



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Meccanica (D.M 270/04)

**Sviluppo di un banco di trascinamento
per la caratterizzazione del moto
valvole di motori a combustione
interna mediante vibrometria laser
Doppler**

Development of a driving bench for the characterization
of the valve motion of internal combustion engines by
means of Doppler laser vibrometry

Relatore: Chiar.mo:

Prof. Paolo Castellini

Tesi di Laurea di:

Luca Strozzi

A.A. 2019 / 2020

Sommario

1 Introduzione	5
2 Progettazione	6
2.1 Progettazione banco prova	6
2.2 Progettazione supporti per teste laser	24
3 Setup sperimentale	26
3.1 Preparazione testata	26
3.2 Circuito termoregolatore	31
3.3 Allestimento banco prova	41
3.4 Accensione e spegnimento banco prova	46
4 Collaudo banco prova	51
5 Misurazioni	56
5.1 Strumenti di misura	56
5.2 Setup dei sistemi di supporto per le strumentazioni di misura	58
5.3 Misurazioni e post-processing	66
6 Problematiche riscontrate	70
7 Conclusioni	74
Bibliografia	77

1 Introduzione

La passione per il mondo delle due ruote e la possibilità di collaborare con una grande azienda come Ducati Motor Holding S.p.a., unite all'interesse verso le misurazioni tramite vibrometria laser Doppler, sono state le principali ragioni della scelta del tirocinio.

Durante il periodo di apprendistato è stato possibile lavorare direttamente sulla testata del Desmosedici GP14, progettare e realizzare il banco prova, che ci permettesse di effettuare le misurazioni, e ripristinare tutto il sistema di lubrificazione e controllo temperatura dell'olio motore. Successivamente è stata posta l'attenzione sulle strumentazioni di misura utilizzate e sullo studio del layout ottimale per il posizionamento dei laser.

Le misurazioni di alzata, velocità e accelerazione saranno effettuate tramite vibrometro differenziale, che agirà direttamente sul piattello della valvola, e tramite vibrometro in-plane, che invece opererà sullo stelo valvola, al fine di validare un modello con il quale si dimostra che i risultati ottenuti tramite i due metodi sono comparabili.

La distribuzione della testata è stata trascinata tramite un motore elettrico che ha permesso lo studio nel completo range di giri del motore reale della Desmosedici: si sta parlando di 19000 *rpm* massimi all'albero motore, che diventano quindi 38000 *rpm* all'albero a cammes.

Verificata la bontà dei risultati, l'intero sistema verrà utilizzato per studiare il moto valvola della GP in condizioni di firing, ovvero durante la combustione.

2 Progettazione

2.1 Progettazione banco prova

Il banco prova, messo da a disposizione Ducati Motor Holding S.p.a., di seguito DMH, è essenzialmente composto da quattro elementi:

1. telaio in acciaio dotato di quattro piedi regolabili e gommati al fine smorzare i fenomeni vibratorii;
2. piastra rettangolare del medesimo materiale e delle stesse dimensioni perimetrali del telaio, connessa a quest'ultimo tramite sei silent block;
3. motore elettrico da 15 kW ancorato tramite una slitta di acciaio al componente descritto al punto precedente e dotato di quattro tensionatori a vite;
4. piano d'acciaio collegato da sei silent block alla piastra sottostante, descritta al punto 2.

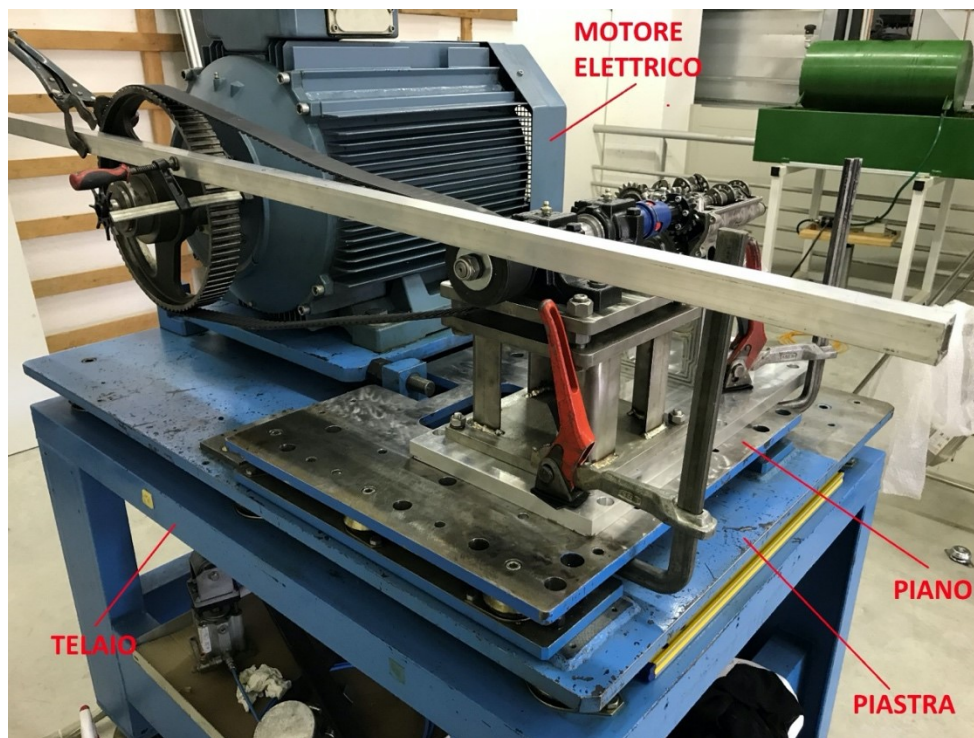


Figura 1: banco prova

Il piano di lavoro non possiede le dimensioni tali da permettere l'installazione dei supporti della trasmissione e della testata, descritti nel proseguo.

Il primo passo è stato quindi quello di ideare una piastra rettificata in alluminio di dimensioni $620 \times 280 \times 22 \text{ mm}$ provvista di sei fori passanti perimetrali che permetteranno l'accoppiamento al piano d'acciaio sottostante e al relativo supporto antivibrante, di cui si parlerà in seguito, tramite l'utilizzo di viti e rispettivi dadi.

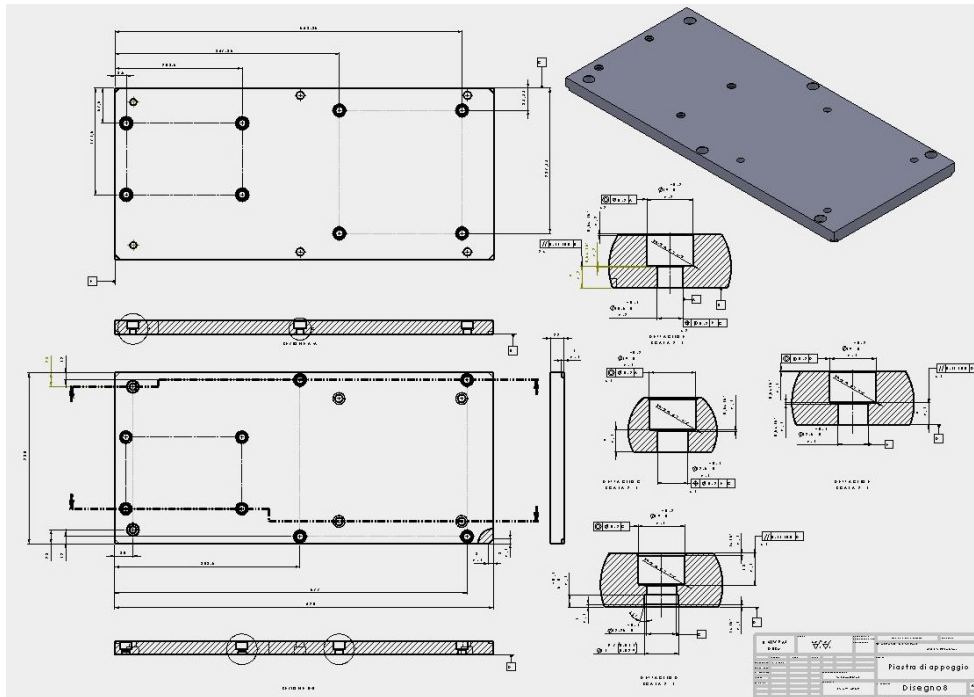


Figura 2: piastra rettificata in alluminio

Gli otto fori interni, individuati separatamente nella parte sinistra e in quella destra nella figura sopra riportata, saranno funzionali a realizzare rispettivamente un collegamento bullonato tra i supporti della testata e della trasmissione al piano d'acciaio; le posizioni occupate da questi fori sono pensate per garantire a priori un corretto allineamento tra l'albero di trasmissione e l'asse a cammes. Analizziamo ora la struttura di supporto della testata.

Sono stati ideati due supporti distinti in alluminio con apposite aperture necessarie sia per alleggerirli sia per permettere di ottenere il layout ottimale delle strumentazioni di misura impiegate successivamente.

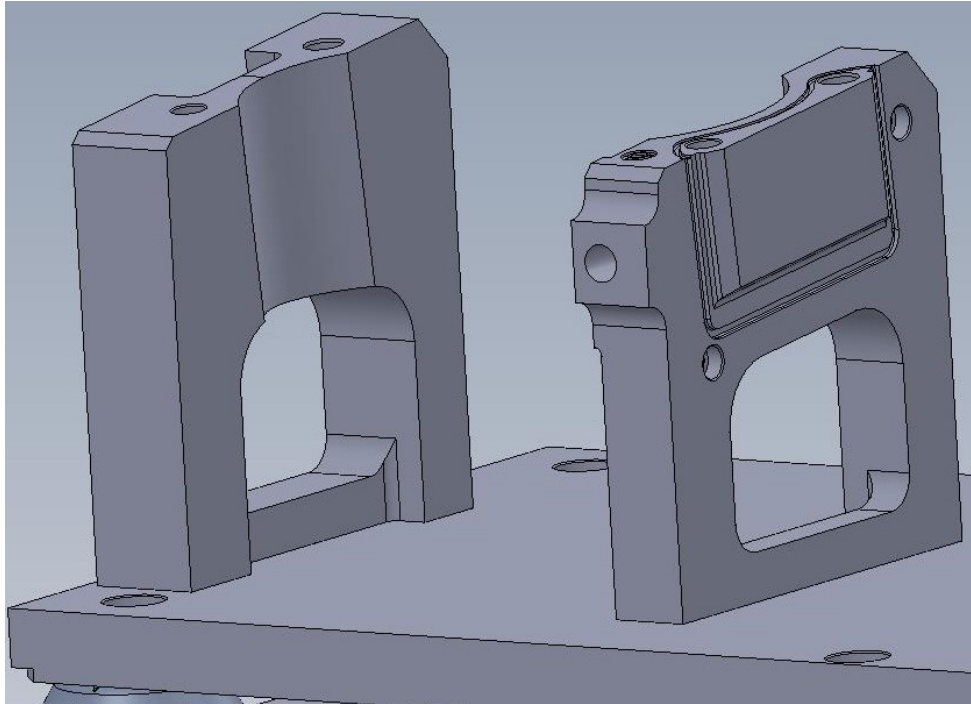


Figura 3: supporti in alluminio della testata

Risulta evidente come la funzione del membro situato a sinistra, nell'immagine sopra riportata, è quella di un effettivo sostegno fisico del piano della tastata; mentre l'altro componente, oltre a ciò, deve provvedere anche all'alimentazione dell'olio motore nella testata e ad accogliere il coperchio di distribuzione. Si può notare che entrambi i supporti sono inclinati superiormente di un angolo pari a circa 6° rispetto all'orizzontale in modo tale che l'asse della valvola, che presenta la medesima inclinazione (dato progettuale fornito da DMH) rispetto alla verticale, una volta montata la testata, sia perfettamente verticale o abbia il piattello perfettamente orizzontale. Ciò permetterà, come vedremo, di avere una ottimale condizione di parallelismo del raggio laser del

vibrometro differenziale all'asse della valvola utilizzando semplicemente uno specchio inclinato di 45° .

