

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 1 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	1 / 16
Committente Customer	PROMETHEUS SRL Via Borgogna, 5 20122 MILANO - MI

Vostro riferimento / Reference	Rif DDT del - -
Ordine di acquisto/Purchase Order	del - -
Campione / Sample ⁽¹⁾	
Descrizione / Description ⁽¹⁾	ATTIVITA' DI MISURAZIONE
Data ricevimento / Receiving date	26/06/2023
Ns. codice campione / Sample code	23-04367 01-01
Prova richiesta / Test	ATTIVITA' DI MISURAZIONE SPERIMEN c/o SEDE CLIENTE (BO)
Luogo esecuzione prova / Test place	Via Grieco 91 – 41011, Campogalliano MO
Data inizio prova / Test start date	01/06/2023
Data fine prova / Test end date	20/06/2023

MISURE DI PRESSIONE E TEMPERATURA PRESSO CLIENTE

MACCHINA UM 2.0

Il Responsabile della Prova
Ing BRUNELLI GARUTI FEDERICO



Firmato digitalmente da: BRUNELLI GARUTI FEDERICO - Responsabile di Commessa

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 2 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	2 / 16

INDICE

DESCRIZIONE DEL TEST	3
RIFERIMENTI E NORMATIVE	3
STRUMENTAZIONI UTILIZZATE	3
CRITERI DI ACCETTABILITA'	3
CONFIGURAZIONE DI PROVA.....	4
Descrizione unità in prova	4
Setup di prova	6
RISULTATI	7
CONCLUSIONI	12
CONSIDERAZIONI PER ULTERIORI TEST E MISURE	16

Firmato digitalmente da: BRUNELLI GARUTI FEDERICO - Responsabile di Commessa

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 3 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	3 / 16

DESCRIZIONE DEL TEST

L'attività ha lo scopo di eseguire misure ed osservazioni nel sistema del cliente UM 2.0 ed eseguire un'analisi dei dati raccolti per avere una descrizione preliminare dei fenomeni all'interno dello stesso a seguito di un'attivazione di una candela per applicazione automotive.

In particolare, ci si propone di:

- Registrare la Temperatura (T_{camera}) all'interno della camera
- Registrare due componenti di pressione dette di picco (P_{picco}) e basale (P_{basale})
- Osservare la generazione di gas
- Osservare la generazione di lavoro
- Stabilire la ripetibilità del fenomeno: Scocca, Picchi di pressione, Aumento di pressione basale, Aumento di temperatura

Ogni sessione di test viene eseguita in sinergia con il cliente secondo il protocollo di prova:

- Preparazione della macchina
 - 1) Assemblaggio della macchina in tutti i suoi componenti (vedi immagine a modulo singolo)
 - 2) Caricamento della macchina con H₂O in soluzione 1% NaCl (32 ml)
 - 3) Sigillatura della camera con lamina in acciaio inox AISI 316L
 - 4) Connessione della massa del circuito
 - 5) Connessione dei sensori e verifica della corretta lettura delle grandezze P e T
 - 6) Connessione della candela
 - 7) Esecuzione di scocche di prova (1-3 volte)
- Esecuzione dei cicli
 - Avvio della registrazione e archiviazione dati nel file *data_ora.csv*
 - Esecuzione di scocche singole (sino a 10)
 - Esecuzione di cicli da 5 scocche a frequenza 0,5 Hz
 - Esecuzione di cicli da 5 scocche a frequenza 1 Hz
 - Esecuzione di cicli da 10 scocche a frequenza 0,5 Hz
 - Esecuzione di cicli da 5 scocche a frequenza 1 Hz
 - Il test si conclude a rottura candela o disallineamento spar-gap (distanza > 3 mm)
 - Apertura della camera con sfiatamento gas
 - Valutazione dello stato della membrana
 - Acquisizione dei file di registrazione

RIFERIMENTI E NORMATIVE

N.A.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

- Sensore Balluff 0-100bar - BSP B005-DV004-D06S1A-S4 [di fornitura e selezione cliente]
- Sensore AEP 0-1000bar – TP14BH51R [di fornitura e selezione Tec-Eurolab]

CRITERI DI ACCETTABILITA'

N.A.

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 5 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	5 / 16

