO

Lo scopo di questo protocollo è di definire le prove aggiuntive da realizzare nello scenario back to back del laboratorio di trazione di CAF PA, secondo i commenti di Trenitalia.

Le prove si realizzano con i componenti principali del sistema di trazione montati nello stesso modo che si ha nell'applicazione finale. Ogni componente deve aver superato in modo soddisfacente le prove tipo corrispondenti prima di essere integrato nello scenario finale di prova.

La definizione di ogni prova viene strutturata nel modo seguente:

- Obiettivo
- Condizioni preliminari
- Procedura
- Criteri di validazione

Le prove definite in questo protocollo verranno eseguite su un convertitore di trazione, un campione rappresentativo di tutti i convertitori fabbricati. Questo convertitore campione in precedenza dovrà aver superato il protocollo di prova serie definito nel documento AA.51.V3.3101, in cui vengono eseguite, tra le altre, le seguenti prove:

Prova	Norma IEC61287-1
Controllo visivo	4.5.3.1
Verifica delle dimensioni e delle tolleranze	4.5.3.2
Pesatura	4.5.3.3
Marcatura	4.5.3.4
Prova del grado di protezione	4.5.3.6
Prova dielettrica	4.5.3.7
Prova di isolamento	4.5.3.8
Prova a basso carico	4.5.3.10

***Tabella 1. Prove di tipo da eseguire durante le prove di serie e la FAI***

I risultati delle prove dovranno essere riportati in registri e, nel caso dei risultati più rilevanti, andranno inclusi nel rapporto dei risultati.



# PROCEDURA DI PROVE E COLLAUDI PROTOCOLLO AGGIUNTIVO PROVE LABORATORIO

LOCOMOTIVA E401

**CODICE: B.20.92.101.02**

**EDIZIONE: A**

Pag. 4 di 39

## 2. NORME, RIFERIMENTI E DOCUMENTI APPLICABILI

### Norme applicabili:

- IEC 61287-1 (2014): Applicazioni ferroviarie - Convertitori di potenza per il materiale rotabile - Parte 1: Caratteristiche e metodi di prova
- EN 61377 (2016): Applicazioni ferroviarie – Materiale rotabile – Metodo di prova combinata per i sistemi di trazione
- IEC60850

### 3. SCENARIO

#### 3.1. Dati generali

Per via delle limitazioni del laboratorio per realizzare le prove tipo del convertitore con carichi passivi (alta potenza), la validazione dell'apparecchiatura di trazione si realizza collegando 2 catene di trazione tramite un montaggio back-2-back, come illustrato nella

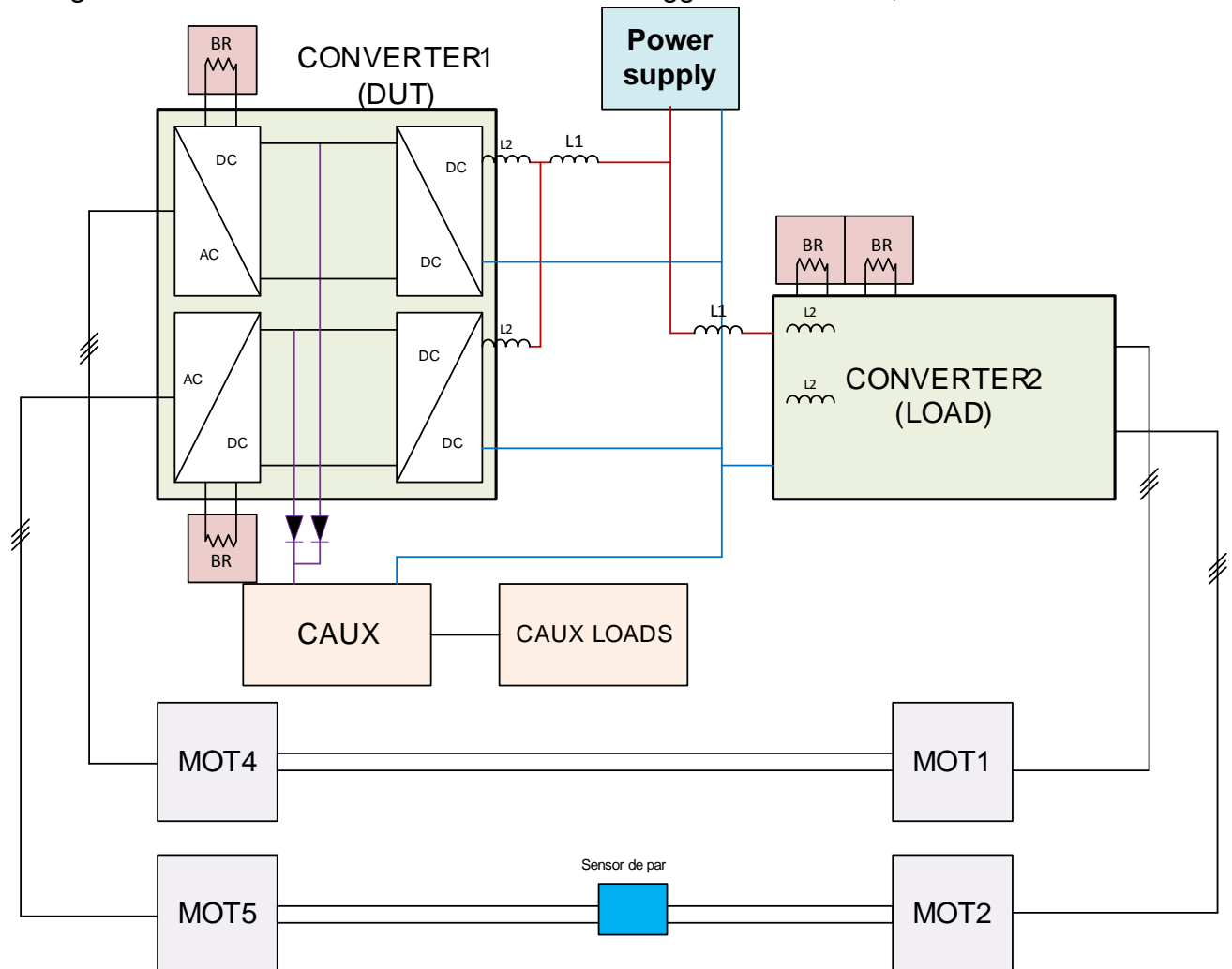
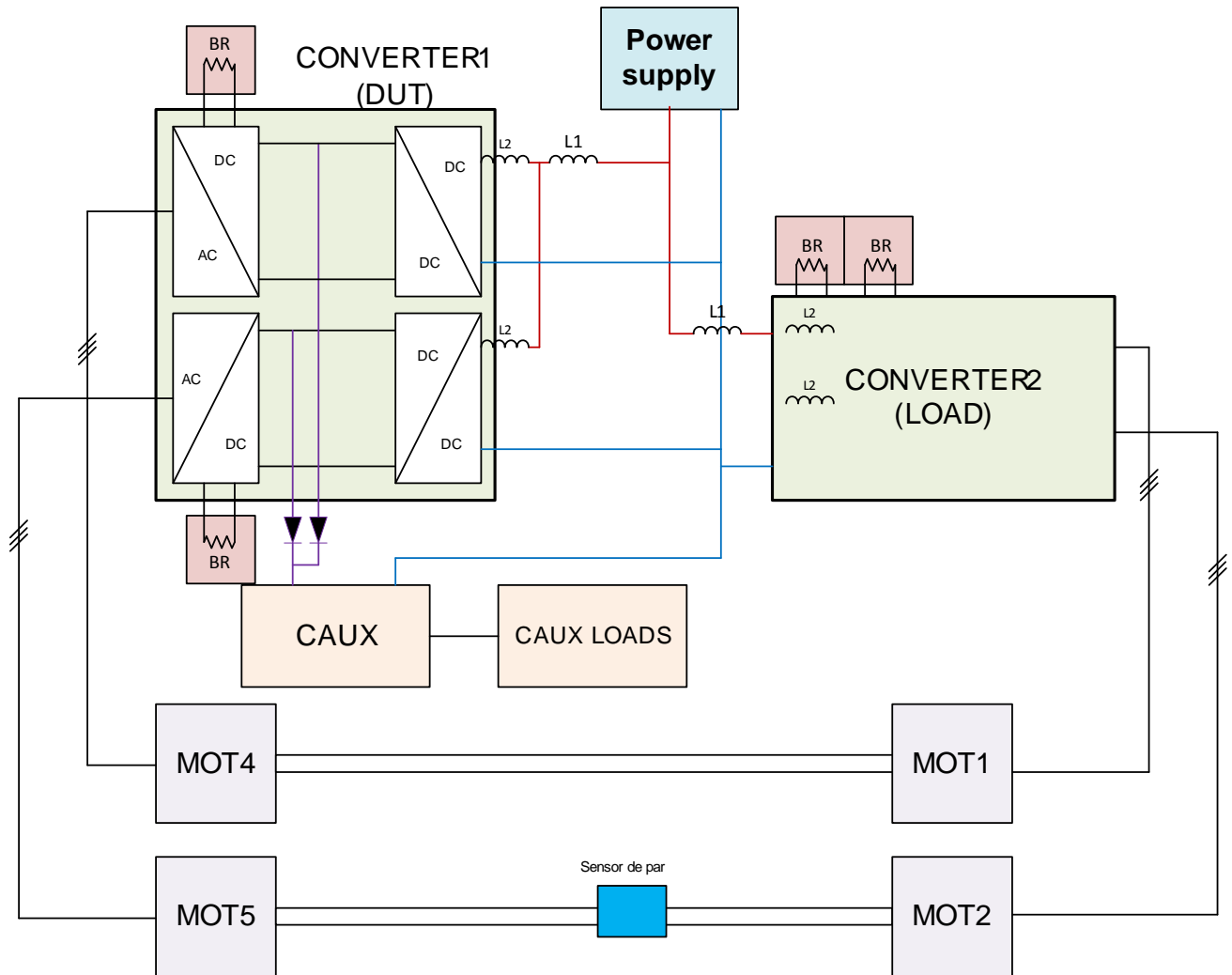


Figura 1.