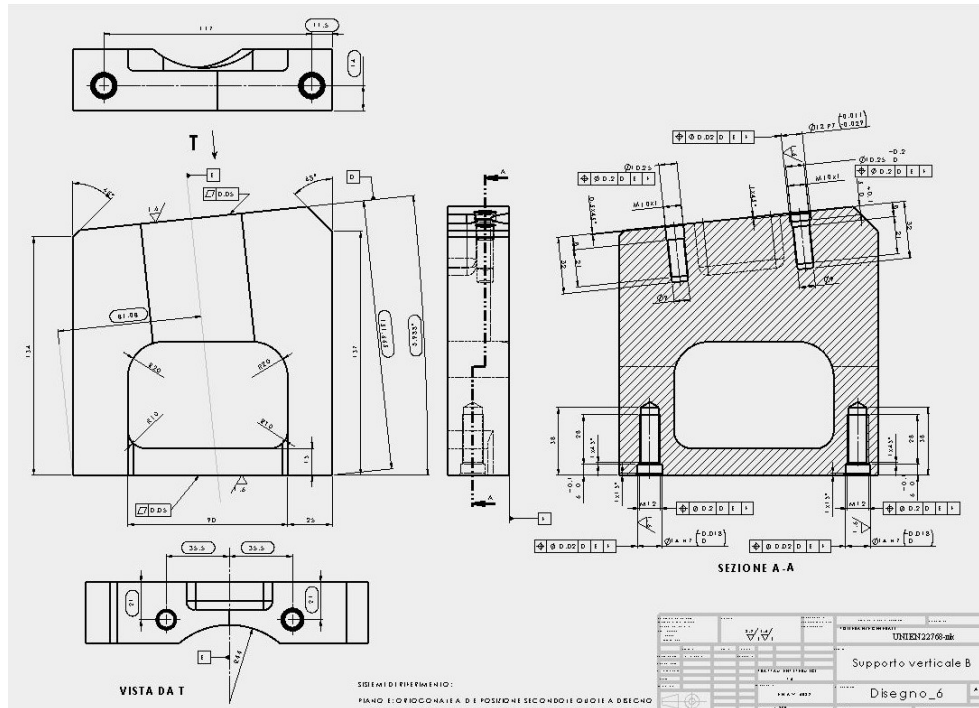


Figura 4: tavola supporti testata

Come si può osservare nei supporti di sostegno sono stati previsti due fori filettati M12 alla base che ne permettono l'ancoraggio alla piastra di alluminio; gli altri due fori M10x1, con l'apposita sede in cui andrà inserita la boccia di centraggio, renderanno possibile l'accoppiamento meccanico con la testata grazie all'utilizzo di due viti prigioniere.

La scanalatura laterale ha lo stesso raggio di curvatura del cilindro per permettere alle valvole di aspirazione e scarico più esterne di aprirsi e chiudersi liberamente.

L'altro blocco di alluminio, oltre agli accorgimenti progettuali appena descritti, deve prevedere un foro di diametro $11,5\text{mm}$ in cui si andrà ad innestare il raccordo filettato del tubo trecciato che trasporta olio motore; quest'ultimo fluirà attraverso un foro di diametro più piccolo (5mm) il quale permetterà al fluido di entrare

nella testata con la velocità desiderata lubrificandola completamente.

Da notare la presenza di un incavo attorno al foro che permetterà, durante l'assemblaggio, di ospitare un o-ring impiegato per evitare eventuali trafilamenti di olio.

Inoltre, è prevista la realizzazione di un'apposita sede per il paraolio sul coperchio distribuzione che in parte sarà collegato alla testata ed in parte al supporto tramite i due fori laterali filettati.

Successivamente si prenderà in esame l'elaborazione del sistema di supporto della trasmissione.

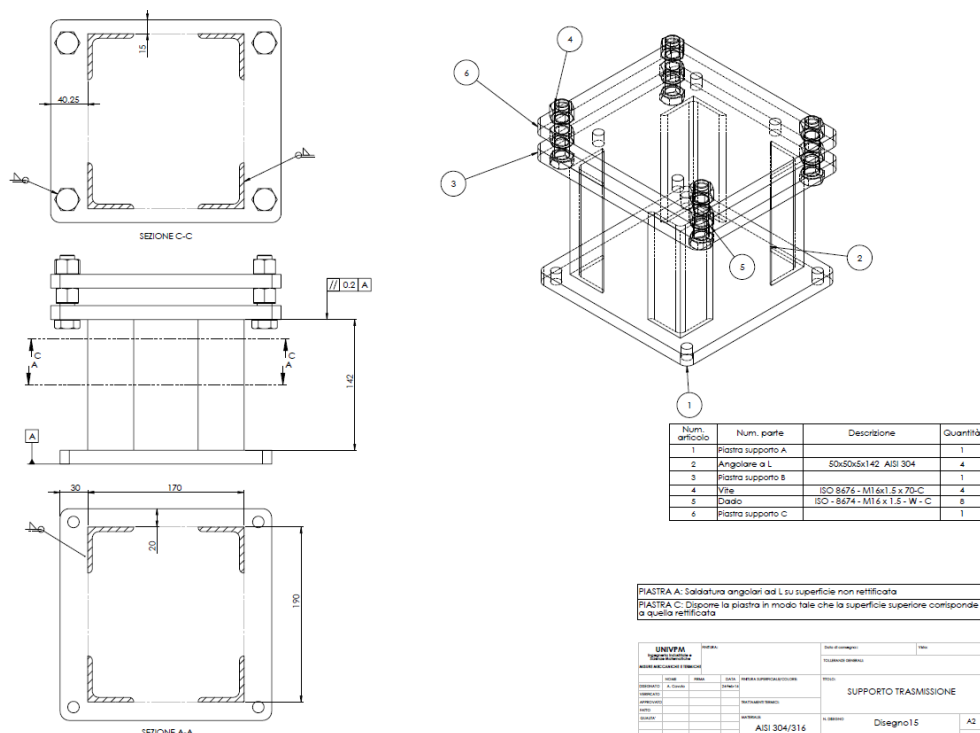


Figura 5: tavola castello supporto trasmissione

È stata prevista una piastra in acciaio di base spessa 15mm (vedi sezione A-A), avente quattro fori ($\phi=12,5mm$) necessari per il collegamento con la piastra in alluminio sottostante, in cui andranno saldati quattro angolari ad L di altezza 142mm; all'estremità libera di questi ultimi, sempre tramite saldatura, si posizionerà una seconda piastra anch'essa dotata di quattro fori

($\phi=17mm$) necessari per accoppiare un'ultima piastra tramite viti M16x70 e i rispettivi dadi.

Notare che tra le due piastre, di spessore $15mm$, sono stati predisposti altri quattro dadi per consentire una regolazione in altezza della superficie superiore, facendo in modo che quest'ultima sia perfettamente parallela a quella della piastra in alluminio: conoscendo la distanza verticale a cui si trova l'asse dell'albero a cammes, con testata posta sul relativo supporto, rispetto alla piastra superfinita, è stato possibile determinare i valori delle altezze e degli spessori sopra riportati; a questo punto giocando sulla regolazione dello spazio presente tra le piastre in acciaio sarà possibile determinare l'altezza ottimale che garantisce il perfetto allineamento verticale tra l'albero a cammes e quello di trasmissione. L'installazione di quest'ultimo sul relativo supporto sarà resa possibile dalla presenza dei quattro fori interni, di diametro $12,5mm$, che permetteranno una giunzione meccanica con i due supporti ritti ad omega.

Al fine di rendere la trattazione il più chiara possibile verrà di seguito riportato un esploso del sistema di sostegno di cui ora si è parlato.

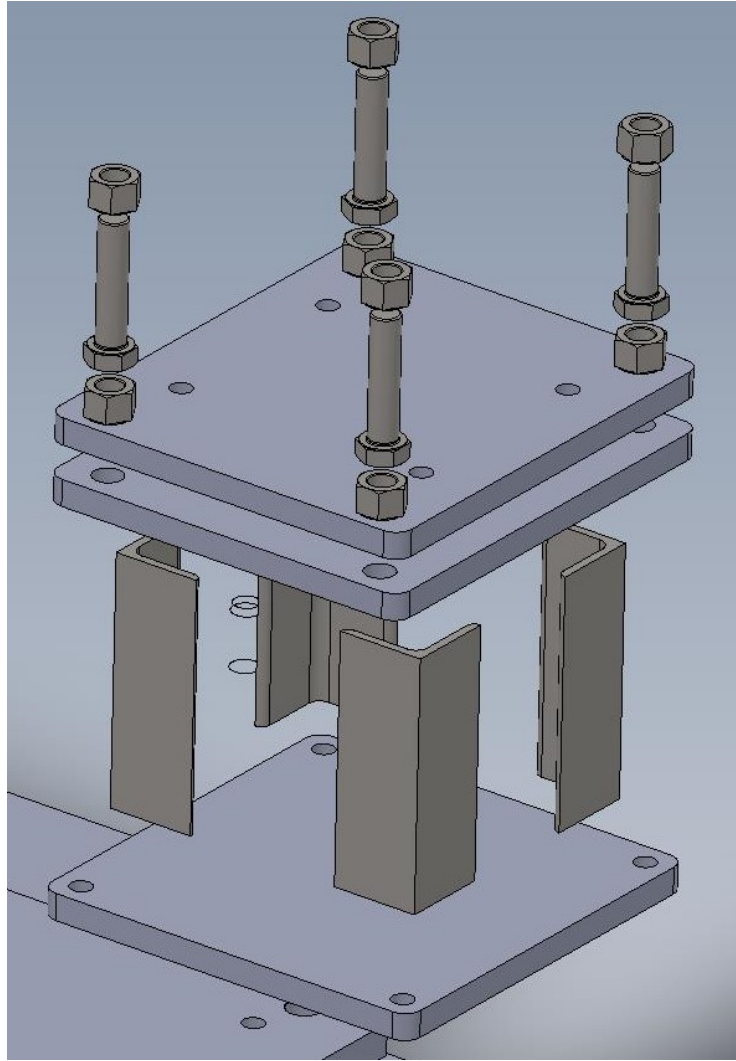


Figura 6: esploso castello trasmissione

Come accennato in precedenza la piastra rettificata in alluminio, dovendo ospitare i supporti sopra descritti, ha delle dimensioni in lunghezza maggiori rispetto al piano in acciaio sottostante; oltre a ciò essa dovrà essere posizionata nel piano stesso in maniera tale da garantire il corretto allineamento tra la puleggia del motore elettrico e quella dell'albero di trasmissione. Ciò comporta che parte della piastra (130mm) sporga rispetto al piano, quindi occorre progettare un componente per assicurare una buona condizione di stabilità del banco prava. È stato ipotizzato quindi l'impiego di un'ulteriore piastra ($370\times 100\times 10\text{mm}$), sempre in acciaio, dotata di

due barre M16x75 saldate lungo il perimetro sulla superficie inferiore.