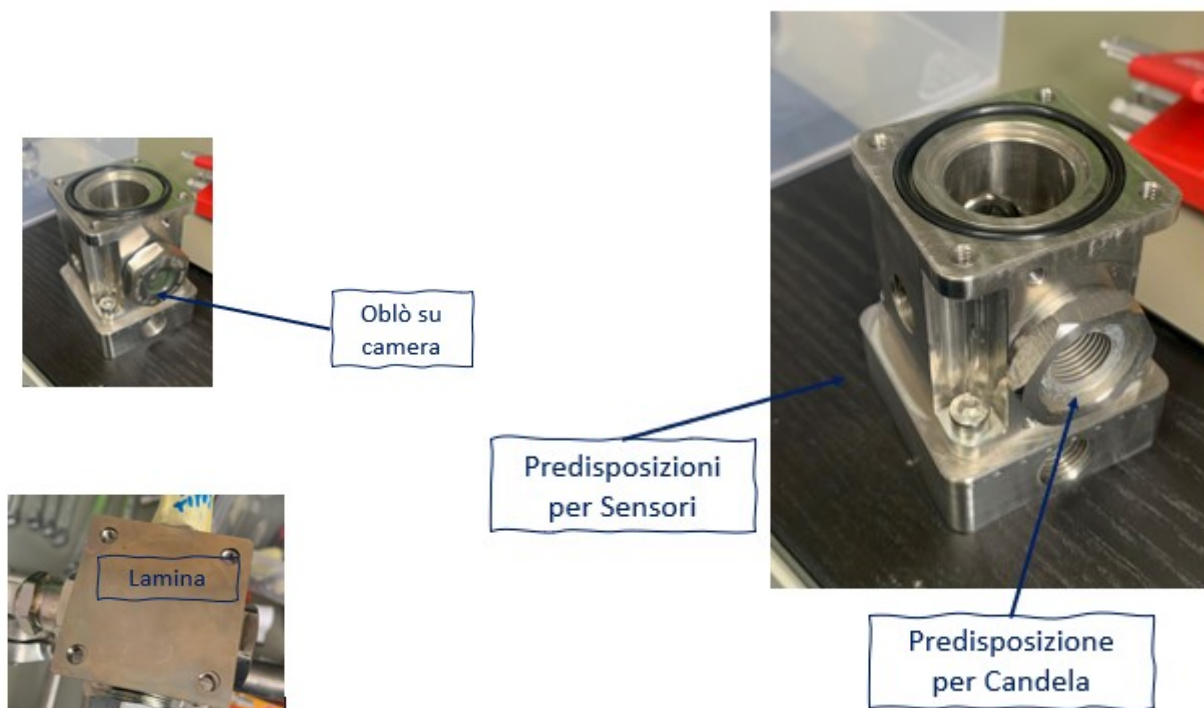


Figura 2 - UM 2.0

Il sistema UM 2.0 è studiato con logica modulare, può essere quindi allestita una seconda camera per raddoppiare la capacità volumetrica.

Firmato digitalmente da: BRUNELLI GARUTI FEDERICO - Responsabile di Commessa

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 6 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	6 / 16

Setup di prova

Di seguito si riportano le immagini, nelle due configurazioni “Modulo singolo” e “Modulo doppio”, del setup realizzato in sinergia con il cliente.

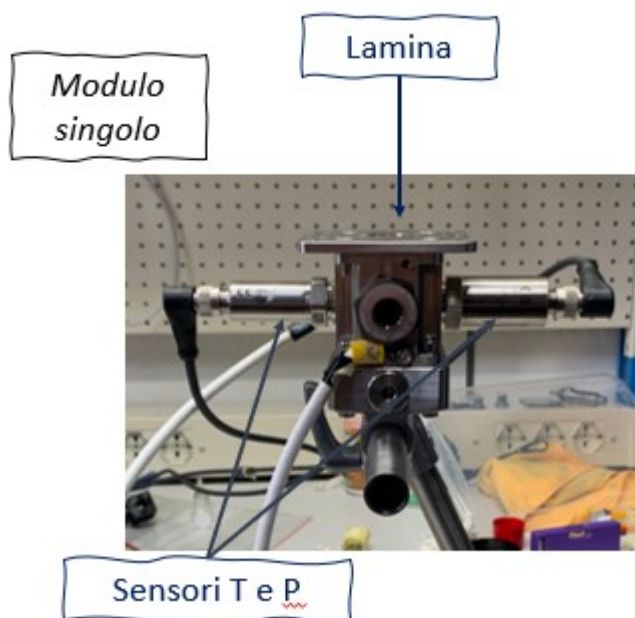


Figura 3 – UM 2.0 allestito a “modulo singolo”

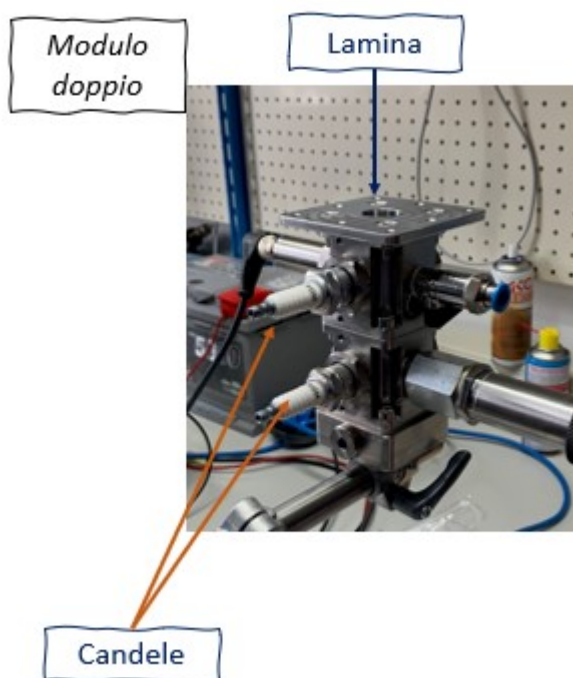


Figura 4 - UM 2.0 allestito a "modulo doppio"

I risultati analitici si riferiscono unicamente al campione sottoposto a prova, così come ricevuto.
La riproduzione parziale del presente rapporto di prova non è consentita senza autorizzazione del Laboratorio.