**Figura 1 - Schema generale scenario prove**

### 3.2. Composizione scenario di prova

Lo scenario di validazione include (si veda

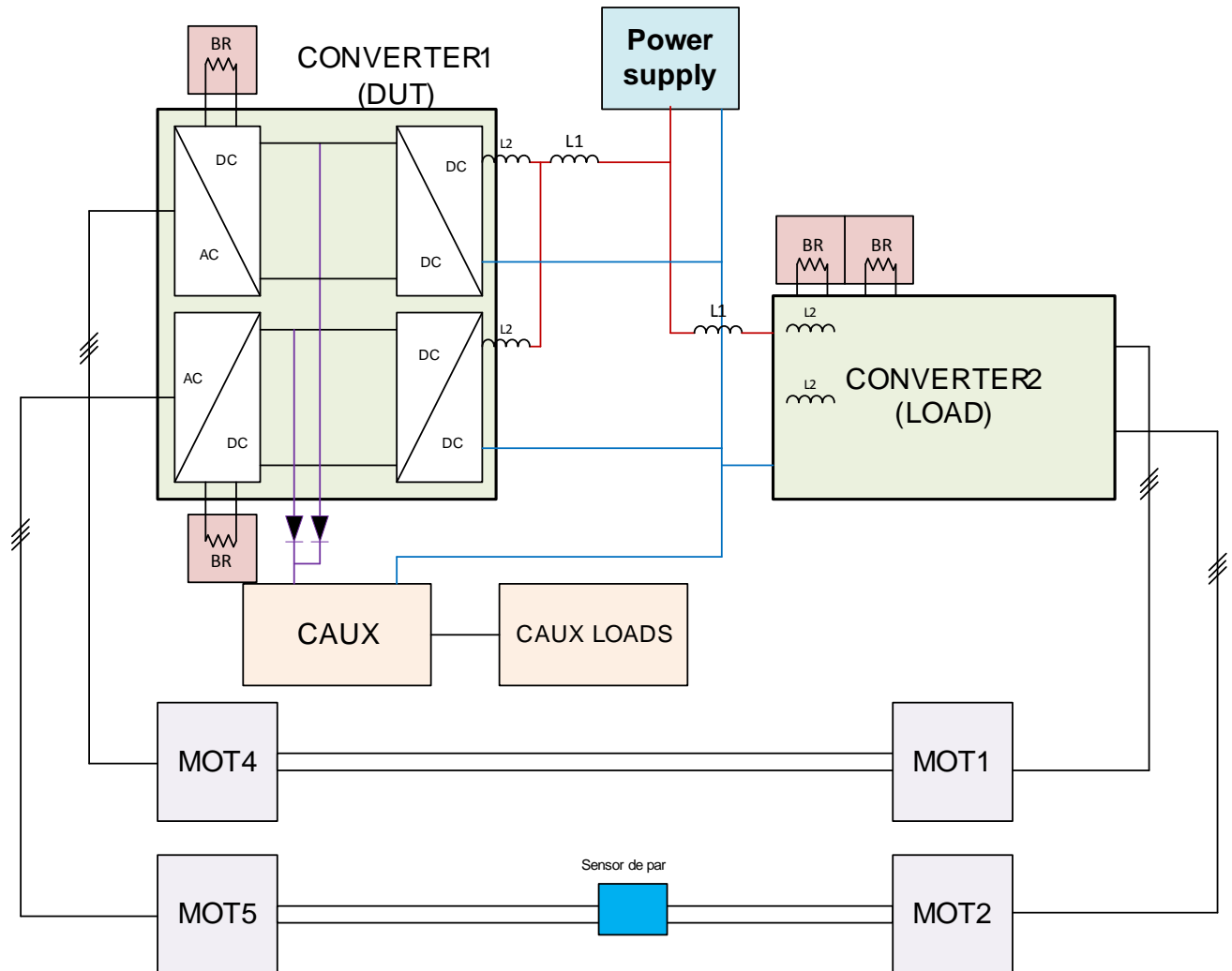


Figura 1):

- 1 x fonte di alimentazione con tensione DC variabile (1000V...3750V)
- 1 x convertitore (armadi) di trazione (2 catene in ogni armadio)
- 1 x blocchi di induttanze
- 1 x torre di raffreddamento (include 4 reostati di frenatura, 4 scambiatori aria-acqua e 4 ventilatori)
- 2 x motori di trazione
- 1 x APS che alimenta carichi con una potenza totale di 640 kW: 4 x 100 kW per la linea REC è 240 kW potenza trifasica. La potenza finale dipende dalla configurazione e disponibilità di carichi durante le prove.

Il convertitore 1 (DUT), che alimenta il motore 4 e 5, funziona in modalità controllo di coppia, mentre il convertitore 2, che alimenta il motore 1 e 2, funziona in modalità controllo di velocità.

Il convertitore ausiliario fa parte dello scenario di validazione. Si collegano dei carichi passivi all'uscita dello stesso per simulare il consumo di potenza ausiliaria dei carichi del treno. Se in alcune prove dovesse essere necessario tenere spento il convertitore ausiliario, la cosa non rappresenterebbe un problema per lo scenario.



# PROCEDURA DI PROVE E COLLAUDI PROTOCOLLO AGGIUNTIVO PROVE LABORATORIO

LOCOMOTIVA E401

**CODICE: B.20.92.101.02**

**EDIZIONE: A**

Pag. 8 di 39

## 3.3. Raffreddamento

I sistemi di raffreddamento dovranno funzionare in condizioni simili a quelle che si avranno una volta montate le apparecchiature nell'applicazione finale. A tal fine, si dovranno alimentare i ventilatori e le pompe con una tensione avente la stessa forma ed ampiezza d'onda dell'applicazione finale, per ottenere le portate definite nel documento B.20.93.210.00.

I risultati termici ottenuti si correggeranno estrapolando, linearmente alla temperatura ambiente massima definita nell'applicazione finale, i valori ottenuti in laboratorio. A tal fine, si misurerà costantemente la temperatura ambiente delle stanze in cui si trovano i componenti del sistema da sottoporre a prova.

## 3.4. Fonte di alimentazione

La fonte di alimentazione dovrà operare nei limiti definiti in IEC 60850<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Per via delle limitazioni dello scenario, la fonte funzionerà solo tra i 2100V ed i 3900V



#### 4. SPECIFICHE SISTEMA DI TRAZIONE

Le caratteristiche principali del Sistema di Trazione vengono elencate nella Tabella 2:  
**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

	Caratteristica	Valore
Uscita	Potenza massima trazione (en llanta per motore)	1500kW
	Potenza nominale trazione (en llanta per motore)	1300kW
	Sforzo nominale trazione (en llanta per motore)	39.75kN
	Potenza nominale freno (en llanta per motore)	-837.5kW
	Sforzo nominale freno (en llanta per motore)	-32.5kN
	Efficienza riduttore	97.5%
	Velocità punto 1/v (trazione)	110Km/h
	Velocità punto 1/v (frenatura)	92.8Km/h
	Velocità massima progettazione	220Km/h
	Rapporto di riduzione	22/79 (3.5909)
	Tensione minima di linea per prestazioni massime	2800V <sup>2</sup>
	Range di tensione di linea di esercizio	Vn=1500V: 1000...2000V Vn=3000V <sup>3</sup> : 2000...4000V
	Corrente in ingresso nominal per DC/DC	623Adc

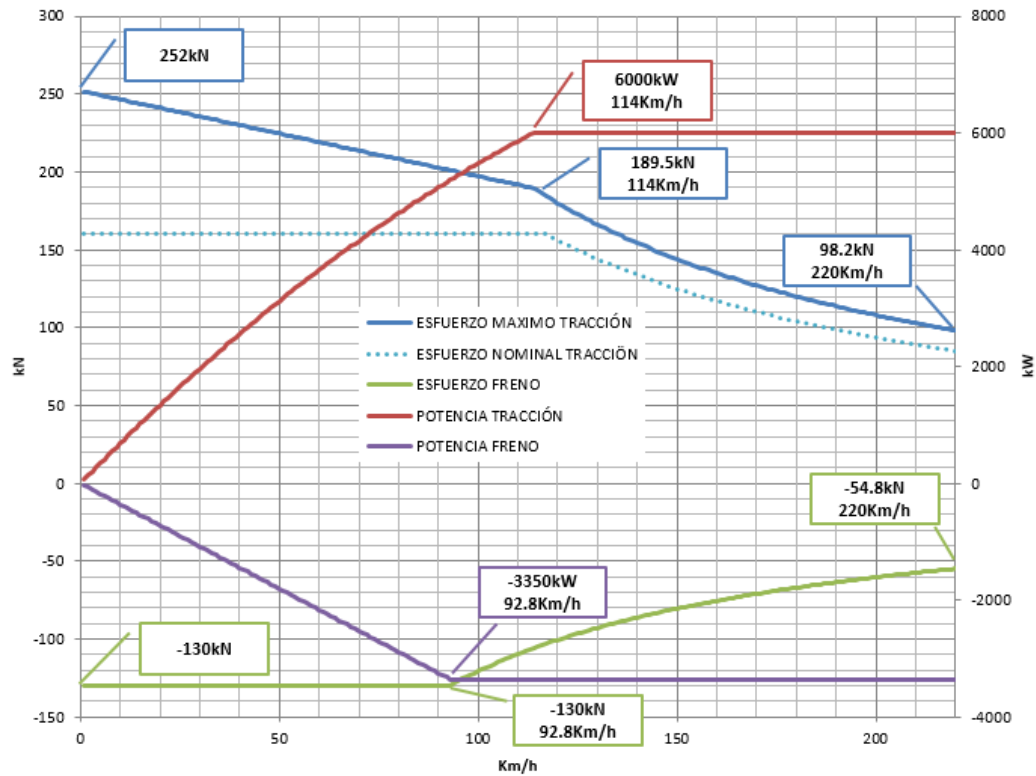
**Tabella 2 Caratteristiche principali del Sistema di Trazione**

Il sistema di trazione viene dimensionato rispettando le specifiche del motore di trazione<sup>4</sup>. Il motore è dimensionato per operare a potenza massima durante 20 minuti.