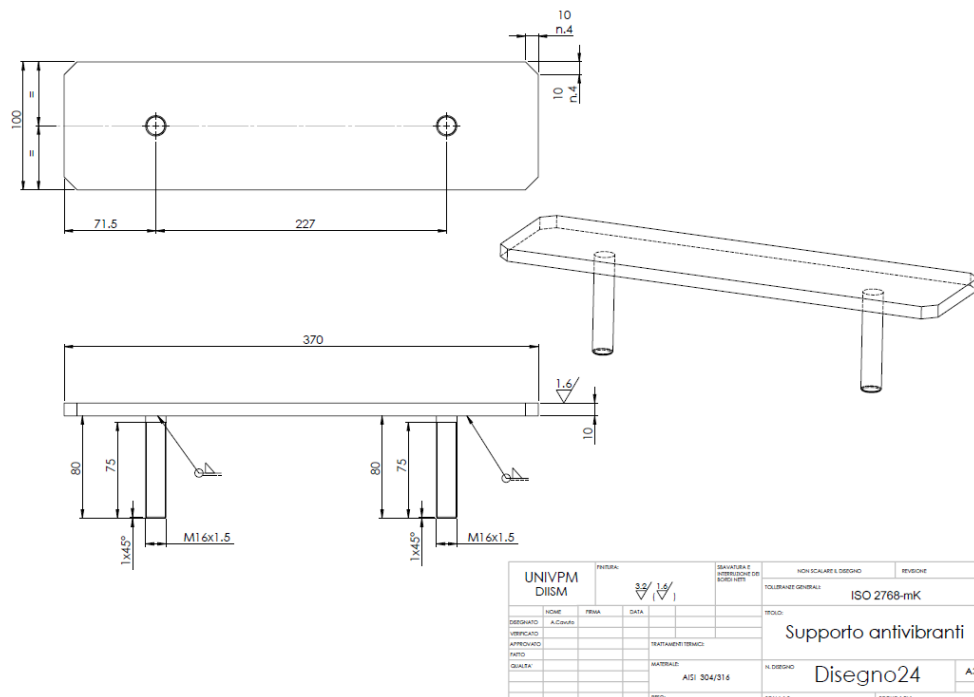


Figura 7: tavola supporti antivibranti

Le barre si andranno a collocare entro gli appositi fori, ricavati sulla piastra in acciaio descritta al punto 2, con l'impiego di quattro dadi per rendere possibile una regolazione in altezza.

Per evitare di trasmettere i fenomeni vibratorii, causati dal moto del rotore del motore elettrico, è stato necessario collocare sulla faccia superiore della piastra due silent block; essi presentano un foro filettato centrale che permetterà l'accoppiamento tramite bulloni con l'estremità libera della piastra in alluminio sovrastante. Successivamente verrà riportato un elaborato che rappresenta la messa in opera di tutti i componenti finora descritti.

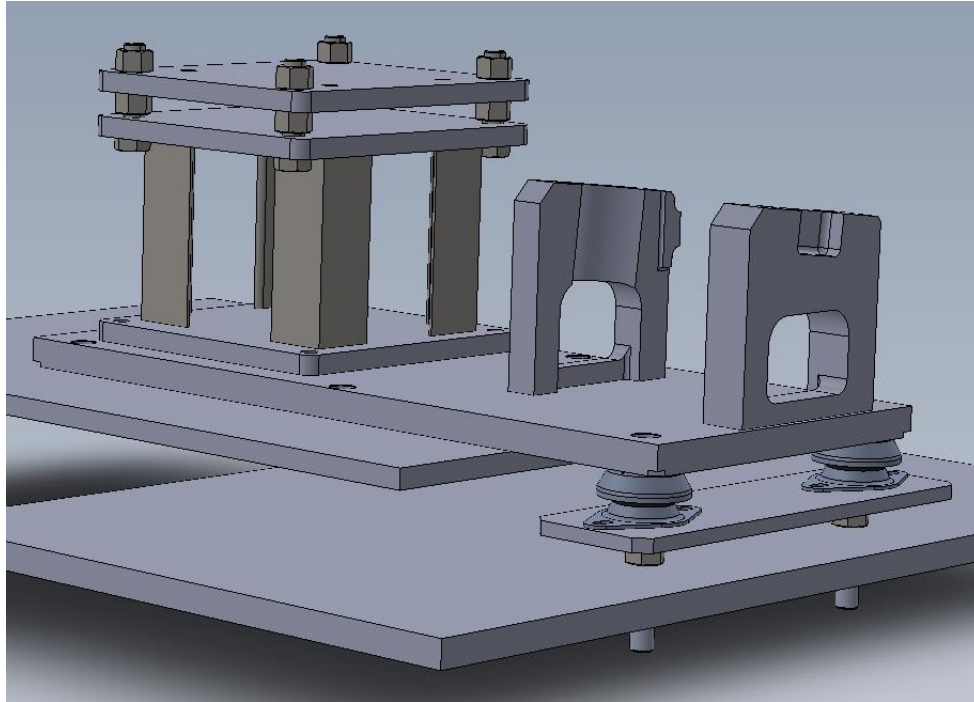


Figura 8: esploso completo di castello, supporto antivibrante, supporti testata e piano rettificato in alluminio

Il passo successivo è stato quello di progettare la componentistica necessaria per trasferire il moto dal motore elettrico all'asse a cammes di scarico. Si è impiegato un albero di trasmissione in acciaio da bonifica alle cui estremità verranno calettate tramite linguette UNI 6604 una puleggia e un giunto ad alta velocità, i quali verranno trattati più accuratamente nel seguito.

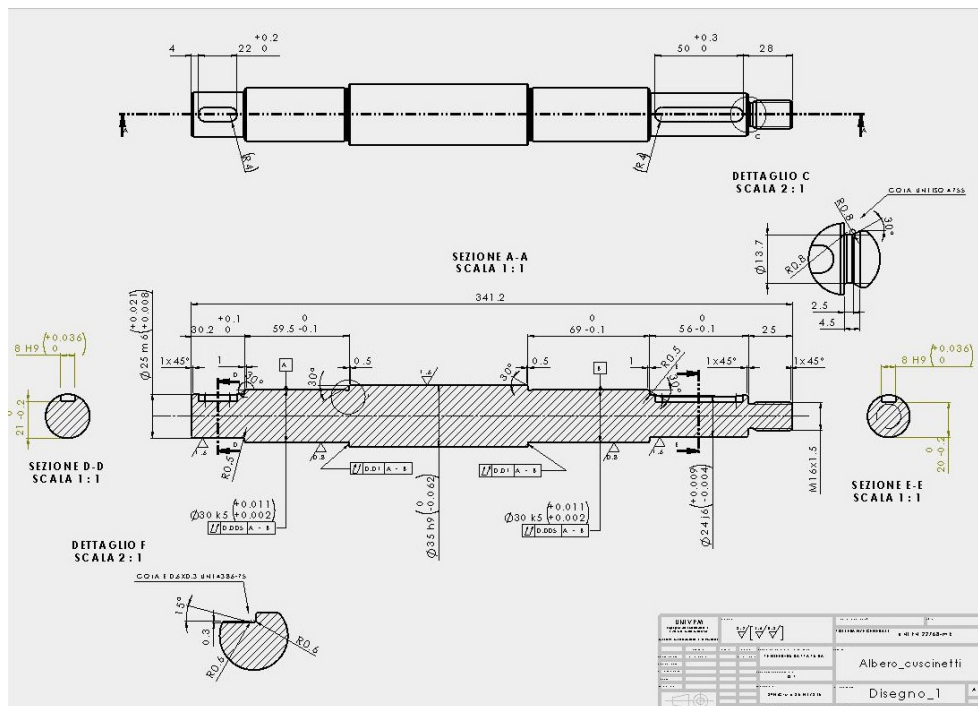


Figura 9: albero di trasmissione

La parte cilindrica con filettatura M16x1,5 e la relativa gola, dettaglio C in figura, andranno ad ospitare una rosetta ISO 7094 - 16 e un dado necessari per un bloccaggio assiale della puleggia.

Si possono notare le cave in cui andranno inserite le linguette oltre alle gole (vedi dettaglio F) per il posizionamento dei cuscinetti a sfera. Ciascuno di essi sarà compreso tra due labirinti che evitano la fuoriuscita di grasso, grazie anche all'impiego di un tubo gommato e un distanziale, e permettono l'alloggiamento dei supporti ritti ad omega SKF SNL 206-305. I distanziali fungono quindi da battuta per i labirinti posti nel tratto di albero a diametro inferiore e consentono anche di garantire, insieme agli anelli che andranno posizionati nelle apposite sedi dei supporti ad omega, il centraggio ed evitano lo scorrimento assiale dei cuscinetti entro i supporti stessi. L'impiego della puleggia è stato pensato per trasmettere il moto rotativo del motore elettrico all'asse a cammes tramite l'impiego di una cinghia trapezoidale Isoran 607 H 700.

Per la realizzazione di tale componente si è innanzitutto verificato che gli *rpm* del motore elettrico, impostati da telecomando, corrispondessero con quelli effettivi della puleggia motrice grazie all'impiego di un misuratore di giri ottico. Quindi è stato valutato il numero di denti della puleggia sopra descritta ($Z_1=83$); si è preferito utilizzare un rapporto di trasmissione T circa pari 1:4, per assicurarsi che il voltaggio con cui è alimentato il motore garantisca il raggiungimento del numero di giri massimo dell'asse a cammes (38000 *rpm* circa). Sapendo che $T = Z_2 / Z_1$ è facilmente ricavabile in numero di denti che deve avere la puleggia condotta, invertendo la formula si ottiene infatti $Z_2 = 20,75$ che sarà approssimato a 20. Questa approssimazione, come si vedrà, modifica il rapporto di trasmissione teorico ad un valore di 1:4,15.

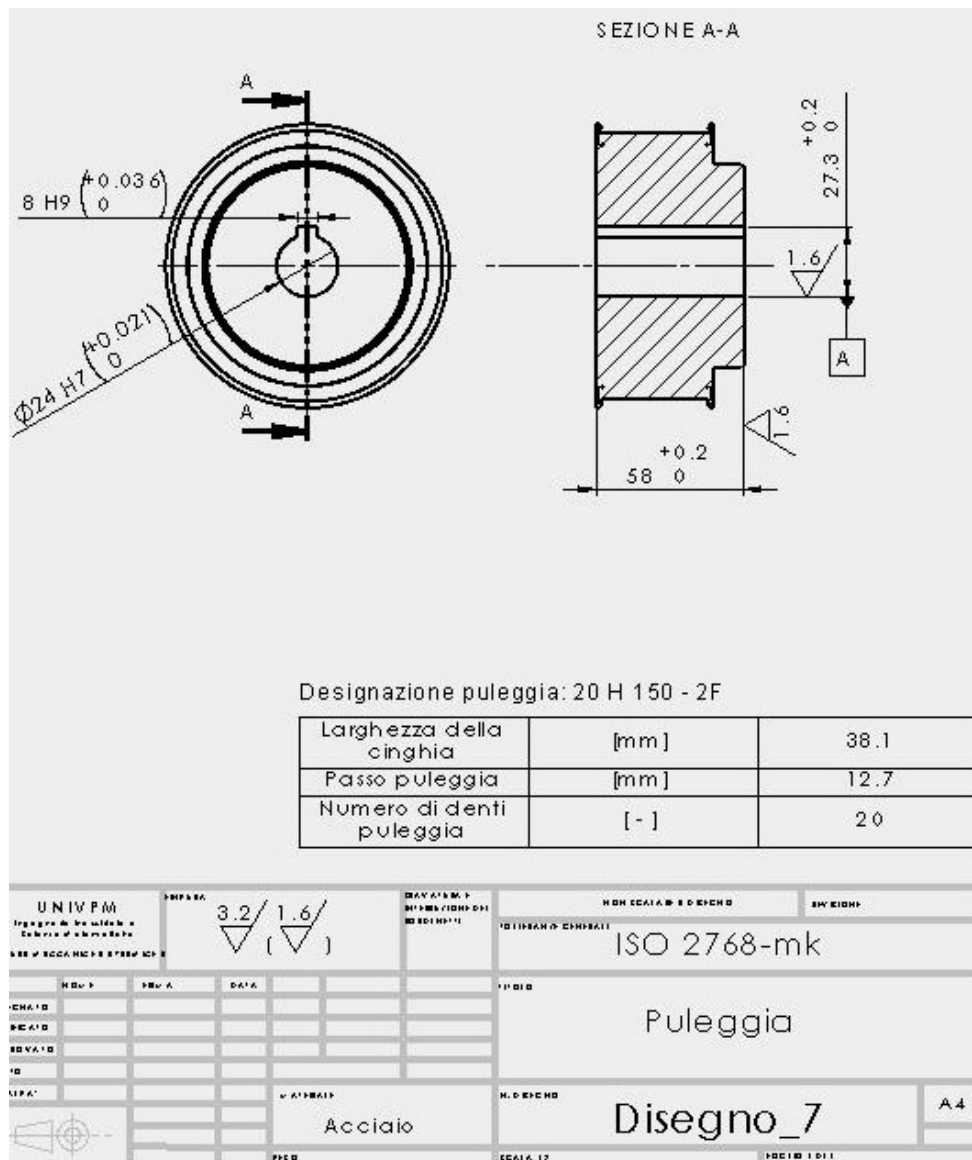


Figura 10: tavola puleggia di trasmissione, lato trasmissione

Come si può notare la puleggia 20 H 150-2F, che sarà realizzata in acciaio, presenta un foro centrale con una cava per essere calettata tramite linguetta nell'albero di trasmissione; essa ovviamente dovrà avere lo stesso passo e la stessa altezza dei denti di quella motrice affinché entrambe siano accoppiate dalla stessa cinghia. Verrà di seguito riportato un disegno meccanico in cui si può notare la messa in opera degli elementi sopra descritti atti a realizzare la trasmissione.