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 7 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	7 / 16

RISULTATI

[Di seguito si presentano analisi eseguite sui dati delle sessioni di prova del giorno 31/05]

DISTURBI

- I disturbi sono originati dal mancato collegamento/bilanciamento della massa del sensore
- Per questo studio preliminare il sensore non è posto in camera ma solo a contatto con il corpo del cilindro per valutare il solo fenomeno di disturbo su carcassa sensore e cablaggio
- Con l'utilizzo del sensore AEP TP14BH51R non è stato possibile eliminare completamente il disturbo, non è quindi stato giudicato idoneo per la valutazione delle pressioni della sequenza di prove qui presentata
- Nonostante il sensore AEP utilizzato presenti una velocità di risposta superiore al sensore di fornitura cliente (produttore Balluff), non è stato valutato idoneo proprio per l'impossibilità di annullare completamente i disturbi elettrici.

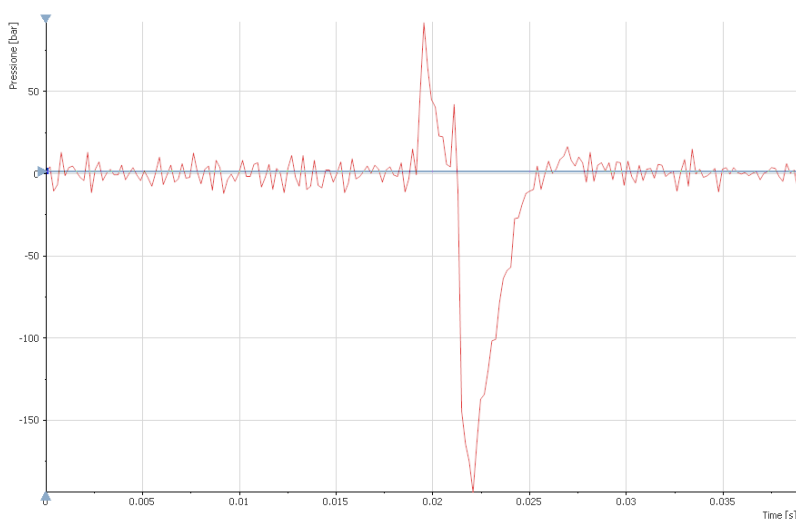


Figura 5 - Disturbo elettrico

CORREZIONE DEL DISTURBO

- Il disturbo è stato corretto grazie all'utilizzo opportuno del sensore Balluff con cablaggio schermato. La massa del sensore e la schermatura sono state connesse elettricamente alla massa del sistema di acquisizione.
- Dopo aver collegato il sensore, questo è stato messo a contatto con il cilindro, senza far affacciare la parte sensibile in camera, per rivalutare la presenza o meno del solo disturbo elettrico sulla carcassa e sul cablaggio.
- L'acquisizione conferma l'assenza del disturbo elettrico con questa configurazione di sensore e cablaggio.

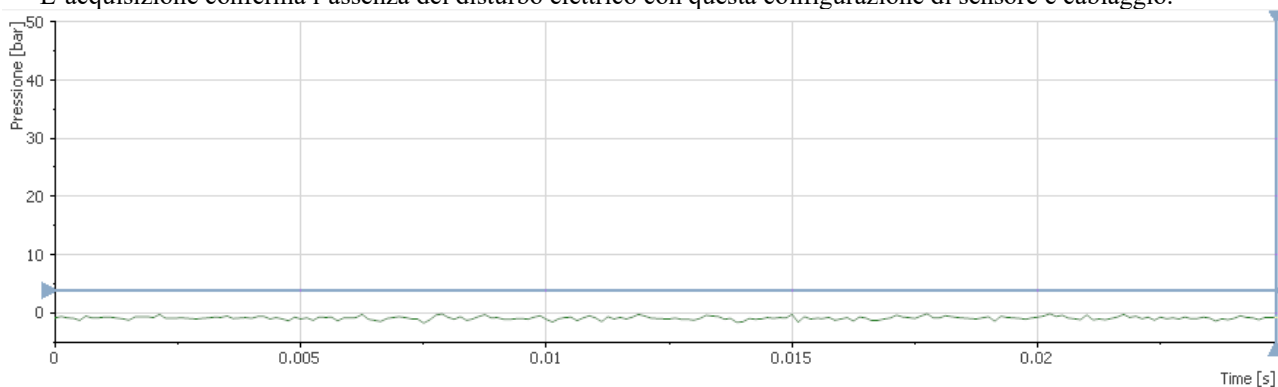


Figura 6 - Tracciato pressione senza disturbo.

NOTA: Su questa prima acquisizione non è inserita la correzione dell'offset di zero, inserita invece nelle misure successive.
Questa misura ha il solo scopo di valutare la presenza di disturbo elettrico

I risultati analitici si riferiscono unicamente al campione sottoposto a prova, così come ricevuto.
La riproduzione parziale del presente rapporto di prova non è consentita senza autorizzazione del Laboratorio.