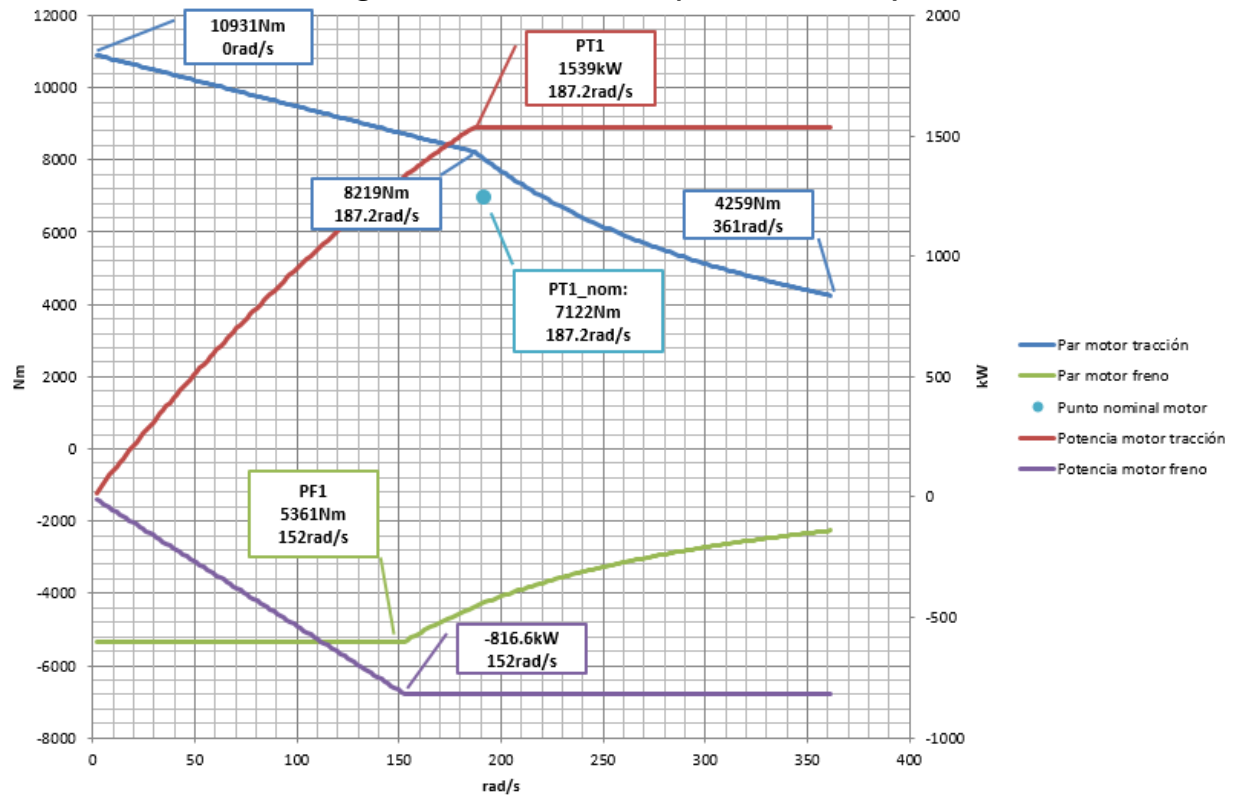
2 Doc. E402A-MR2-03 parte 1

3 In catenarie a 3kV: Umax1=3900V, Umax2 = 4200V (secondo capitolato)

4 Doc. 376088. Relazione di collaudo dei motori di trazione tipo MTA-F4-1250V in opera sulle locomotive E 402A



**Figura 2. Curve sforzo (livello veicolo)**



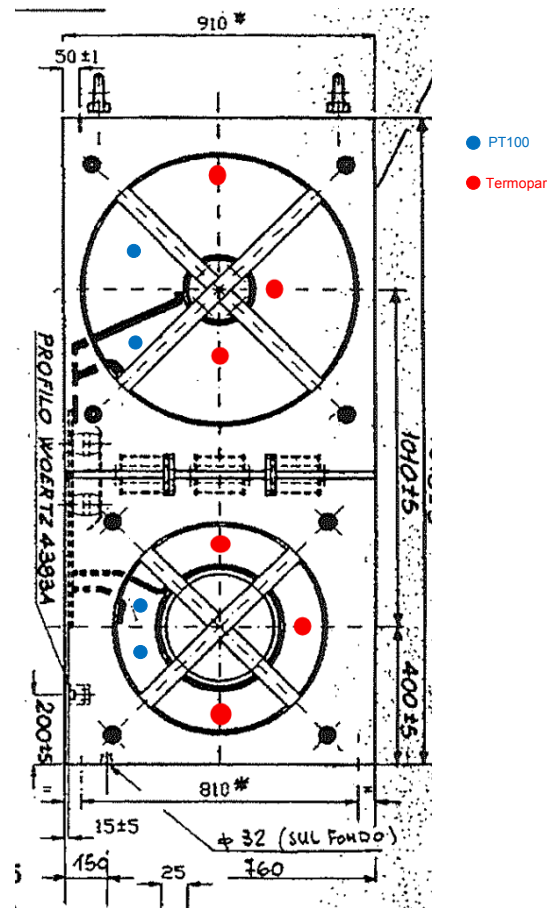
**Figura 3. Curve sforzo (livello motore per diametro ruota medio)**

### 5. MONITORAGGIO

Variabile da misurare	Abbreviatura	Metodo misurazione	Dispositivo di registrazione
Tensione ingresso apparecchiatura (catenaria)	V_CAT	STD	VEGA
Tensione ingresso DC/DC	V_BUS_LOW	STD	
Tensione DC-Link	V_BUS_HIGH	STD	
Corrente ingresso apparecchiatura	I_CAT	SC	
Corrente ingresso DC/DC	I_DCDC	SC	
Corrente uscita chopper	I_CHOP	SC	
Corrente uscita inverter (fase U)	I_PHASE_U	SC	
Corrente uscita inverter (fase V)	I_PHASE_V	SC	
Flujo referencia	sp_fs_ref	Calculo	
Flujo estimado	est_fs	Calculo	
Par referencia	sp_tem_ref	Calculo	
Par estimado	est_tem	Calculo	
Frecuencuencoa de conmutacion	f_cmt	Calculo	
Velocità motore 1	W_MOT_1	SV	
Corrente uscita 1 verso CAUX	I_AUX1	SC	NI SCXI
Corrente uscita 2 verso CAUX	I_AUX2	SC	
Corrente armonica fase U	IU_harm	Rogowski	
Corrente armonica catenaria	Icat_harm	Rogowski	
Temperatura ambiente zona inverter	T_AMB_ZI	PT100	MX100 Zona Inversor
Temperatura dentro del armario zona condensadores	T_C1	Termopar Tipo K	
Temperatura dentro del armario zona condensadores	T_C2	Termopar Tipo K	
Temperatura 1 de la inductancia entrada	T_Lin1	Termopar Tipo K	
Temperatura 2 de la inductancia entrada	T_Lin2	Termopar Tipo K	
Temperatura 3 de la inductancia entrada	T_Lin3	Termopar Tipo K	
Temperatura 1 de la inductancia DC/DC	T_LDCDC1	Termopar Tipo K	
Temperatura 2 de la inductancia DC/DC	T_LDCDC2	Termopar Tipo K	
Temperatura 3 de la inductancia DC/DC	T_LDCDC3	Termopar Tipo K	VEGA
Temperatura induttanza ingresso L1	TEMP_LFILT	PT100	
Temperatura induttanza DC/DC 1 (L2)	TEMP_LDCDC_1	PT100	
Temperatura induttanza DC/DC 2 (L2)	TEMP_LDCDC_2	PT100	
Temperatura resistenza freno catena 1	TEMP_BR_1	PT100	
Temperatura resistenza freno catena 2	TEMP_BR_2	PT100	
Temperatura liquido ingresso scambiatore 1	TEMP_LIQ_HOT_1	PT100	
Temperatura liquido uscita scambiatore 1	TEMP_LIQ_COLD_1	PT100	
Temperatura liquido ingresso scambiatore 2	TEMP_LIQ_HOT_2	PT100	
Temperatura liquido uscita scambiatore 2	TEMP_LIQ_COLD_2	PT100	
Temperatura Inversor 1	TEMP_INV1	PT100	
Temperatura Inversor 2	TEMP_INV2	PT100	
Temperatura DCDC1	TEMP_DCDC1	PT100	
Temperatura DCDC2	TEMP_DCDC2	PT100	
Temperatura 1 del motor 1	TEMP1_M1	PT100	
Temperatura 2 del motor 1	TEMP2_M1	PT100	
Temperatura 3 del motor 1	TEMP3_M1	PT100	
Temperatura 1 del motor 2	TEMP1_M2	PT100	
Temperatura 2 del motor 2	TEMP2_M2	PT100	
Temperatura 3 del motor 2	TEMP3_M2	PT100	
Temperatura entrata aire motor	T_IN_Motor	PT100	MX100 Zona motor
Temperatura salida aire motor	T_OUT_Motor	PT100	
Par mecánico motor	T_MEC_1	Sensor de par	Digital Power Meter
Velocidad motor	W_MEC_1	Sensor de par	
Corriente fase U	I1_RMS	SC	
Corriente fase V	I2_RMS	SC	
Tension linea UW	U1_RMS	STD	
Tension line VW	U2_RMS	STD	
Tension entrada armario	U6_DC	STD	
Corriente entrada armario	I6_DC	SC	

**Tabella 1. Variabili da registrare durante le prove**

STD = Sonda di tensione differenza / SC = Sonda di corrente / SV = Sensore di velocità



**Figura 4. Ubicazione delle termocoppie nelle induttanze.**

## 6. PROVE DA REALIZZARE

### 6.1. Prova di riscaldamento [IEC61287-1/2014 4.5.3.13]

#### 6.1.1. Obiettivo

Verificare che la temperatura dei componenti selezionati rientri nel limite stabilito con il convertitore in funzionamento nelle condizioni nominali di esercizio. Con questa prova si pretende di convalidare termicamente, il motore, il DCDC e le induttanze del DCDC.