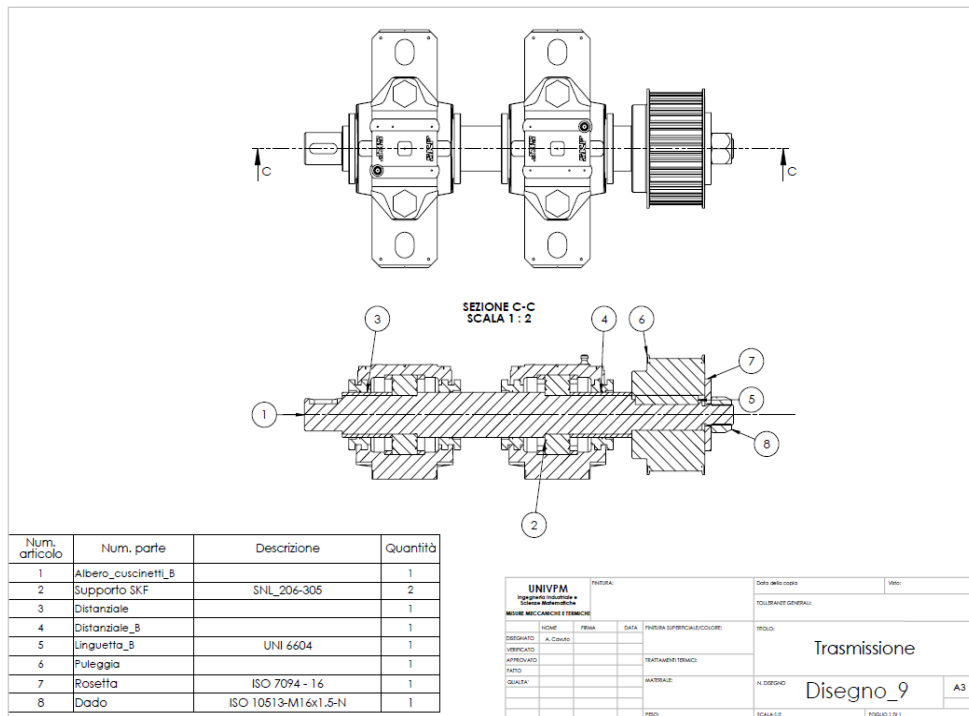


Figura 11: tavola completa della trasmissione (albero, supporti a omega, cuscinetti, distanziali, linguetta, rosetta, dado)

All'estremità libera dell'albero di trasmissione sarà posizionata, sempre tramite linguetta, una metà del giunto elastico ad alta velocità scelto in modo da sopportare le coppie trasmesse ai regimi di rotazione più elevati. A questo punto è stato possibile prendere in esame la parte progettuale riguardante la testata.

Per completare la trasmissione del moto è stato pensato l'impiego di un albero in acciaio con trattamento di superfinitura in cui verrà posta l'altra metà del giunto ad alta velocità. Ovviamente la lunghezza di quest'ultimo, e quella dell'albero di trasmissione, sono tali da far sì che le due parti del giunto elastico siano perfettamente accoppiate.

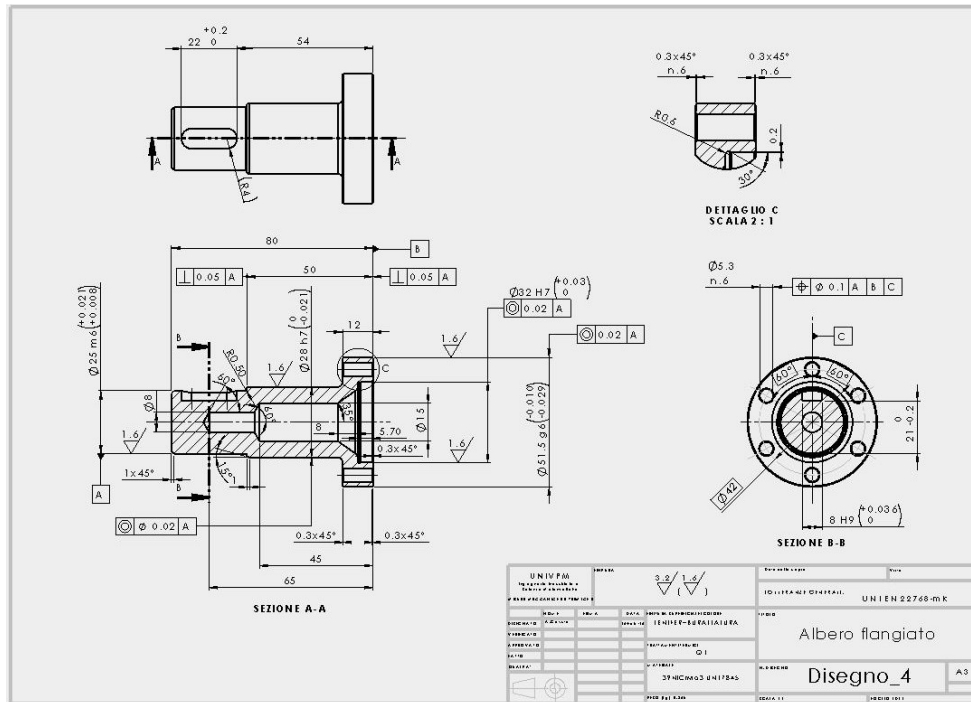


Figura 12: tavola albero flangiato

Come si può osservare dall'illustrazione anche in questo caso il giunto sarà calettato sull'albero tramite linguetta. Oltre a ciò è possibile notare lo scavo interno realizzato sia per alleggerire l'albero stesso, riducendo così la massa in rotazione, sia per ospitare un dado ed una boccola, che si andranno ad avvitare sulla filettatura dell'asse a cammes per bloccare possibili scorrimenti assiali della ruota dentata alla quale l'albero sarà collegato.

Il secondo step è stato quello di progettare una nuova ruota dentata, relativa all'asse a cammes di scarico, che sostituisca quella originale fornita da DMH. Essa è infatti dotata, come è evidente dalla figura sottostante, di sei fori M5 che corrispondono esattamente con quelli presenti nella flangia dell'albero superfinito, permettendo così di realizzare un accoppiamento tramite bulloni.

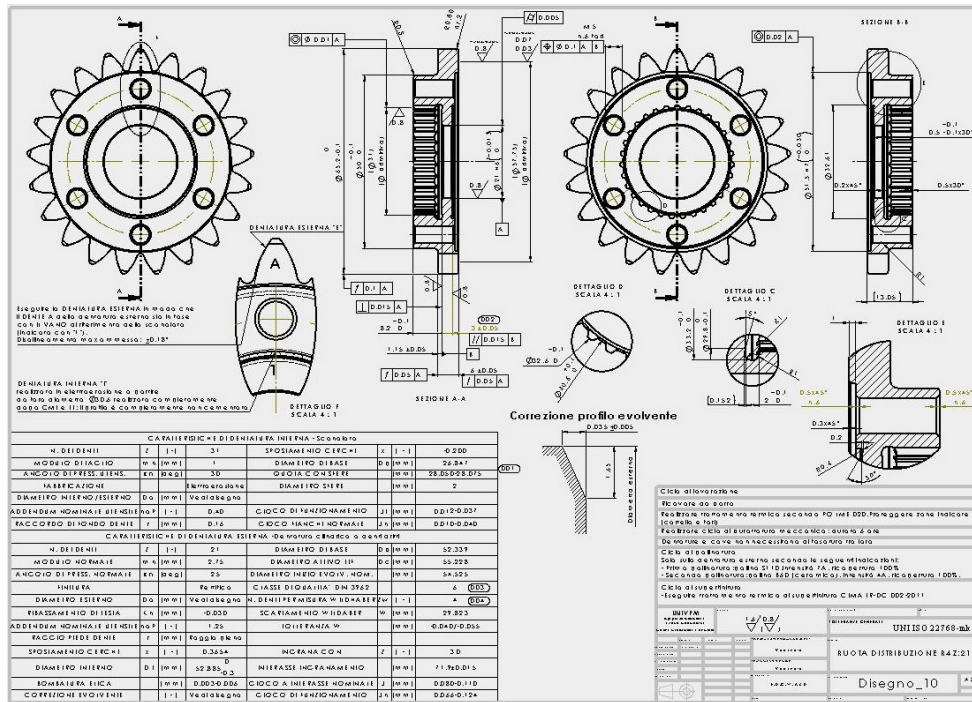
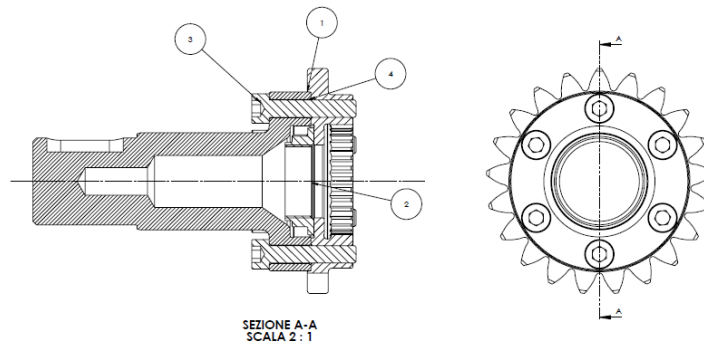


Figura 13: tavola ruota distribuzione

Tale ruota è caratterizzata da una dentatura e un millerighe aventi le stesse caratteristiche (altezza e spessore del dente, diametro della circonferenza primitiva e larghezza) di quella che si andrà a sostituire. Il millerighe interno permette la calettatura della ruota dentata stessa nell'asse a cammes, mentre quella esterna viene impiegata per ingranare con una ruota movimentata direttamente dall'albero motore. Durante la progettazione occorre prestare particolare attenzione alla numerazione dei denti: il dente A della ruota deve corrispondere al dente 1 del millerighe.

Di seguito verrà riportato un disegno tecnico atto ad evidenziare il collegamento tra l'albero flangiato e l'ingranaggio che muove l'asse a cammes, con i vari componenti utilizzati e precedentemente descritti.

L'elaborato 3D mostra invece la messa in opera dell'intera trasmissione.