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 8 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	8 / 16

PROFILI DI PRESSIONE VS DISTURBI

- Nell'immagine seguente si mostrano i disturbi ed un profilo di pressione misurato correttamente.
- La durata dei fenomeni è simile, perciò è plausibile che non possano essere discriminati con l'utilizzo di filtri passa-basso o passa-banda del segnale stesso.



Figura 7 - Disturbo e profilo di pressione a confronto

PROFILI DI PRESSIONE

- L'acquisizione della pressione è stata eseguita dopo aver inserito nel sistema di acquisizione gli opportuni valori di gain ed offset.
- Le acquisizioni sono state impostate a 200 samples, con frequenza 8kS/s centrate sul picco di pressione (quindi il sample #100 è il punto di massima pressione successivo al comando della scintilla)

Lo sviluppo del fenomeno sembra avere alcuni caratteri ripetibili:

- Le onde di pressione raggiungono picchi tra 5 bar e 20 bar con una tendenza crescente all'aumentare della pressione basale
- Evidente la differenza di velocità dei fronti di salita, più veloce, e discesa, più lento, dell'onda di pressione principale ottenuta su tutte le acquisizioni
- La durata dell'onda di pressione principale sembra essere dipendente dal solo picco massimo di pressione: più è alto il picco, maggiore è la durata dell'onda. Non sembrano esserci variazioni casuali di questo parametro
- La durata complessiva dei fenomeni registrati si attesta tra 15-25 samples ca. (1,9-3,1ms ca.)
- Nei fenomeni più intensi (>15bar ca.) si nota anche un'onda di pressione precedente al picco, indicata dalla freccia nera in immagine, con fronte di salita più rapido del fronte di discesa
- La distanza temporale tra questa ultima onda ed il picco di pressione è sempre nell'ordine dei 20 samples (2,5ms).

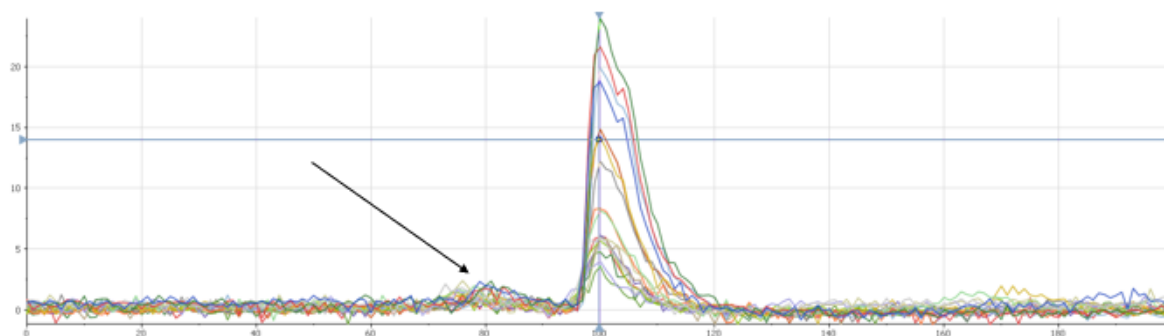


Figura 8 - Nel grafico si presentano le prime 30 acquisizioni ritenute significative del giorno 31/05/2023 sovrapposte. Pressione (bar) su asse Y, sample-number su asse X

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 9 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	9 / 16

Come evidenziato dalla Figura 9:

- Fenomeni con onda di pressione >10bar si presentano maggiormente con pressioni basali tra 0,8 bar e 1,4 bar ca.
- Al di sotto dei 0,8 bar sono più frequenti fenomeni a «bassa» pressione, con solo saltuari eventi >10bar.
- Al di sopra dei circa 1,4 bar invece sono frequenti fenomeni oscillatori che possono anche non presentare un'onda predominante. Saltuari sono i fenomeni ad alta pressione (>10bar) e che comunque continuano a presentare oscillazioni ulteriori. Questo fenomeno verrà approfondito in slide successive.

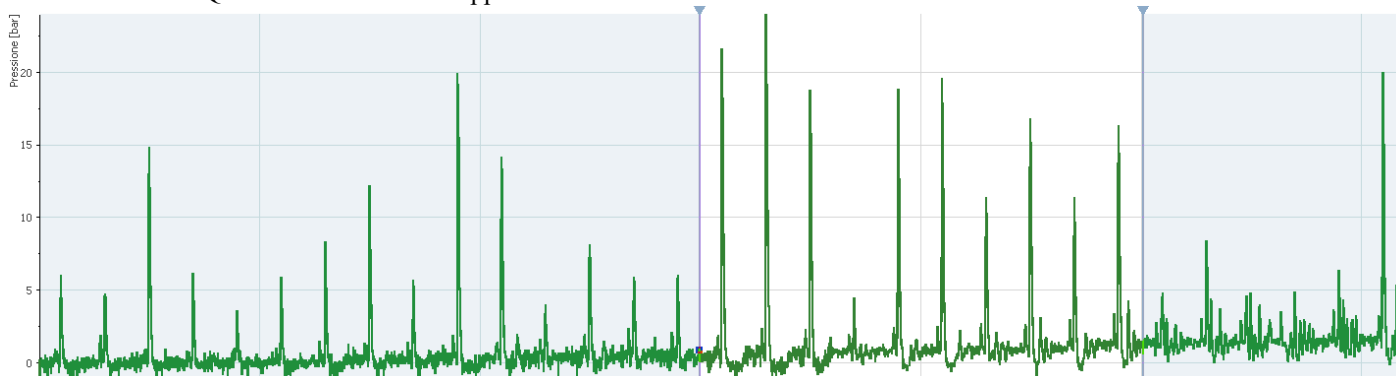


Figura 9 - Graficazione concatenata di onde di pressione rappresentative dei vari range di pressione basale