#### 6.1.2. Condizioni della prova

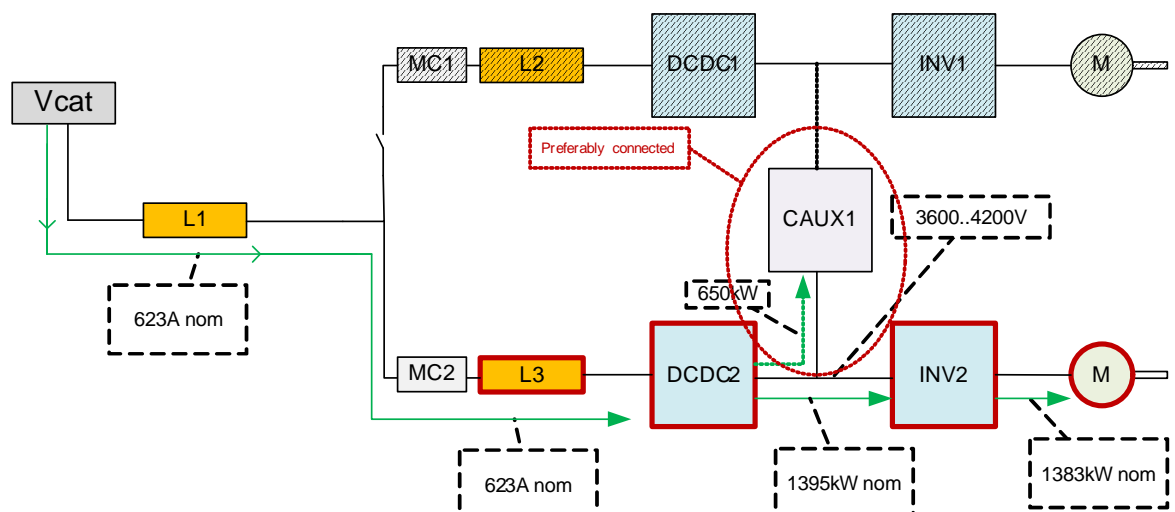
- Convertitore collegato all'alimentazione AT.
- Sonde di corrente e tensione collegate ai punti di misurazione.
- Scenario back to back.
- Sistema di raffreddamento in funzionamento.

#### 6.1.3. Procedura

Impostare la tensione di alimentazione a 3000V e caricare il bus. Impostare la tensione del DC-Link interno del convertitore su **4200V**. Impostare la velocità del motore collegato al convertitore di carico su **[velocità PT1\_nom]** ed il comando di coppia del motore collegato al convertitore DUT su **[coppia PT1\_nom]**.

Preferibilmente, il convertitore ausiliare sarà connesso ai carichi disponibili nel laboratorio con l'obiettivo di aumentare la corrente che circola per il DCDC.

Una volta che il sistema raggiunga la stabilità termica, il punto di funzionamento si cambiasse a PT1 per 20 minuti.



Tenere il convertitore DUT in funzionamento in questo punto finché la temperatura di tutti i componenti non si sarà stabilizzata.

### 6.1.4. Criteri di validazione

La prova viene dichiarata superata con successo quando l'aumento di temperatura di uno qualsiasi dei componenti è uguale, o inferiore a quanto specificato nella tabella sottostante.

- Temperatura ambiente massima in applicazione: 45°C
- Temperatura massima dissipatore in applicazione: 85°C
- Massima  $\Delta T^a$  tra dissipatore e ambiente: 40°C
- Temperatura massima del liquido (freddo): 65°C
- Temperatura massima del liquido (caldo): 70°C

PROVA DI RISCALDAMENTO				
Nome della variabile	Valore misurato [°C]	Criteri di accettazione	Corretto	
			Sì	NO
Temperatura ambiente ( $T_{amb}$ )		-	-	-
Temperatura max. coldplate inverter		$T_{amb} + 40^{\circ}\text{C}$		
Temperatura max. coldplate DCDC		$T_{amb} + 40^{\circ}\text{C}$		
Temperatura liquido (Caldo)		$T_{amb} + 25^{\circ}\text{C}$		
Temperatura liquido (Freddo)		$T_{amb} + 20^{\circ}\text{C}$		

**Tabella 6.1. Checklist**

Ulteriori risultati a titolo informativo (non rientrano nella portata di questa procedura):

#### Temperatura dell'induttore:

Temp. max. induttore DC/DC: \_\_\_\_\_ °C

Temp. max. induttore di filtro: \_\_\_\_\_ °C

#### Temperatura motore di trazione:

Temp. max. motore di trazione: \_\_\_\_\_ °C

#### Ingresso convertitore di trazione:

Tensione in ingresso DC/DC: \_\_\_\_\_ Vdc

Corrente in ingresso DC/DC: \_\_\_\_\_ Adc

Potenza ingresso DC/DC: \_\_\_\_\_ kW

#### Uscita convertitore di trazione:

Tensione in uscita inverter: \_\_\_\_\_ Vrms

Corrente in uscita inverter: \_\_\_\_\_ Arms

Potenza in uscita inverter: \_\_\_\_\_ kW

## **6.2. Prova di transitori e sovratensioni [IEC61287-1/2014 4.5.3.15]**

### **6.2.1. Obiettivo**

Lo scopo di questa prova è di confermare che il convertitore è in grado di sopportare sovratensioni e surge come specificato nella IEC 61287-1.

Il convertitore compreso il suo filtro in ingresso deve essere in grado di sopportare le sovratensioni in ingresso e i transitori indicati nella IEC 60850.

- Sistema 3000V:  $U_{max3} = 5075V (\leq 20ms)$

### **6.2.2. Condizioni della prova**

La prova verrà svolta su uno strumento di simulazione, come specificato le sovratensioni non possono essere sottoposte a prova nel nostro laboratorio.

### **6.2.3. Procedura**

Verranno simulate sovratensioni, come da norma, mentre il convertitore è in esercizio nelle peggiori condizioni.

### **6.2.4. Criteri di validazione**

Il convertitore è in grado di sopportare sovratensioni e surge come specificato in IEC61287-1/2014 4.5.3.15.

La tensione del DC-Link deve raggiungere un valore inferiore rispetto alla tensione di blocco degli IGBT (6500V).

**6.3. Prova caratteristica di coppia [IEC61377/2016 7.2&7.3]****6.3.1. Obiettivo**

Lo scopo di questa prova è di verificare che l'apparecchiatura di trazione rispetti le curve caratteristiche di coppia specificate.

**6.3.2. Condizioni preliminari**

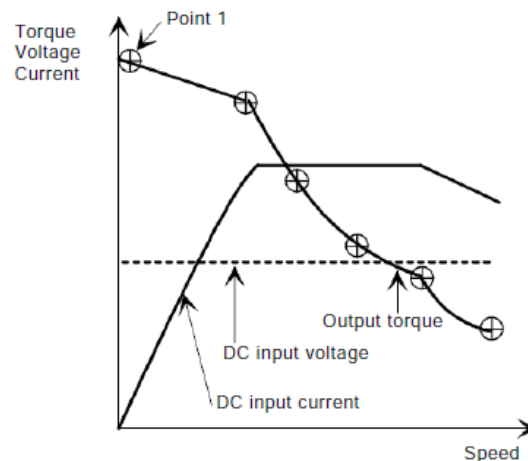
- Tensione fonte di alimentazione: 3000V
- 1 catena di trazione in funzionamento
- Tutti i sistemi di raffreddamento in funzionamento

\*Questa prova verrà eseguita 2 volte:

1. Con i motori freddi (di prima mattina, senza aver utilizzato i motori per diverse ore, differenza massima di 20°C tra gli avvolgimenti o carcassa dello statore e l'ambiente)
2. Con i motori caldi (subito dopo la prova di riscaldamento)

**6.3.3. Procedura**

In base alla norma IEC61377, la verifica della coppia erogata dai motori si dovrà eseguire in diversi punti. Questi punti dovranno servire per ricostruire la curva caratteristica di coppia, come illustrato nella Figura 5.



**Figura 5. Punti di misurazione per la prova di caratteristica di coppia**





## PROCEDURA DI PROVE E COLLAUDI PROTOCOLLO AGGIUNTIVO PROVE LABORATORIO

LOCOMOTIVA E401

**CODICE: B.20.92.101.02**

**EDIZIONE: A**

Pag. 17 di 39

Si definiscono nella Tabella 2 i punti di verifica della coppia esercitata per il motore, tanto in trazione come in freno, a partire dalle curve di sforzo della Figura 8. Si misurerà la coppia meccanica nell'asse del motore mediante un sensore di paio che sarà connesso al wattimetro. Inoltre la potenza elettrica all'entrata del motore ed all'entrata del convertitore si misurerà anche per la sua posteriore analisi. Lo scenario di misura dovrà essere come quello proposto nella seguente immagine:

*Figura 6. Scenario di misure per la prova*

Si dovrà rimanere in ogni punto di lavoro il tempo sufficiente per registrare mediante il sensore montato nell'asse la coppia meccanica del motore senza che il motore si riscaldi.