SEZIONE A-A
SCALA 2 : 1

Num. articolo	Num. parte	Descrizione	Quantità
1	Ruota dentata forata		1
2	Boccola filettata		1
3	Vite	ISO 4762 M5 x 25 -- 25C	6
4	Albero flangiato		1

UNIVPM		NOME		CATEGORIA	
UNIVERSITA' POLITECNICA MARCHE		Cognome		Matricola	
ESERCIZIO	ESERCIZIO	ESERCIZIO	ESERCIZIO	ESERCIZIO	ESERCIZIO
				Asieme_1	
				Disegno 11	
				A2	

Figura 14: tavola assieme ruota distribuzione e albero flangiato

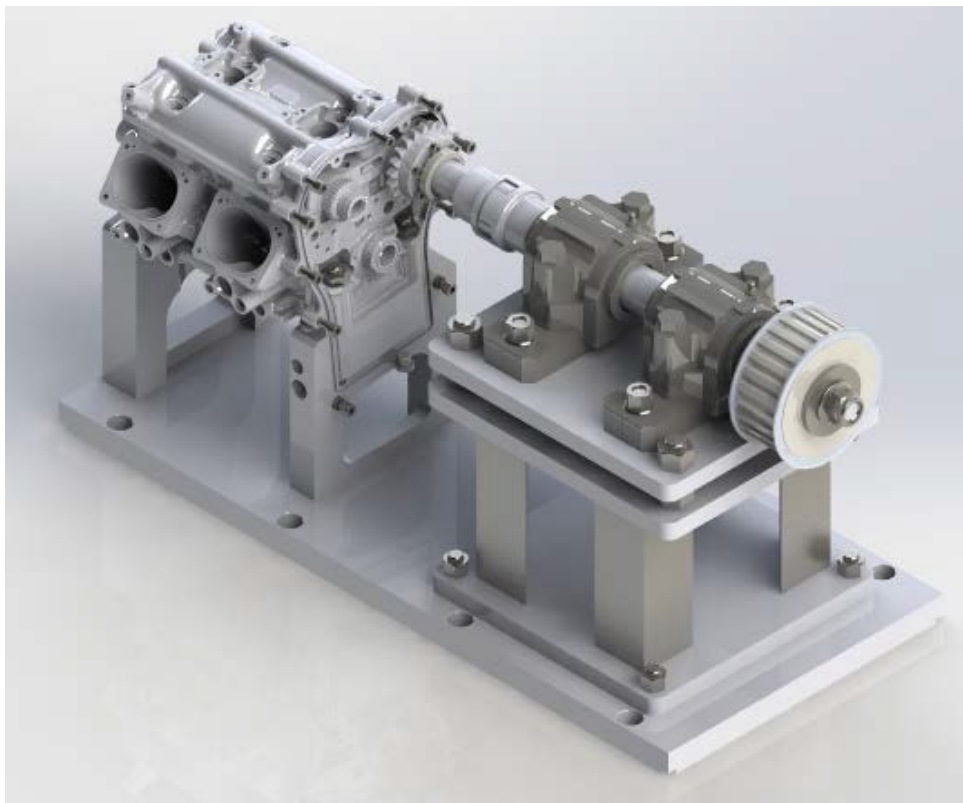


Figura 15: rendering testata e trasmissione

La testata è stata fornita da DMH senza il coperchio di distribuzione, per questo motivo la fase progettuale si è spostata sull'elaborazione di tale pezzo.

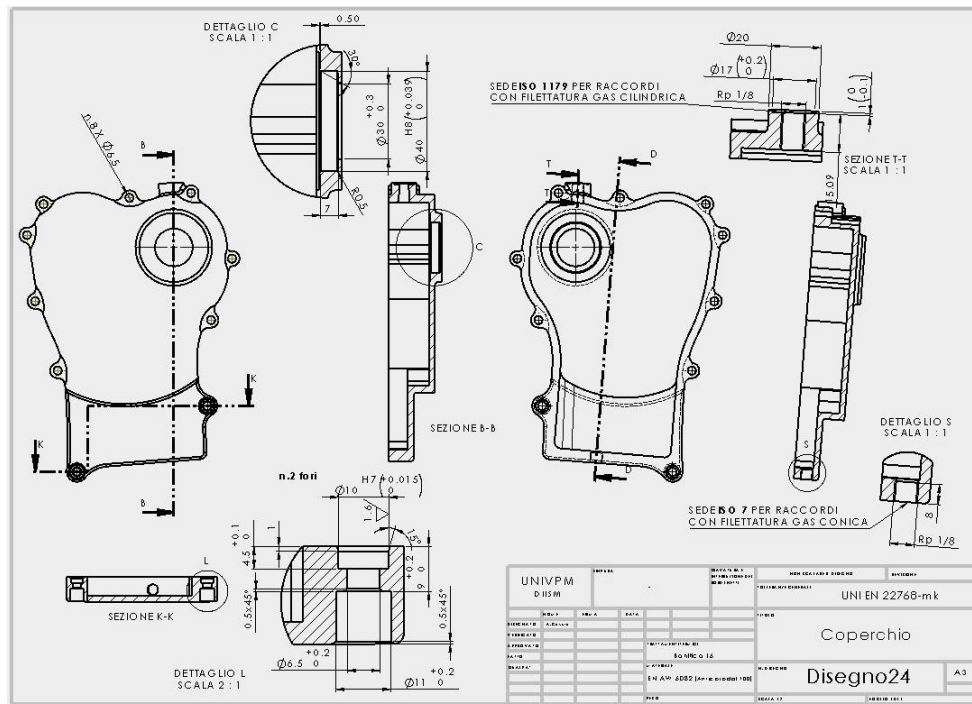


Figura 16: tavola coperchio di distribuzione

Questo è stato pensato in alluminio e munito di otto fori ($\phi=6,5\text{mm}$) perimetrali in cui andranno ad impiegarsi delle viti per serrare il coperchio sulla testata; mentre i due fori evidenziati nella sezione K-K, provvisti anche di una sede per l'impiego di un o-ring, sono funzionali al collegamento meccanico con il supporto della testata. Il foro di diametro 30mm visibile nella sezione B-B, dettaglio C, serve ad accogliere l'albero flangiato, la tenuta in questo caso è realizzata da un paraolio, come spiegato in precedenza, che andrà inserito nell'allargamento di sezione. I due fori Rp 1/8 (individuati nella sezione T-T e nel dettaglio S), in cui si andranno ad avvitare rispettivamente un iniettore ed il raccordo del tubo trecciato, permetteranno la lubrificazione degli ingranaggi di distribuzione: l'olio motore proveniente del circuito termoregolatore giunge attraverso un tubo aeronautico, fissato all'estremità libera dell'iniettore, nell'iniettore stesso; da qui l'olio per gravità scende attraverso gli ingranaggi raccogliendosi nella parte inferiore del coperchio dalla quale gradualmente sarà espulso.

L'iniettore è progettato in modo che il foro interno di $3,5\text{mm}$ acceleri il fluido lubrificante nebulizzandolo e permetta un parziale riempimento del coperchio di distribuzione.

Qualora non si verifichi tale condizione con la sola presenza dell'iniettore, è stata prevista una valvola di regolazione che consente di controllare la portata: quella in ingresso al coperchio di distribuzione dovrà logicamente essere maggiore di quella in uscita poiché solo in questo modo

si riuscirà a raggiungere un livello di olio motore ottimale per la lubrificazione degli ingranaggi.

A questo punto si è pensato ad un sistema efficace che permetta il raccoglimento e l'espulsione del lubrificante dalla testata. È stato quindi studiato il modello di una coppetta dell'olio in lega di alluminio.

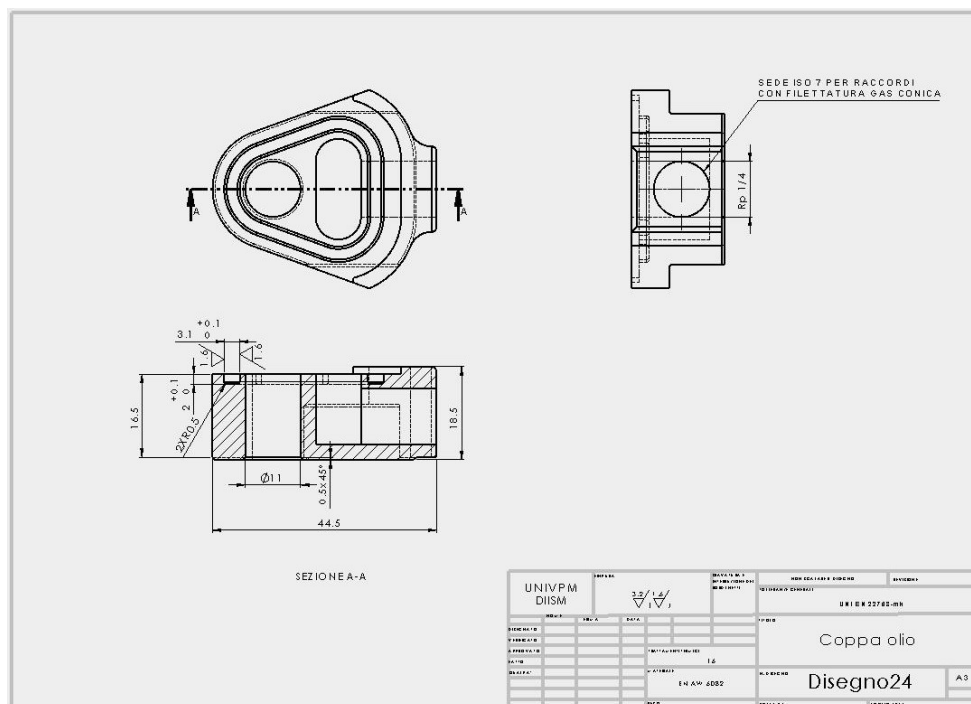


Figura 17: tavola coppa olio

Il foro di diametro 11mm permetterà il collegamento bullonato con il piano della testata; questa presenta quindi un foro delle medesime dimensioni originariamente utilizzato per fissare la

testata sul relativo motore. L'olio motore proveniente dalla testata scenderà per gravità verso la coppetta, fluirà attraverso lo scavo realizzato e verrà espulso dal foro Rp 1/4 in cui si innesterà un raccordo filettato del tubo aeronautico.

Gli eventuali trafileamenti che si possono verificare tra le due superfici a contatto sono evitati con l'impiego di un'o-ring che verrà inserito nell'apposita sede.

2.2 Progettazione supporti per teste laser

Conclusa la progettazione dei componenti che, una volta realizzati ed assemblati, andranno a costituire il banco prova, si è posta l'attenzione sull'ideazione di un sistema di supporto per la strumentazione di misura. In particolare, è stato previsto l'impiego di due parallelepipedi che presentano un foro centrale, passante e non filettato ($\phi=10mm$), per permettere l'alloggiamento delle teste laser cilindriche del vibrometro differenziale. Questi blocchi di sostegno potranno scorrere all'interno di un telaio appositamente progettato per poter ottenere un corretto posizionamento degli spot dei fasci laser sul piano della testata.

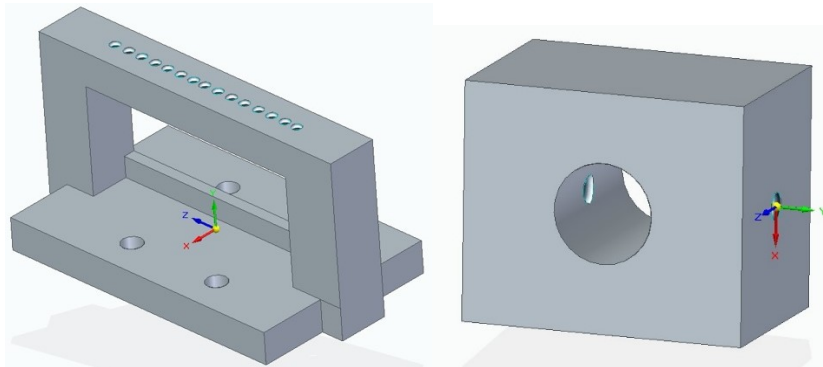


Figura 18: supporto in ABS per teste laser

Entrambi gli oggetti sopra descritti saranno realizzati in ABS grazie all'utilizzo di una stampante 3D messa a disposizione dal DIISM.