- Al di sopra della pressione basale di 1,4-1,5bar circa si sviluppano frequentemente fenomeni al di sotto dei 10bar ma accompagnati da oscillazioni.

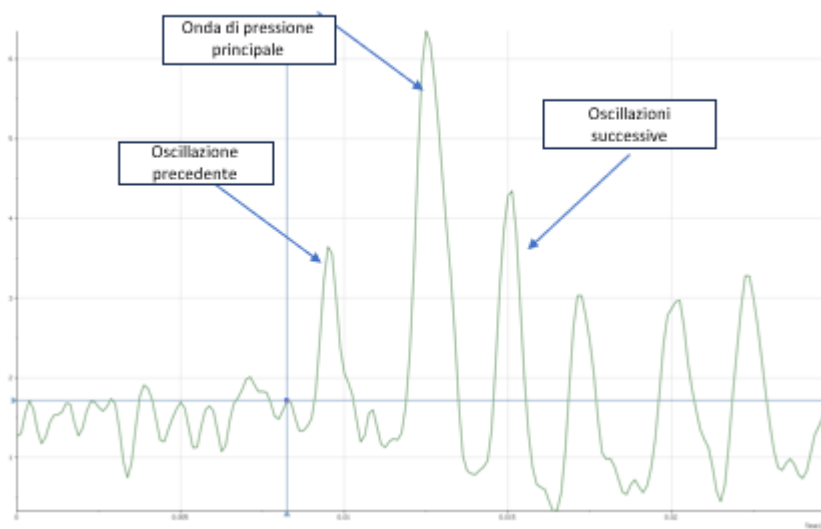


Figura 10 - Analisi specifica del file PRE_2023_05_31__15_59_02_57

I risultati analitici si riferiscono unicamente al campione sottoposto a prova, così come ricevuto.
 La riproduzione parziale del presente rapporto di prova non è consentita senza autorizzazione del Laboratorio.

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 10 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	10 / 16

- Eseguendo il calcolo FFT dell'acquisizione «PRE_2023_05_31_15_59_02_57» si evince che il fenomeno oscillatorio ha una frequenza compresa tra 300 Hz e 500 Hz

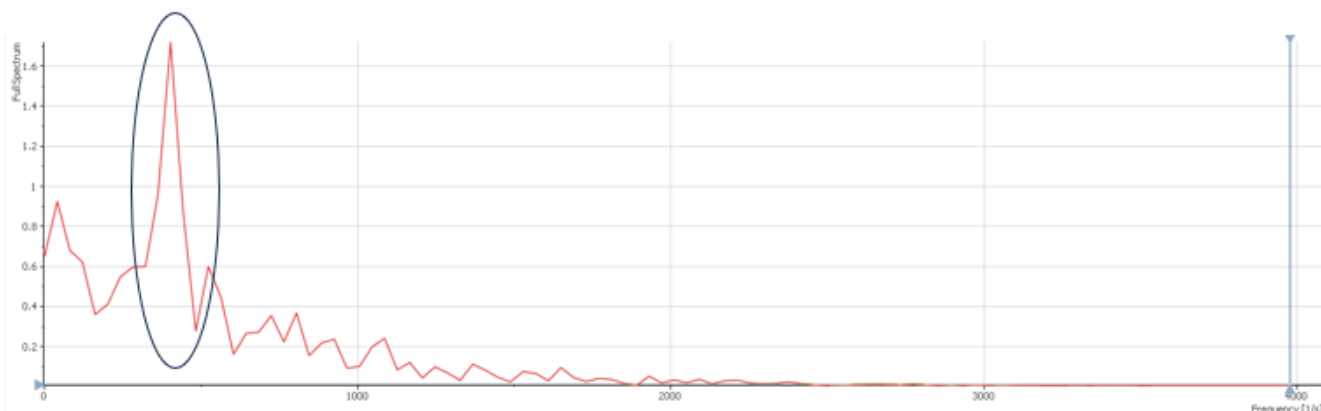


Figura 11 – FFT file PRE_2023_05_31_15_59_02_57

- Anche quando si genera un'onda di pressione considerevole, con pressione di base >1,5bar, si un analogo fenomeno oscillatorio