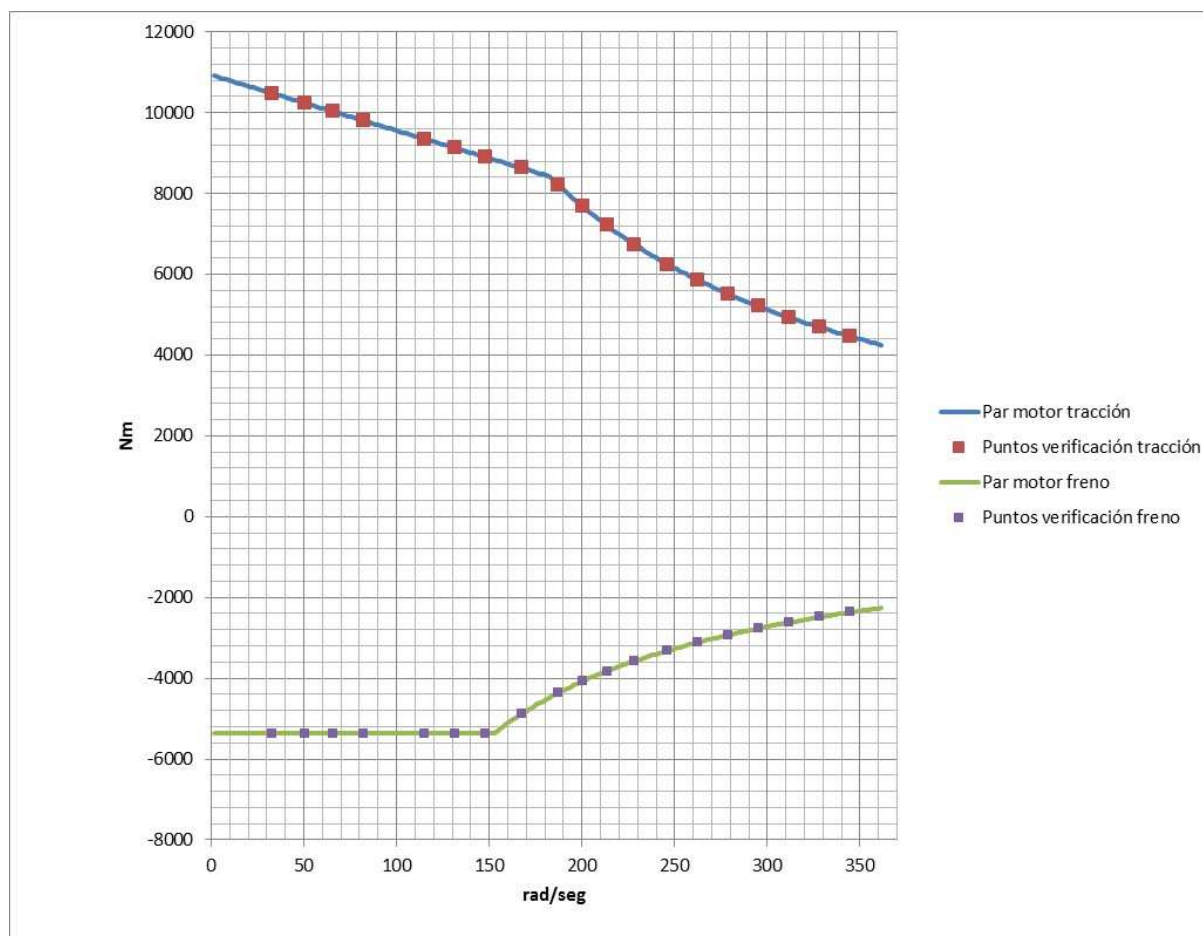


Figura 7. Curve di sforzo di trazione e freno per la verifica della coppia esercitata

	Trazione	Frenatura	Potencia mecánica	Velocidad (km/h)
1	10458Nm@32.8rad/s	-5361Nm@32.8rad/s		
2	10223Nm@50rad/s	-5361Nm@50rad/s		
3	9983Nm@65rad/s	-5361Nm@65rad/s		
4	9749Nm@82.1rad/s	-5361Nm@82.1rad/s		
5	9276Nm@114.9rad/s	-5361Nm@114.9rad/s		
6	9050Nm@130.5rad/s	-5361Nm@130.5rad/s		
7	8803Nm@147.8rad/s	-5347Nm@152.3rad/s		
8	8526Nm@167.1rad/s	-4875 Nm@167.1rad/s		
9	8219Nm@187.2rad/s	-4480Nm@187.2rad/s		
10	7695Nm@200rad/s	-4076 Nm@200rad/s		
11	7208Nm@213.5rad/s	-3826Nm@213.5rad/s		
12	6750Nm@228rad/s	-3577 Nm@228rad/s		
13	6248Nm@246.3rad/s	-3316Nm@246.3rad/s		
14	5862Nm@262.7rad/s	-3108 Nm@262.7rad/s		
15	5514Nm@279.1rad/s	-2926Nm@279.1rad/s		



PROCEDURA DI PROVE E COLLAUDI  
PROTOCOLLO AGGIUNTIVO PROVE LABORATORIO

LOCOMOTIVA E401

CODICE: B.20.92.101.02

EDIZIONE: A

Pag. 19 di 39

	Trazione	Frenatura	Potencia mecánica	Velocidad (km/h)
16	5210Nm@295rad/s	-2763 Nm@295rad/s		
17	4932Nm@312rad/s	-2618Nm@312rad/s		
18	4260Nm@328rad/s	-2486 Nm@328rad/s		
19	4462Nm@344.8rad/s	-2368Nm@344.8rad/s		

**Tabella 2. Punti verifica coppia motore**

**6.3.4. Criteri di validazione**

La differenza tra la coppia misurata e la coppia specificata dovrà rientrare in una tolleranza del  $\pm 5\%$  in tutto il range tra la velocità minima y la velocità massima di esercizio



# PROCEDURA DI PROVE E COLLAUDI PROTOCOLLO AGGIUNTIVO PROVE LABORATORIO

LOCOMOTIVA E401

CODICE: B.20.92.101.02

EDIZIONE: A

Pag. 20 di 39

COPPIA CARATTERISTICA DI COPPIA (MOTORE FREDDO)												
	TRAZIONE						FRENATURA					
Punto	Valore di comando coppia	Coppia misurata (sensore)	(Limiti)		Corretto?		Valore di comando coppia	Coppia misurata (sensore)	(Limiti)		Corretto?	
			-5%	+5%	SI	NO			-5%	+5%	SI	NO
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

**Tabella 3. Checklist prova caratteristica di coppia (motore freddo)**

COPPIA CARATTERISTICA DI COPPIA (MOTORE CALDO)												
	TRAZIONE						FRENATURA					
Punto	Valore di comando coppia	Coppia misurata (sensore)	(Limiti)		Corretto?		Valore di comando coppia	Coppia misurata (sensore)	(Limiti)		Corretto?	
			-5%	+5%	SI	NO			-5%	+5%	SI	NO
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												

**Tabella 4. Checklist prova caratteristica di coppia (motore caldo)**

#### **6.4. Prova di riscaldamento (carico costante) [IEC61377/2016 9.2]**

##### **6.4.1. Obiettivo**

Lo scopo di questa prova è di verificare che le temperature misurate durante le prove non superino i valori teorici di progettazione. Con questa prova rimane validato termicamente l'armadio di trazione.

##### **6.4.2. Condizioni preliminari**

- Tensione fonte di alimentazione: 3000V
- 2 catene di trazione in funzionamento
- Convertitore ausiliario collegato (con carichi) all'armadio convertitore DUT
- Tutti i sistemi di raffreddamento in funzionamento
- Catenaria non rigenerativa per il punto di frenatura (Prova frenatura con 1 catena)

##### **6.4.3. Procedura**

La prova verrà eseguita 2 volte: Trazione e frenatura (per verificare temperature di chopper e reostato di frenatura)

Mettere in funzionamento l'apparecchiatura nel punto di potenza nominale:

- Trazione: 6105Nm@218rad/s (1333kW)
- Frenatura: -5361Nm@152rad/s (-817kW)

Rimanere nel punto di funzionamento definito finché la temperatura di tutti i componenti rilevanti non sarà arrivata al regime permanente ( $\Delta T^a < 4K$  in  $1h^5$ ). In qualsiasi caso si dovrà rimanere in questo punto, come minimo, per 2h.

#### 6.4.4. Criteri di validazione

Le temperature di tutti i componenti rilevanti dovranno rimanere all'interno dei limiti definiti dalle specifiche corrispondenti (Tabella 5 e Tabella 6)

PROVA RISCALDAMENTO CON CARICO COSTANTE (TRAZIONE)					
Componente	Valore max. misurato [°C]	Valore normalizzato [°C]	Criteri di accettazione	Corretto	
				SI	NO
Temperatura del ambiente ( $T_{amb}$ )			-	-	-
Coldplate inverter			< 85°C		
Coldplate DCDC			< 85°C		
Coldplate Chopper			< 85°C		
Liquido refrigerante (uscita)			< 65°C		
Liquido refrigerante (ingresso)			< 70°C		
Reostato di frenatura			-		
Induttanza ingresso			< 180°C		
Induttanza DC/DC			< 180°C		
Motore di trazione			< 200°C		

**Tabella 5. Checklist prova riscaldamento (trazione)**

PROVA RISCALDAMENTO CON CARICO COSTANTE (FRENATURA)					
Componente	Valore max. misurato [°C]	Valore normalizzato [°C]	Criteri di accettazione	Corretto	
				SI	SI
Temperatura del ambiente ( $T_{amb}$ )			-	-	-
Coldplate inverter			< 85°C		
Coldplate DCDC			< 85°C		
Coldplate Chopper			< 85°C		
Liquido refrigerante (uscita)			< 65°C		
Liquido refrigerante (ingresso)			< 70°C		
Reostato di frenatura			< 250°C		
Induttanza ingresso			< 180°C		



PROCEDURA DI PROVE E COLLAUDI  
PROTOCOLLO AGGIUNTIVO PROVE LABORATORIO

LOCOMOTIVA E401

CODICE: B.20.92.101.02

EDIZIONE: A

Pag. 23 di 39

**PROVA RISCALDAMENTO CON CARICO COSTANTE (FRENATURA)**

Componente	Valore max. misurato [°C]	Valore normalizzato [°C]	Criteri di accettazione	Corretto	
				SI	SI
Induttanza DC/DC			< 180°C		
Motore di trazione			< 200°C		

***Tabella 6. Checklist prova riscaldamento (frenatura)***

## 6.5. Transizione trazione/frenatura [IEC61377/2016 10.2]

### 6.5.1. Obiettivo

Lo scopo di questa prova è di verificare che il sistema sia in grado di passare da mettere in trazione a frenatura (e viceversa) in diverse condizioni.