I quattro fori alla base del telaio permetteranno il collegamento tramite bulloni con una slitta che, come si vedrà, scorrendo su di una guida consente una regolazione di intensità del segnale e profondità di campo. I vari forellini filettati, predisposti sulla trave del telaio in ABS, sono ideati per poter fissare tramite dei grani a testa piatta i supporti delle teste laser una volta determinata la giusta collocazione. Per concludere, i supporti sopra descritti sono dotati di due fori filettati laterali che si affacciano su quello praticato nel centro; in questi ultimi saranno impiegati un pari numero di grani per bloccare definitivamente le teste dei laser all'interno dell'apposita sede.

3 Setup sperimentale

3.1 Preparazione testata

La testata, fornita da DMH, è quella del propulsore V4 a 90° montato sulla della Desmosedici GP 14; questa è arrivata completamente allestita.

In primis è stato eseguito il disassemblaggio della testata. Sono state rimosse le dieci viti del coperchio di testata (8 viti M7X1 coppia di serraggio 16 Nm, 2 viti M6X1 coppia di serraggio 11Nm), il quale è stato estratto forzandolo leggermente, facendo attenzione a non rovinare l'o-ring e l'ugello, che permette il passaggio dell'olio nel circuito del coperchio.



Figura 19: particolare ugello olio con o-ring del cappello cammes

Successivamente sono state svitate le quattro viti del cappello (4 viti M7X1 coppia di serraggio 16 Nm) degli assi a cammes che è stato estratto facendo leva con due cacciaviti a taglio nelle apposite sedi.



Figura 20: particolari sedi estrazioni cappello

A questo punto sono state rimosse le cammes.



Figura 21: asse a cammes

È molto importante che queste operazioni vengano svolte in un ambiente pulito onde evitare l'inquinamento della testata; ovviamente tutti gli organi rimossi devono essere conservati su una superficie morbida e priva di polvere.

Con l'ausilio di una morsa provvista di ganasce in alluminio, è stato afferrato l'asse a cammes di scarico direttamente sui lobi, facendo attenzione a non esercitare un'eccessiva pressione. L'utilizzo delle ganasce in alluminio è necessario per non intaccare il profilo delle cammes. Svitato il dado, è stato sfilato l'ingranaggio della distribuzione e sostituito con quello progettato appositamente; la ruota dentata è sezionata con 31 indicatori ad ognuno dei quali corrisponde un dente del millerighe presente sull'asse a cammes. È importantissimo, onde non perdere la fasatura, posizionare l'indicatore numero "1" sull'apposito riferimento posto sull'asse a cammes. Il dado (M21X1 coppia di serraggio 100 Nm) deve essere

necessariamente sostituito con uno nuovo e nell'operazione di serraggio ricordarsi di utilizzare esclusivamente il grasso ROCOL (fornito da DMH) e di intaccare il dado in corrispondenza delle due sedi ricavate sulla filettatura dell'asse a cammes. Il grasso è utilizzato in quanto evita un possibile grippaggio, avendo viti in titanio accoppiate con una madre vite in alluminio. L'intacco, invece, serve ad evitare lo svitamento del dado.

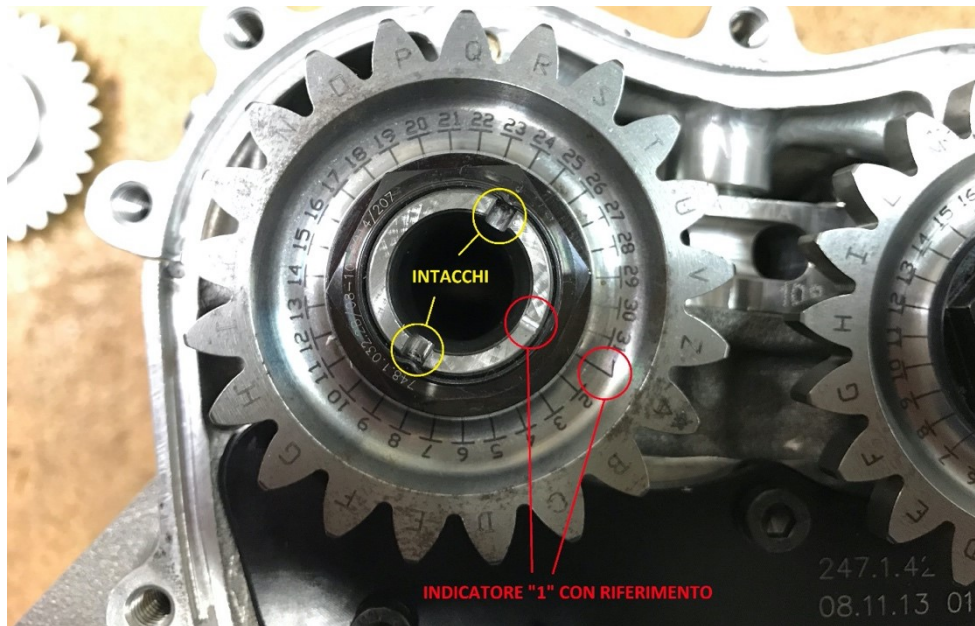


Figura 22: particolari degli intacchi antisvitamento e degli indicatori numerati della ruota dentata

Senza rimuovere l'asse a cammes dalla morsa, è stato montato sull'ingranaggio di distribuzione l'albero superfinito, che deve supportare il giunto ad alta velocità, tramite sei viti (M5x0.75, 8.8, coppia di serraggio 5Nm).



Figura 23: ruota dentata riprogettata con calettato l'albero superfinito e nitrurato di trasmissione

Dopo aver accuratamente pulito tutti i componenti smontati e l'interno della testata, sono stati reinserti gli assi a cammes; questi devono entrare negli alloggiamenti con facilità, controllando che i bilancieri del Desmodromico siano correttamente in posizione.



Figura 24: posizionamento corretto dei bilancieri del Desmodromico

Durante questa operazione bisogna assicurarsi di mettere correttamente in fase la distribuzione: le ruote dentate delle cammes sono dotate di denti appositamente identificati da lettere. La fasatura richiesta è quella nella quale entrambi i denti con lettera “A” degli ingranaggi degli assi a cammes sono contemporaneamente in presa sulla ruota centrale.



Figura 25: posizionamento corretto della cascata di ingranaggi della distribuzione

Successivamente è stato riposizionato il cappello, sempre dopo aver cosperso le viti con ROCOL.

Infine, posizionato l'o-ring, è stato chiuso il coperchio di testa; in questa fase solamente le otto viti M7X1 vengono impiegate con grasso ROCOL.

3.2 Circuito termoregolatore

Il circuito termoregolatore (successivamente CT) è stato fornito da DMH ed è costituito dai seguenti elementi:

- serbatoio per olio diatermico compreso di resistenza;
- due pompe autoadescanti per olio diatermico (CALPEDA NM 1/AE-R) ed olio motore (CALPEDA T 100E);
- due scambiatori in controcorrente;
- tre elettrovalvole;
- due PID di controllo temperatura per entrambi gli oli (OMRON E5CN per olio diatermico; OMRON E5EK per olio motore).

L'olio diatermico viene preriscaldato dalla resistenza presente nel serbatoio per poi essere pompato all'interno del primo scambiatore; qui il diatermico cede calore per conduzione e convezione all'olio motore. Quest'ultimo successivamente entra nell'altro scambiatore, dove viene raffreddato dall'acqua, per poi uscire dal circuito termoregolatore.

Le due pompe autoadescanti fungono da propulsori per i due oli.

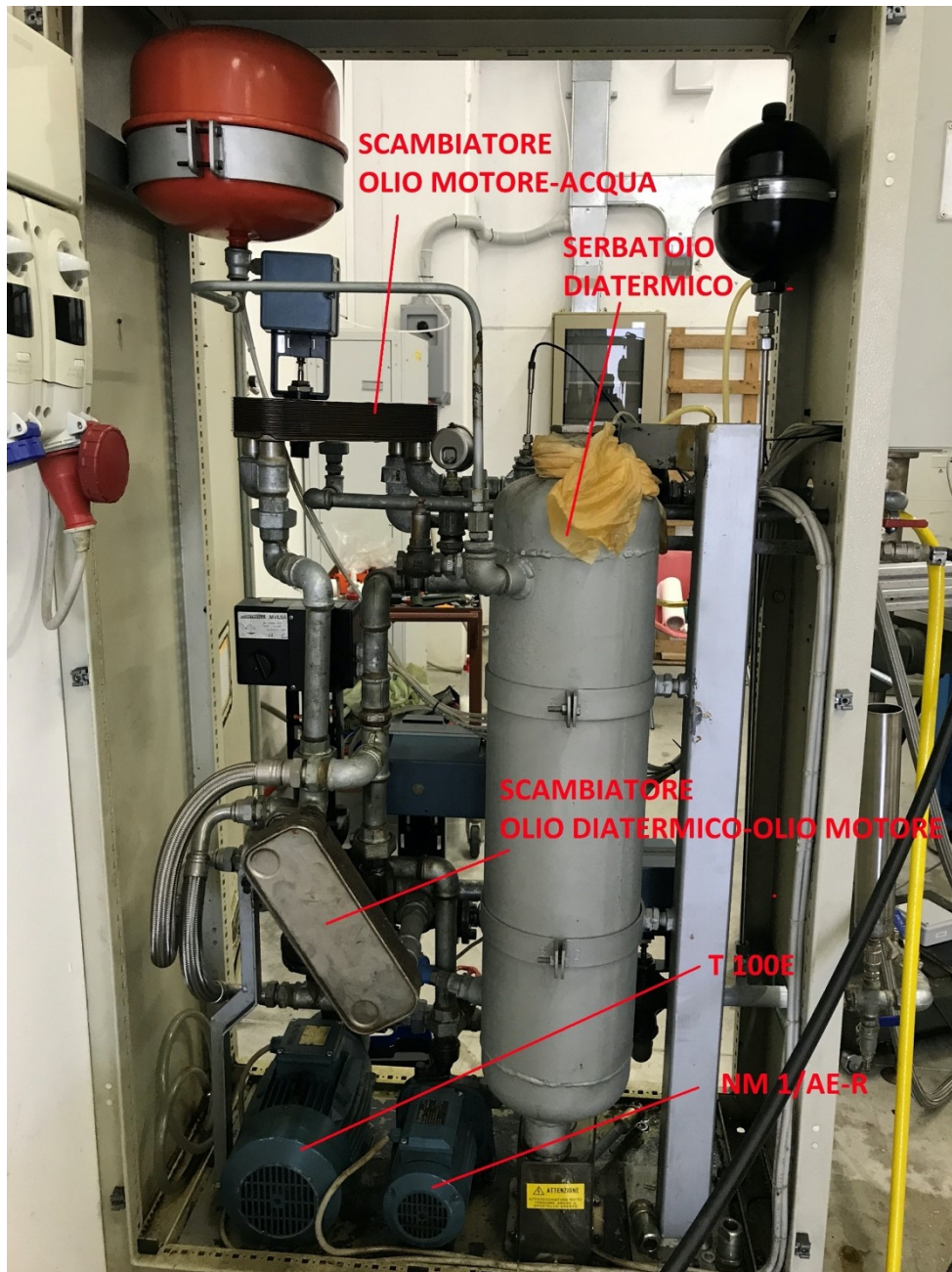


Figura 26: circuito termoregolatore

I due PID controllano le tre elettrovalvole che garantiscono il mantenimento della temperatura dell'olio motore ai valori desiderati.