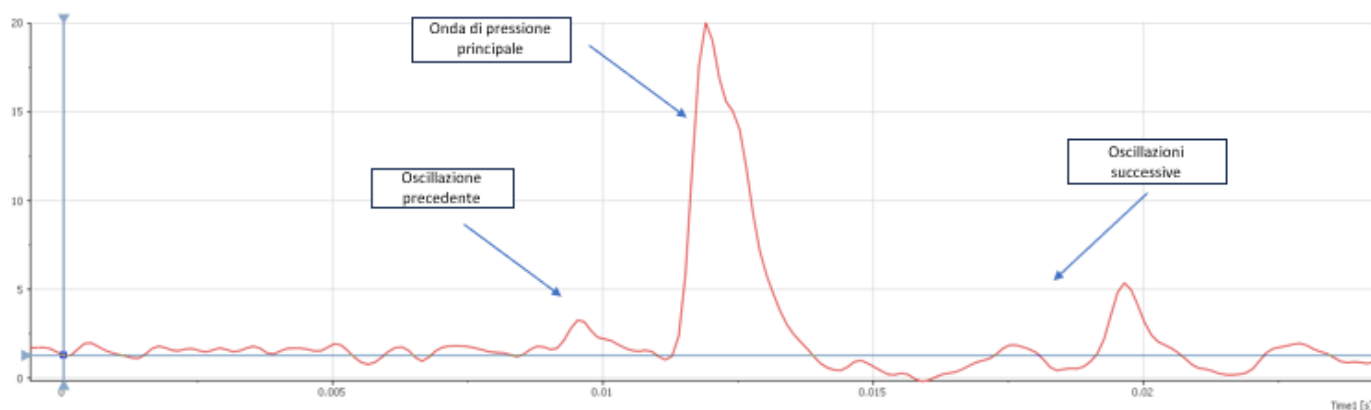


Figura 12 - Analisi specifica del file PRE_2023_05_31_15_59_02_58

- Eseguendo il calcolo FFT dell'acquisizione «PRE_2023_05_31_15_59_02_58» si nota lo stesso fenomeno tra 300 Hz e 500 Hz

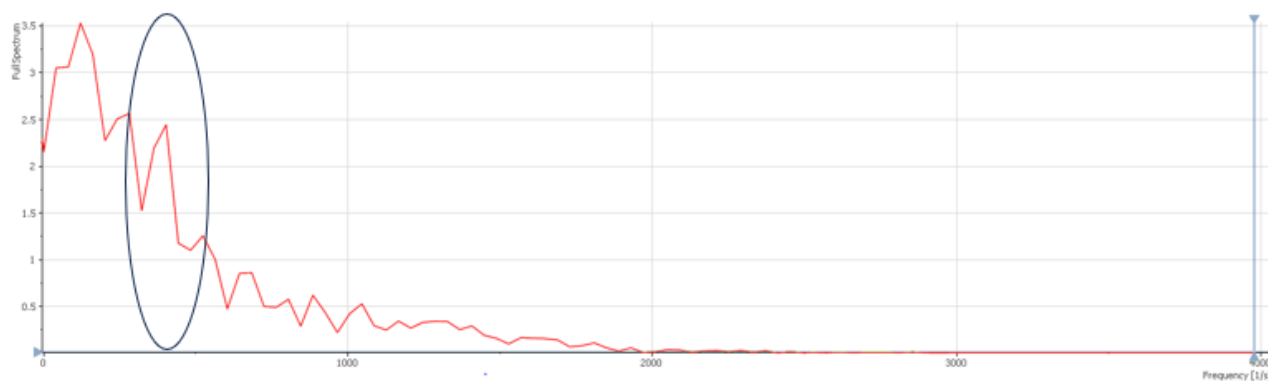


Figura 13 - FFT file PRE_2023_05_31_15_59_02_58

I risultati analitici si riferiscono unicamente al campione sottoposto a prova, così come ricevuto.
La riproduzione parziale del presente rapporto di prova non è consentita senza autorizzazione del Laboratorio.

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 11 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	11 / 16

- Di seguito (Figura 14) le curve di pressione e le FFT dell'acquisizione «PRE_2023_05_31_15_59_02_57» e «PRE_2023_05_31_15_59_02_58» si nota lo stesso fenomeno tra 300 Hz e 500 Hz

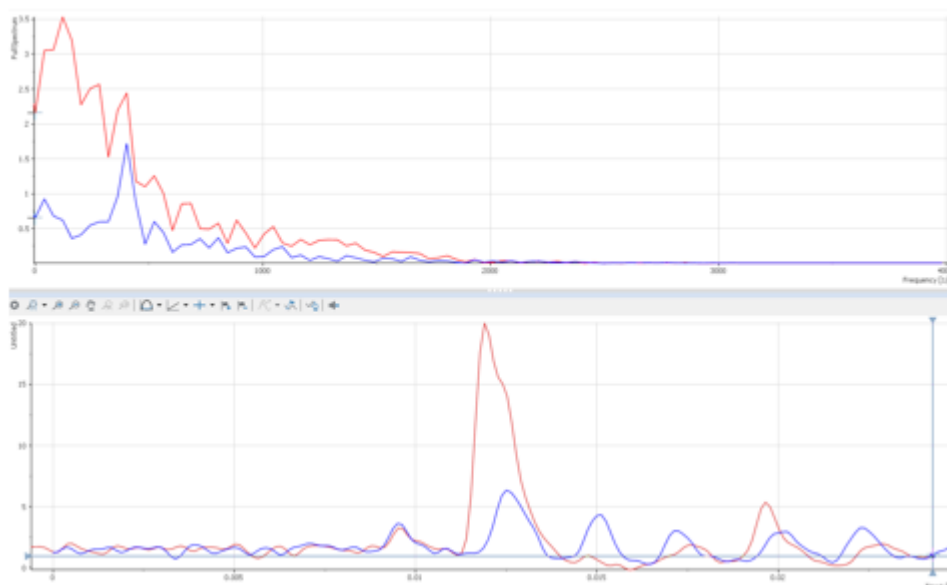


Figura 14 - Sovrapposizione dei file PRE_2023_05_31_15_59_02_57 & PRE_2023_05_31_15_59_02_58