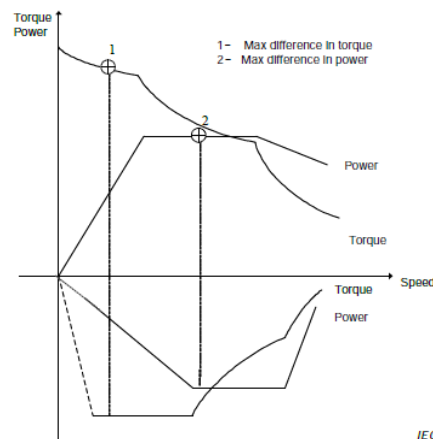
### 6.5.2. Condizioni preliminari

- Tensione fonte di alimentazione: 3000V
- 1 catena di trazione in funzionamento
- Tutti i sistemi di raffreddamento in funzionamento

### 6.5.3. Procedura

Si definiscono 2 velocità per realizzare la prova di transizione trazione/frenatura, secondo la Figura 8 y i punti della Tabella 2

- Transizione 1: differenza massima di coppia
  - o **Punto trazione 1: 10458Nm @ 32.8rad/s**
  - o **Punto frenatura 1: -5361Nm @ 32.8rad/s**
- Transizione 2: differenza massima di potenza
  - o **Punto trazione 9**
  - o **Punto frenatura 9**
- Derivata di coppia: **3000Nm/rad/s**



**Figura 8. Transizioni trazione/frenatura (IEC61377/2016, Figura 14)**

Eseguire la sequenza trazione-frenatura-trazione per le transizioni definite con catenaria 100% rigenerativa. Ripetere la prova mettendo un diodo tra la fonte di alimentazione e l'armadio di trazione (catenaria non ricettiva).



#### 6.5.4. Criteri di validazione

Il sistema di trazione deve essere in grado di eseguire le transizioni di coppia definite seguendo il valore di comando, senza che intervenga nessuna protezione (sovracorrente, sovratensione,...).

PROVA TRANSIZIONE TRAZIONE/FRENATURA			
Transizione	Criterio di accettazione	Corretto?	
		Sì	NO
Transizione 1: differenza massima di coppia	Transizione senza errori		
Transizione 2: differenza massima di potenza	Transizione senza errori		

***Tabella 7. Checklist prova transizione trazione/frenatura***

## 6.6. Interruzione della tensione di linea [IEC61377/2016 12.3]

### 6.6.1. Obiettivo

Lo scopo di questa prova è di verificare che il sistema di trazione reagisca correttamente in caso di interruzioni della tensione di linea (definiti in IEC 60850)

### 6.6.2. Condizioni preliminari

- Tensione fonte di alimentazione: 3000V
- 1 catena di trazione in funzionamento
- Tutti i sistemi di raffreddamento in funzionamento

Si installerà un contattore tra la fonte di alimentazione l'ingresso del convertitore di trazione, per provocare interruzioni della linea di massimo 10s.

### 6.6.3. Procedura

Si mette il sistema di trazione in esercizio nel punto nominale (**Punto 9 tracción: 8219Nm@187.2rad/s**)<sup>6</sup>, in trazione o frenatura (rigenerativa), si interrompe la tensione di linea (<10s) e si ricollega la tensione di linea.

### 6.6.4. Criteri di validazione

Il sistema di trazione dovrà reagire secondo quello specificato. Durante il decollo, lo sforzo applicato per il sistema passa a frenare per controllare il DCLink alla tensione di mantenimento. Una volta rafferma alla linea, il sistema girerà ad esercitare lo sforzo previo all'interruzione. Tutto il processo deve portarsi a termine senza incidenze

<sup>6</sup> per limitazioni dello scenario è possibile che dobbiamo scendere il punto di funzionamento ad uno di minore potenza

### 6.7. Prova di riscaldamento (carico costante)

#### 6.7.1. Obiettivo

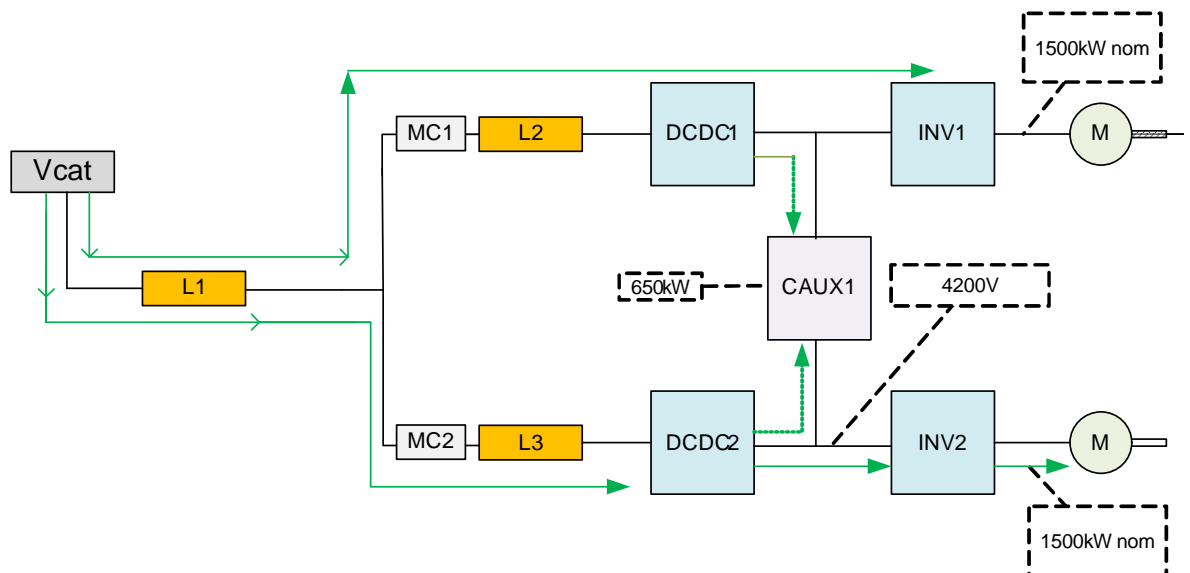
Lo scopo di questa prova è di verificare che le temperature misurate durante le prove non superino i valori teorici di progettazione.

Le prove verranno eseguite nelle peggiori situazioni per ogni elemento che compone la catena di trazione.

- Induttanza ingresso → Risulta validato con la prova termica 6.4
- DCDC → Risulta validato con la prova termica 6.1
- Induttanza DCDC → Risulta validato con la prova termica 6.1
- Inverter
- Motore → Risulta validato con la prova termica 6.4
- 20 minuti senza che saltino le protezioni

#### 6.7.2. Condizioni preliminari

- Tensione fonte di alimentazione: 3000V
- 2 catene di trazione in funzionamento
- Convertitore ausiliario collegato (con carichi) all'armadio convertitore DUT
- Tutti i sistemi di raffreddamento in funzionamento



### 6.7.3. Procedura

Nel caso dell'inverter:

- Mettere l'apparecchiatura in funzionamento nel peggior punto di esercizio per l'inverter, ovvero a 40km/h (10030Nm – 66rad/seg) (si veda Documento di progettazione, B.20.93.206.00).
- Rimanere nel punto di funzionamento definito finché la temperatura di tutti i componenti rilevanti non sarà arrivata al regime permanente ( $\Delta T^a < 4K$  in  $1h^7$ ). In qualsiasi caso si dovrà rimanere in questo punto, come minimo, per 2h.

Nel caso della prova di 20 minuti:

- Mettere l'apparecchiatura nel punto PT1 (8410Nm – 183rad/seg) per 20 minuti.

### 6.7.4. Criteri di validazione

Le temperature di tutti i componenti rilevanti dovranno rimanere all'interno dei limiti definiti dalle specifiche corrispondenti (Tabella 8 e Tabella 9)

<b>PROVA RISCALDAMENTO CON CARICO COSTANTE (INVERTER)</b>					
Componente	Valore max. misurato [°C]	Valore normalizzato [°C]	Criteri di accettazione	Corretto	
				SI	NO
Temperatura ambiente (Tamb)			-	-	-
Coldplate inverter			< 85°C		
Coldplate DCDC			< 85°C		
Coldplate Chopper			< 85°C		
Liquido refrigerante (uscita)			< 65°C		
Liquido refrigerante (ingresso)			< 70°C		
Reostato di frenatura			-		
Induttanza ingresso			< 180°C		
Induttanza DC/DC			< 180°C		
Motore di trazione			< 200°C		

**Tabella 8. Checklist prova riscaldamento (trazione)**

<b>PROVA RISCALDAMENTO CON CARICO COSTANTE (20 minuti)</b>					
Componente	Valore max. misurato [°C]	Valore normalizzato [°C]	Criteri di accettazione	Corretto	
				SI	NO
Temperatura ambiente (Tamb)			-	-	-
Coldplate inverter			< 85°C		



# PROCEDURA DI PROVE E COLLAUDI PROTOCOLLO AGGIUNTIVO PROVE LABORATORIO

LOCOMOTIVA E401

**CODICE: B.20.92.101.02**

**EDIZIONE: A**

Pag. 29 di 39

## PROVA RISCALDAMENTO CON CARICO COSTANTE (20 minuti)

Componente	Valore max. misurato [°C]	Valore normalizzato [°C]	Criteri di accettazione	Corretto	
				SI	NO
Coldplate DCDC			< 85°C		
Coldplate Chopper			< 85°C		
Liquido refrigerante (uscita)			< 65°C		
Liquido refrigerante (ingresso)			< 70°C		
Reostato di frenatura			-		
Induttanza ingresso			< 180°C		
Induttanza DC/DC			< 180°C		
Motore di trazione			< 200°C		

***Tabella 9. Checklist prova riscaldamento (20 minuti)***

## 6.8. Misura delle componenti armoniche della corrente in uscita

### 6.8.1. Obiettivo

Lo scopo di questa prova è di misurare le componenti armoniche della corrente in uscita dall'inverter.