Figura 27: pid di controllo temperatura

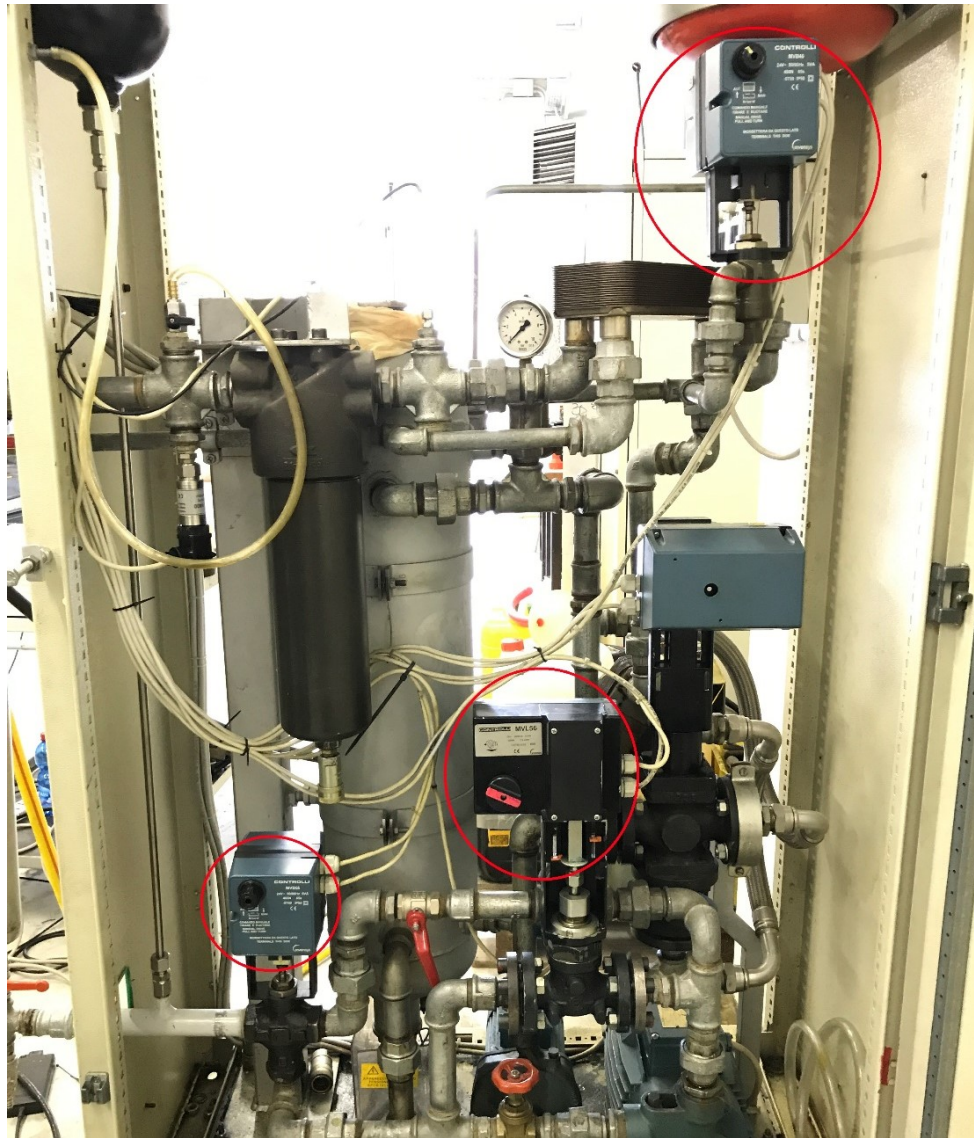


Figura 28: elettrovalvole di controllo

I collegamenti tra CT e testata non sono stati previsti da DMH. Inizialmente si è pensato di predisporre un circuito chiuso che collegasse il CT alla testata: dalla mandata del CT, tramite un tubo trecciato, si giunge ad una valvola di intercettazione.

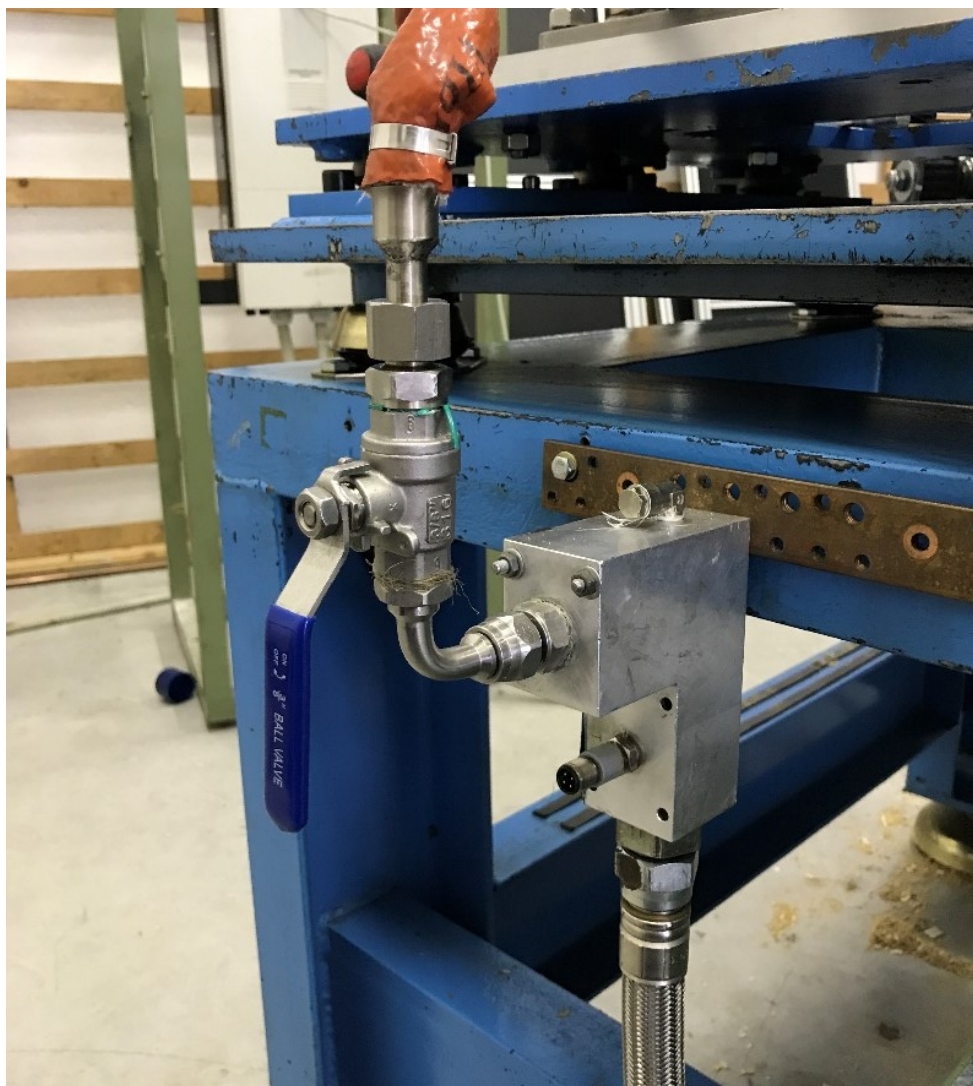


Figura 29: valvola di intercettazione a valle del circuito termoregolatore

Da qui, sempre tramite tubi aeronautici, si sdoppia il flusso d'olio motore con un raccordo a "T": uno fluisce direttamente in ingresso testata, l'altro, invece, nel coperchio di distribuzione in corrispondenza del getto, dopo che il fluido è transitato in una valvola di regolazione di portata.

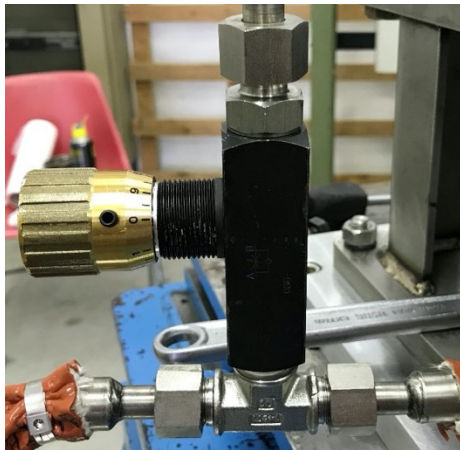


Figura 30: valvola regolazione portata



Figura 31: getto di regolazione portata

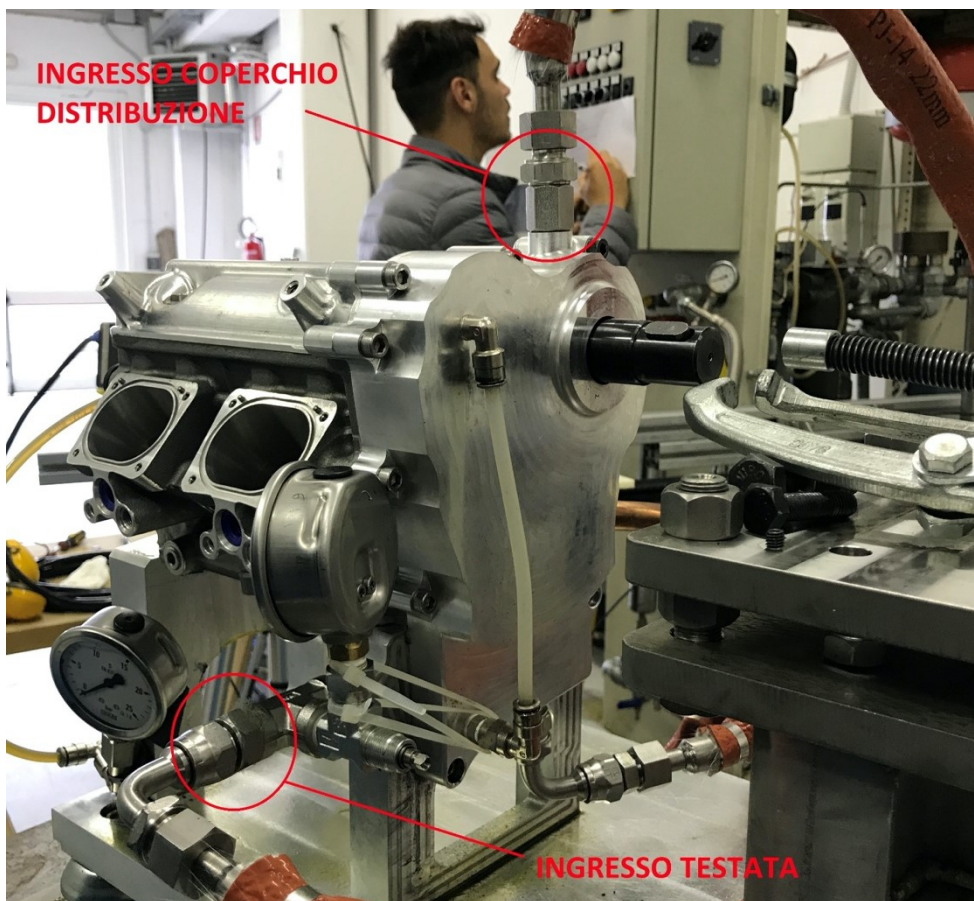


Figura 32: particolari di ingresso olio in testata e nel coperchio

Il primo viene utilizzato per lubrificare le cammes e i bilancieri e deve avere una pressione in ingresso testa di 6.5 bar, controllata tramite un manometro e gestita tramite una regolazione in portata con una valvola all'interno del CT; il secondo, invece, è stato pensato per garantire la lubrificazione della distribuzione a ruote dentate.