COMPATIBILITA' TRA CATENA DI MISURA E FENOMENO FISICO

- Dal momento che i fenomeni riscontrati e misurati si presentano a frequenze di circa 300Hz si analizza la compatibilità della risposta del sensore.
- Il sensore Balluff, da DS, ha frequenze di risposta di 200Hz, perciò, nonostante i fenomeni misurati possano essere ritenuti rispondenti a fenomeni fisici, non si ha la certezza che le misure qui presentate possano descrivere in maniera completa i suddetti eventi.
- Si consiglia perciò l'utilizzo di sensori con una frequenza di risposta maggiore (almeno 1kHz), per riverificare frequenze degli eventi e valori di ampiezza.

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 12 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	12 / 16

CONCLUSIONI ED OSSERVAZIONI

• Disturbi su alcuni sensori

- I disturbi si presentano su tutti i sensori connessi al sistema, sia con output in tensione che in corrente, ivi compresi i sensori di temperatura PT1000 usati per le misure quasi statiche.
- L'evento scatenante i disturbi è con ogni probabilità la scarica della scintilla della candela e della fenomenologia correlata.

• Correzione dei disturbi

- Sul sensore di temperatura il disturbo è stato eliminato con l'applicazione di un filtro passa-basso. È così correttamente valutabile il macrofenomeno di aumento della temperatura dell'unità sotto test durante le campagne di prova
- Per quanto concerne i sensori di pressione, in cui è necessario valutare fenomeni ad alta velocità, è stato possibile eliminarli efficacemente, con opportuni collegamenti elettrici delle masse degli elementi coinvolti, sul sensore Balluff 0-100bar, ma non sul sensore AEP, probabilmente anche per la differenza di cablaggio tra sensore e sistema di acquisizione, meglio schermato nel primo.

• Registrazioni: **P** picco e **P** basale, **T** camera

- Le misurazioni effettuate hanno mostrato che a partire dalla scintilla si originano fenomeni oscillatori della pressione rilevabili e di durata di decine di millisecondi che possono essere di interesse per studi più approfonditi.
- Tale fenomeno è inoltre confermato dalla visibile deformazione della membrana metallica del cilindro.
- È stato inoltre possibile misurare un progressivo aumento della pressione basale e della temperatura del fluido all'interno del sistema con l'applicazione successiva di più scocche.

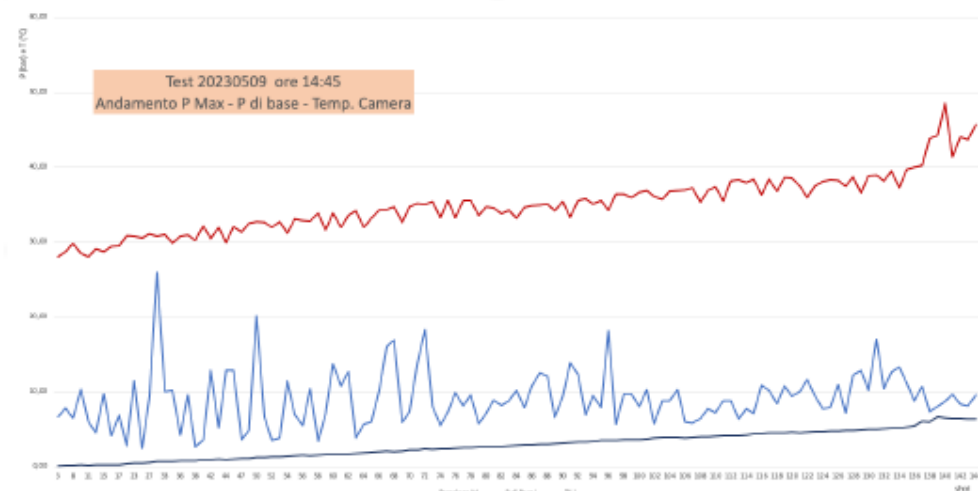
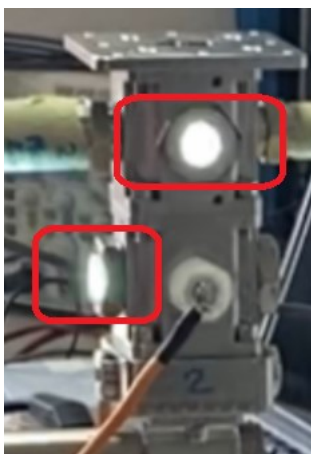


Figura 15 - Dati di temperatura e pressione forniti da committente come esempio di andamento della temperatura e della pressione durante le sessioni di test.