### 6.8.2. Condizioni preliminari

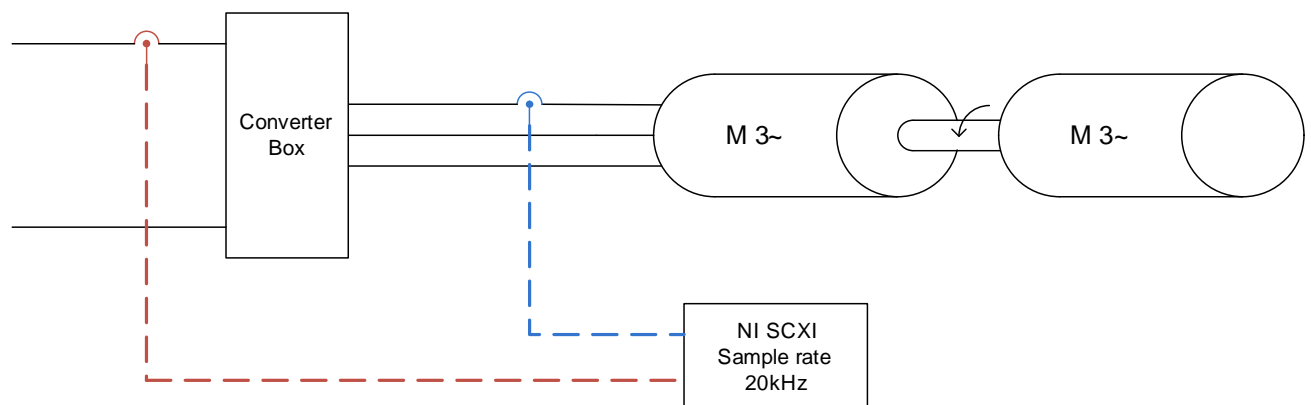
- Tensione fonte di alimentazione: 3000V
- 1 catena di trazione in funzionamento
- Tutti i sistemi di raffreddamento in funzionamento

### 6.8.3. Procedura

Vengono definiti 5 punti della Tabella 2 per realizzare la prova.

- Punto 1
- Punto 4
- Punto 5
- Punto 12
- Punto 15

Registrare la corrente in uscita y la corrente de entrada a 20kHz ed eseguire una FFT.



### 6.8.4. Criteri di validazione

Dato che si tratta di una prova informativa non esiste nessun criterio di validazione.

## **6.9. Requisito del capitolato tecnico**

### **6.9.1. Obiettivo**

Lo scopo di questa prova è di dimostrare che viene rispettato il seguente requisito del capitolato:

*Con il 75% della trazione il convoglio deve potersi avviare su una pendenza dell'1,7% percorrendo 15 km ed utilizzando la curva di trazione nominale senza che si presenti nessuna condizione di degrado e senza raggiungere i limiti termici della catena di trazione*

### **6.9.2. Condizioni preliminari**

- Tensione fonte di alimentazione: 3000V
- 1 catena di trazione in funzionamento
- Tutti i sistemi di raffreddamento in funzionamento

### **6.9.3. Procedura**

Si lancia via Mamut il percorso equivalente per una catena di trazione.

### **6.9.4. Criteri di validazione**

Durante la prova non si presenta nessuna condizione di degrado e non si arriva ai limiti termici dei vari componenti della catena di trazione.

## **6.10. Caratteristiche di copia di trazione a tensioni degradate**

### **6.10.1. Obiettivo**

L'obiettivo di questa prova è verificare che l'armadio di trazione riduce o mantiene prestazioni in funzione della tensione di catenaria.

### **6.10.2. Condizioni preliminari**

- Tensione fonte di alimentazione: 3000V
- 1 catena di trazione in marcia
- Tutti i sistemi di refrigerazione in marcia

### **6.10.3. Procedura**

Realizzare una spazzata da 0km/h fino a velocità massima con le seguenti tensioni di catenaria (2100V) 2400V, 2700V e 3700V) comprovando che nei seguenti punti la coppia comandata, corrisponde coi la copia applicata.

Si applicherà lo stesso procedimento che nel paragrafo 6.3. (procedura nel punto 6.3.3)

### **6.10.4. Criteri di validazione**

La differenza tra la coppia misurata ed la coppia specificata dovrà stare in una tolleranza del  $\pm 5\%$  in tutto il rango tra la velocità minima ed il 90% della velocità massima di funzionamento

<b>PROVA CARATTERISTICA DI COPPIA 2100V</b>						
Punto	Consegna coppia	Coppia misurata	TRAZIONE		(Limiti)	
					Corretto	
			-5%	+5%	SI	NO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						

**Tabella 10: Checklist prova caratteristica di coppia (2100V)**



PROVA CARATTERISTICA DI COPPIA 2400V						
	TRAZIONE					
Punto	Consegna coppia	Coppia misurata	(Limiti)		Corretto	
			-5%	+5%	SI	NO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						

**Tabella 11. Checklist prova caratteristica di coppia (2400V)**

PROVA CARATTERISTICA DI COPPIA 2700V						
	TRAZIONE					
Punto	Consegna coppia	Coppia misurata	(Limiti)		Corretto	
			-5%	+5%	SI	NO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						

**Tabella 12. Checklist prova caratteristica di coppia (2700V)**

PROVA CARATTERISTICA DI COPPIA 3700V						
	TRAZIONE					
Punto	Consegna coppia	Coppia misurata	(Limiti)		Corretto	
			-5%	+5%	SI	NO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						

**Tabella 13. Checklist prova caratteristica di coppia (3700V)**

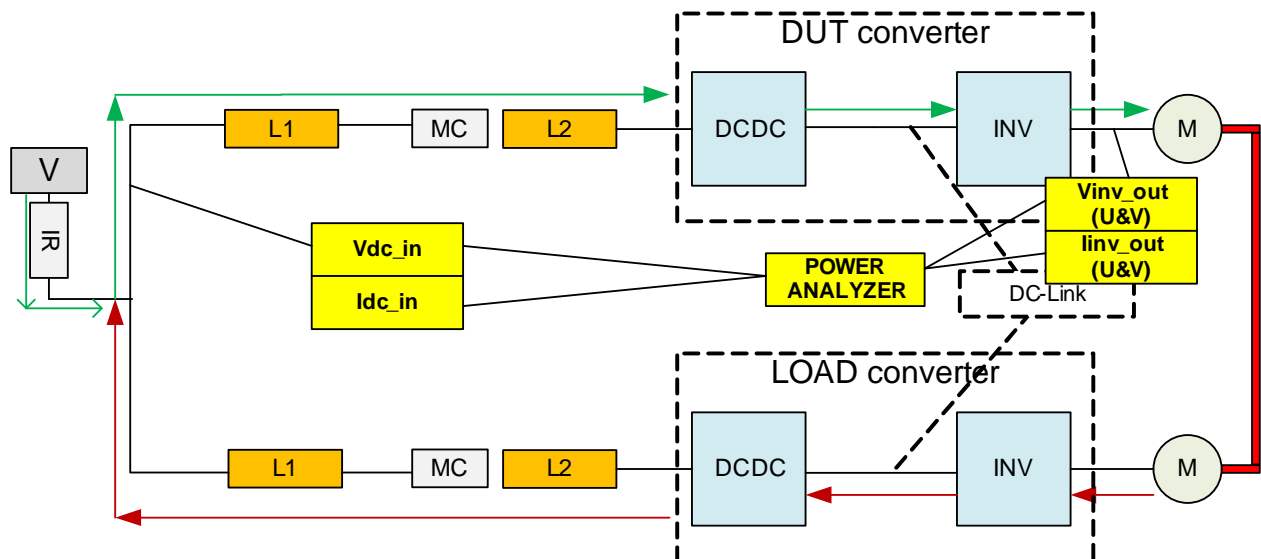
## 6.11. Determinazione perdite di potenza [IEC61287-1/2014 4.5.3.14]

### 6.11.1. Obiettivo

La prova si realizza per calcolare l'efficienza dell'inverter. Le perdite di potenza del convertitore possono determinarsi mediante calcolo o misurazione. Se è applicabile, l'efficienza si risolverà nelle due direzioni di flusso di energia nel convertitore.

### 6.11.2. Condizioni preliminari

- Convertitore connesso alla fonte di alta tensione
- Sensori di tensione e corrente collegati ai punti di misura.
- Scenario back to back.
- Tutti i sistemi di refrigerazione in marcia



**Figura 9. Scenario misura efficienza convertitore**

$$P_{inv-in} = V_{dc} \cdot I_{dc} - P_{L1} - P_{L2}$$

$$P_{inv-out} = \sqrt{3} \cdot V_{inv} \cdot I_{inv} \cdot \cos(\varphi)$$

### 6.11.3. Procedura (trazione)

Fissare la fonte di alimentazione a **3000V** e caricare il DCLink. Fissare la tensione interna del DCLink a **3600V**. Fissare la velocità del motore connesso al convertitore di carico a **[PT1\_nom speed]** ed incrementare il comando di coppia del motore connesso al DUT fino ad **[PT1\_nom torque]**

Misurare (analizzatore di potenza):

- Tensione DC e corrente all'entrata dell'armadio di trazione
- Tensione trifasica AC, corrente e  $\cos(\varphi)$  all'uscita dell'inverter

Calcolo dell'efficienza in trazione (%):

$$\eta = 100 \cdot \frac{P_{inv-out}}{P_{inv-in}}$$

#### 6.11.4. Procedura (frenatura)

Fissare la fonte di alimentazione a **3000V** e caricare il DCLink. Fissare la tensione interna del DCLink a **3600V**. Fissare la velocità del motore connesso al convertitore di carico a **[PB1 speed]** ed incrementare il comando di coppia del motore connesso al DUT fino ad **[PB1 torque]**.