Sessione prova del 06/05/2023 eseguita in presenza Tec-Eurolab

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 13 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	13 / 16

- **Onde di pressione**
 - Le onde di pressione misurate a seguito della scocca della candela presentano caratteristiche ripetibili come descritto nella sezione dedicata
 - Sussistono quindi fenomeni fisici e misurabili che producono impulsi di pressione ed oscillazioni a seguito della scarica elettrica.
- **Osservazione della scintilla attraverso l'oblò**
 - Le prime scocche sono caratterizzate da eventi aventi un'intensa luce bianca.
 - Con il procedere delle prove la luce emessa dalla scintilla cambia progressivamente colorazione portandosi sul rosso.



**Figura 16 - Luce (bianca) generata dall'attivazione della candela.
Configurazione UM 2.0 a "modulo doppio"**

Firmato digitalmente da: BRUNELLI GARUTI FEDERICO - Responsabile di Commessa

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 14 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	14 / 16

- **Osservazione del liquido**

- Si osserva che la soluzione all'interno del cilindro, con il susseguirsi delle attuazioni, sembra subire un inquinamento: si presenta una fase corpuscolare in sospensione, inoltre, la soluzione si scurisce visibilmente dopo ogni sessione di test. Ogni nuova sessione deve quindi essere preceduta dalla pulizia del cilindro e dei componenti costituenti l'unità sotto test e dalla sostituzione del fluido.
- Il progressivo cambio di aspetto della soluzione può influenzare l'osservazione visiva della luce emessa dal fenomeno, influenza che però non è al momento quantificata o dimostrata.

- **Osservazione della possibile generazione di lavoro meccanico**

- Le osservazioni delle deformazioni della membrana suggeriscono che esista una generazione di lavoro meccanico a seguito dei fenomeni di pressione.
- L'evento di accensione della scintilla della candela origina un'onda pressoria, discussa in questo documento, che impone un rapido spostamento della membrana. Questo rapido spostamento è visibile attraverso il "salto" di oggetti leggeri (es. moneta) posti sopra alla membrana stessa.
- Si osserva che le deformazioni sono tali da portare in fase plastica il materiale. Tale deformazione residua può essere quantificata.
 - Tec-Eurolab ha reso disponibile la scansione 3D in data 14/06/2023 della membrana deformata.
- Spostamento istantaneo e lavoro meccanico non sono ad ora quantificati ma solo osservati.

- **Considerazioni sul gas**

- Si osserva, dopo le sessioni di prova, specialmente se prolungate, la generazione di un gas che si accumula nella parte superiore della camera.
- Sfiatando il gas ed esponendolo ad una fiamma libera, si assiste ad un'accensione del gas stesso come da immagine di seguito. Si può quindi affermare che il gas uscente dal cilindro stesso abbia proprietà altamente infiammabili.



Figura 17 – Accensione gas sfiatato dal cilindro

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 15 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	15 / 16

- **Considerazioni preliminari sull'energia elettrica assorbita dal sistema**
 - Il sistema di prova, per proprio principio di funzionamento, assorbe energia per caricare i condensatori del sistema di sgancio scintilla, i quali assorbono un certo quantitativo di energia elettrica. Tale energia elettrica può essere quantificata misurando tensione e corrente in input. Tali misurazioni sono state eseguite per la prima volta in una sessione di test nel giorno 14/06/2023.
 - Per avere maggiore consistenza e affidabilità dei risultati ottenuti e del metodo di misura, si necessitano di ulteriori sessioni di test come indicato nel paragrafo seguente

Firmato digitalmente da: BRUNELLI GARUTI FEDERICO - Responsabile di Commessa

Relazione N° Report N°	23-04367-01 Pag. 16 di 16
Data /Date	27/06/2023
Pagina /Sheet	16 / 16

CONSIDERAZIONI PER ULTERIORI TEST E MISURE

Il fenomeno riscontrato sembra svilupparsi in alcune decine di millisecondi, sarebbe quindi importante rieseguire le misurazioni con sensoristica maggiormente idonea per rilevare fenomeni a queste velocità.

Si consiglia la sostituzione del sensore Balluff con un sensore più veloce. La selezione dei prossimi sensori di pressione dovrà quindi prendere in considerazione:

- il cablaggio, che deve essere idoneo per assorbire i disturbi come fatto durante la campagna qui presentata
- le pressioni massime rilevate, quindi dovrà avere un FSO idoneo per avere robustezza ma al contempo non compromettere la misura (tra 200bar e 300bar di FSO)
- La velocità di risposta, consigliata di almeno 1kHz

Nuove misure di pressione potranno portare a nuove analisi ed a migliori valutazioni quantitative del fenomeno

Ulteriori misure proponibili, per caratterizzare ulteriormente il fenomeno, possono essere:

- Misurazione dell'energia elettrica assorbita durante il caricamento dei condensatori
- Misura real-time della deformazione della membrana
- Video ad alta velocità dell'accensione della candela

Firmato digitalmente da: BRUNELLI GARUTI FEDERICO - Responsabile di Commessa