Misurare (analizzatore di potenza):

- Tensione DC e corrente all'entrata dell'armadio di trazione
- Tensione trifasica AC, corrente e  $\cos(\varphi)$  all'uscita dell'inverter:

Efficiency calculation in traction (%):

$$\eta = 100 \cdot \frac{P_{inv-in}}{P_{inv-out}}$$

#### 6.11.5. Criteri di validazione

L'efficienza del convertitore dovrà essere  $\geq 97\%$

DETERMINAZIONE DELLA PERDITA DI POTENZA				
Nome della variabile	Valore misurato [%]	Criteri di accettazione	Corretto	
			SI	NO
Efficienza del convertitore (trazione)		$\geq 97\%$		
Efficienza del convertitore (frenatura)		$\geq 97\%$		

**Tabella 14. Checklist**

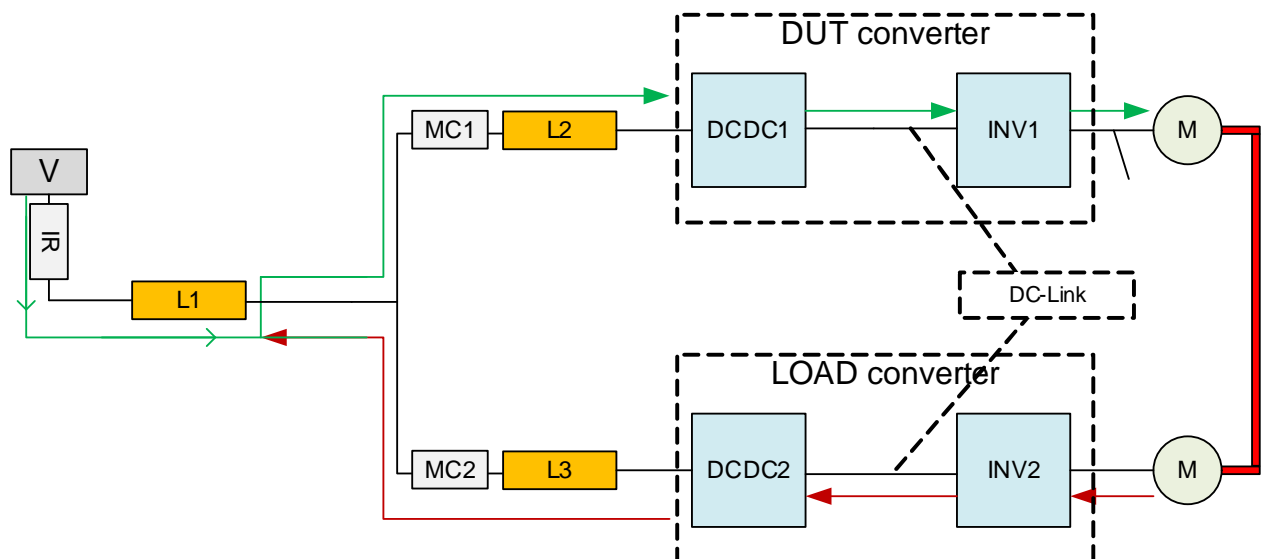
## 6.12. Validazione termica del motore in funzione del flusso applicato

### 6.12.1. Obiettivo

L'obiettivo della prova è convalidare termicamente se il cambiamento di flusso del motore suppone qualche incremento nella temperatura del motore. Per ciò, si realizzeranno due prove di riscaldamento una col flusso originale ed un'altra col flusso modificato.

### 6.12.2. Condizioni preliminari

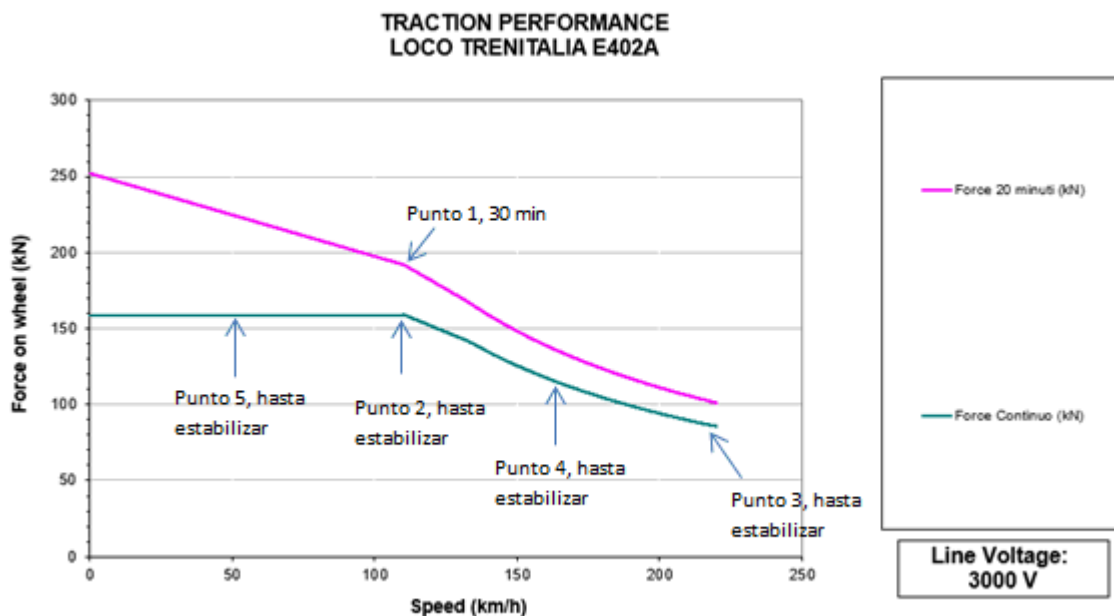
- Convertitore connesso alla fonte di alimentazione di alta tensione
- Scenario back to back.
- Tutti i sistemi di refrigerazione in marcia



**Figura 10. Scenario di prove**

### 6.12.3. Procedura

Con una tensione di entrata di 3000V ed una tensione di DCLink di 4200V applicare i seguenti punti di funzionamento.



**Figura 11. Punti di funzionamento per la prova.**

- 1 – Per il caso U/F de 3240V/72Hz
- 2 – Per il caso U/F de 3240V/62Hz

### 6.12.4. Criteri di validazione

Il test sarà valido se i limiti di temperatura non superano i massimo permessi.

PROVA DI RISCALDAMENTO A 3240V/72HZ				
Componente	Valor max. misurato [°C]	Criteri di accettazione	Corretto	
			Sì	NO
Temperatura ambiente (Tamb)		-	-	-
Coldplate inverter		T <sub>amb</sub> + 40°C		
Coldplate DCDC		T <sub>amb</sub> + 40°C		
Coldplate Chopper		T <sub>amb</sub> + 40°C		
Liquido refrigerante (uscita)		T <sub>amb</sub> + 25°C		
Liquido refrigerante (ingresso)		T <sub>amb</sub> + 20°C		
Reostato di frenatura		-		
Induttanza ingresso		T <sub>amb</sub> + 180°C		
Induttanza DC/DC		T <sub>amb</sub> + 180°C		
Motore di trazione		T <sub>amb</sub> + 200°C		



# PROCEDURA DI PROVE E COLLAUDI PROTOCOLLO AGGIUNTIVO PROVE LABORATORIO

LOCOMOTIVA E401

**CODICE: B.20.92.101.02**

**EDIZIONE: A**

Pag. 38 di 39

## PROVA DI RISCALDAMENTO A 3240V/62HZ

Componente	Valor max. misurato [°C]	Criteri di accettazione	Corretto	
			Sì	NO
Temperatura ambiente (T <sub>amb</sub> )		-	-	-
Coldplate inverter		T <sub>amb</sub> + 40°C		
Coldplate DCDC		T <sub>amb</sub> + 40°C		
Coldplate Chopper		T <sub>amb</sub> + 40°C		
Liquido refrigerante (uscita)		T <sub>amb</sub> + 25°C		
Liquido refrigerante (ingresso)		T <sub>amb</sub> + 20°C		
Reostato di frenatura		-		
Induttanza ingresso		T <sub>amb</sub> + 180°C		
Induttanza DC/DC		T <sub>amb</sub> + 180°C		
Motore di trazione		T <sub>amb</sub> + 200°C		

### 6.12.5. Rapporto della prova

Questa prova è già realizzata con Trenitalia durante la visita dal 4 al 7 di aprile. Per questo, non tornerà a fare. Si genererà il rapporto corrispondente alla prova che sarà parte del rapporto di questo protocollo, B.20.92.101.02.

### 6.13. Misura di armonici della coppia meccanica nell'asse

#### 6.13.1. Obiettivo

L'obiettivo di questa prova è misurare le componenti armoniche della coppia meccanica esercitata nel motore.

#### 6.13.2. Condizioni preliminari

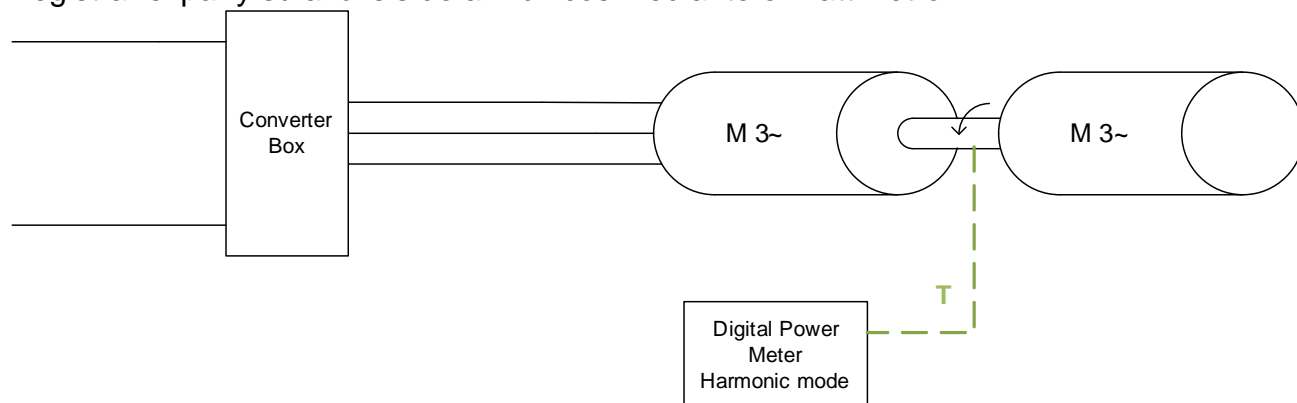
- Tensione fonte di alimentazione: 3000V
- 1 catena di trazione in marcia
- Tutti i sistemi di refrigerazione in marcia

#### 6.13.3. Procedura

Si misureranno le componenti armoniche con la lettura di coppia meccanica del wattimetro nei seguenti due punti.

- PT1\_nom **6105Nm@218rad/s (1333kW)**
- PT1\_max **8410Nm@183rad/s (1500kW)**

Registrar el par y su análisis de armónicos mediante el wattimetro.



#### 6.13.4. Criteri di validazione

Trattandosi di una prova informativa, non esiste nessun criterio di validazione.