Figura 33: valvola di regolazione portata del circuito termoregolatore

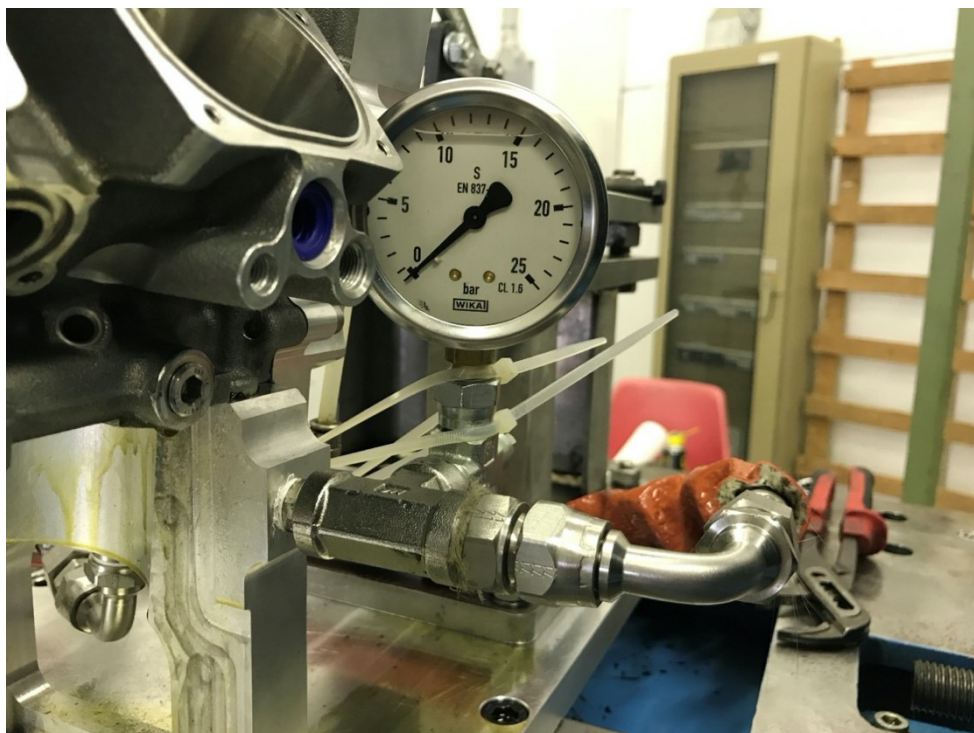


Figura 34: manometro con glicerina per controllo pressione

L'olio viene fatto defluire tramite due tubi: uno posizionato sotto i due appositi canali di scolo della testata, dove viene raccolto l'olio tramite la coppetta che ha il compito di raccordare il fluido in un'unica uscita; l'altro predisposto nella parte inferiore del coperchio di distribuzione.

Entrambi i tubi si uniscono tramite raccordo a "T" ad un'altra valvola di intercettazione dalla quale l'olio viene reimpresso nel CT tramite un altro tubo aeronautico che è stato provvisto di un imbuto in acciaio, pensato per reintegrare olio motore nel circuito.



Figura 35: sistema di ingresso e uscita olio dal CT, con valvole e imbuto di rabbocco olio



Figura 36: ingresso e uscita olio dal coperchio distribuzione, uscita olio testata e snodo a T

Questa configurazione, dopo vari test, è stata scartata: l'olio, non riuscendo a defluire in maniera corretta, provocava l'allagamento della testata e la pressione di 6.5 bar non è garantita, in quanto è presente olio emulsionato.

Per risolvere questi problemi, si è giunti alla configurazione finale: in uscita è stato rimosso il raccordo a "T", è stato sostituito il tubo di uscita dalla testata con un altro di diametro maggiorato ed installato un serbatoio aperto che permette la rimozione dell'aria dall'olio e nel quale le due tubazioni di uscita testa scaricano separatamente.

Il tubo trecciato di ingresso al CT viene spostato sotto il vaso aperto. L'imbuto di reintegro è stato escluso potendo caricare olio motore direttamente dal vaso aperto.

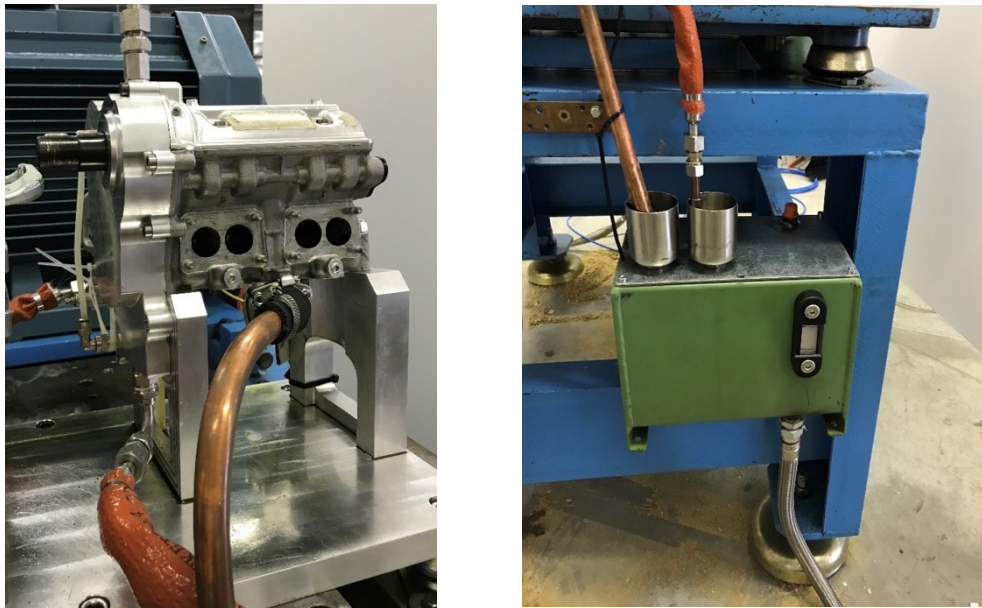


Figura 37: a sinistra particolare del tubo di scarico maggiorato in uscita dalla testata, a destra il vaso aperto di recupero olio con scarico separato

3.3 Allestimento banco prova

Terminata la preparazione della testata, si tratterà l'assemblaggio di tutti i componenti del banco prova.

La prima operazione da compiere è fissare i supporti in alluminio della testata ed il castello necessario a sostenere la trasmissione sulla piastra rettificata in alluminio.

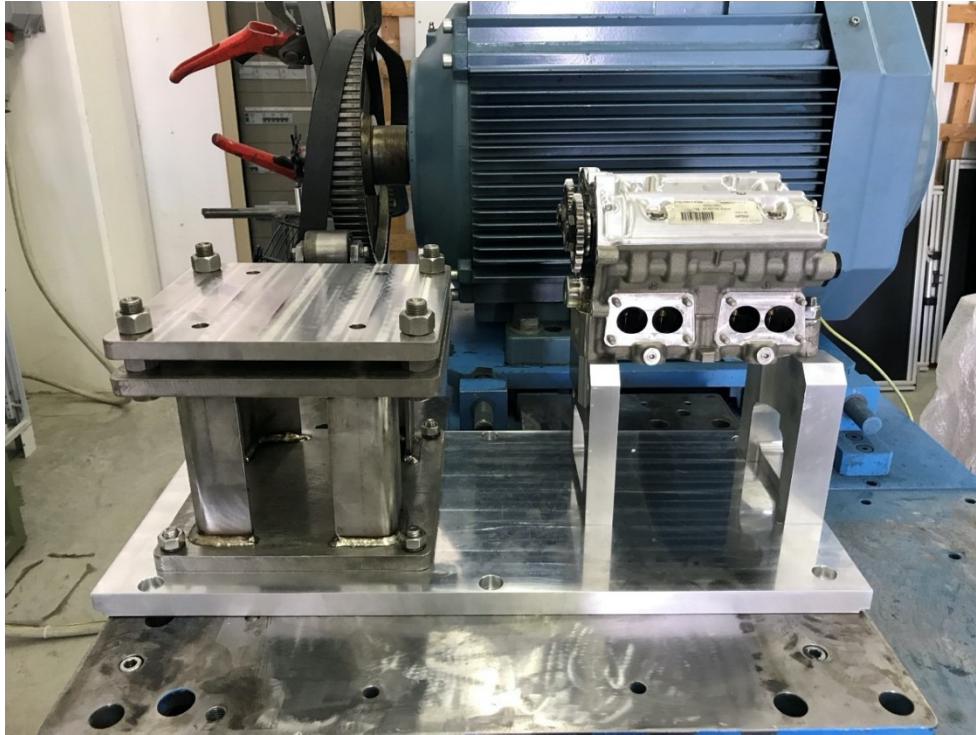


Figura 38: assemblaggio testata su supporti e castello di supporto trasmissione; il tutto è fissato sulla piastra rettificata in alluminio

Successivamente sotto la piastra rettangolare, una volta forata, è stato montato il supporto antivibrante con i relativi silent block. Il piano superiore del silent block deve essere allineato, tramite le viti di regolazione, al piano d'acciaio.

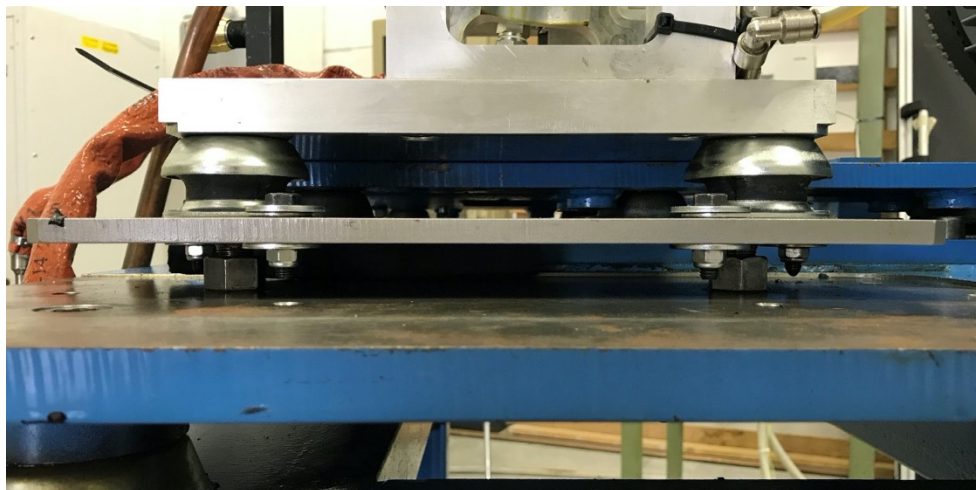


Figura 39: supporto antivibrante con silent block ancorato al telaio

A questo punto è possibile bloccare la piastra in alluminio al piano d'acciaio con quattro viti ed ai silent block dell'antivibrante con altre due viti. Tramite quattro prigionieri e due boccole di centraggio si posiziona la testata sui relativi supporti.

Montato il paraolio nella sede opportuna del coperchio di distribuzione, quest'ultimo è stato accoppiato con delle viti, due boccole di centraggio e un'o-ring alla testata. Per evitare la rottura del paraolio si raccomanda di ungere abbondantemente con olio l'albero superfinito.

Ora si può avvitare il getto per la lubrificazione delle ruote dentate. Per completare l'assemblaggio della parte riguardante la testata, si inserisce il giunto ad alta velocità sull'albero ricordandosi di assicurarlo bene con l'apposito grano. A questo punto è stata montata l'intera trasmissione: dopo aver posizionato due dei quattro labirinti sono stati inseriti i cuscinetti nelle relative sedi dell'albero con l'ausilio di una pressa.



Figura 40: labirinto con tubo gommato per evitare la fuoriuscita del grasso presente nel giunto



Figura 41: albero di trasmissione assemblato con puleggia dentata, cuscinetti e labirinti

Collocati i restanti labirinti e introdotti i tubi gommati, che impediscono al grasso di non fuoriuscire, è stato posto e fissato l'albero di trasmissione nei supporti ritti ad omega; prima di chiudere questi ultimi e di ingrassare il sistema, sono stati innestati quattro distanziali tra i cuscinetti e i relativi labirinti per evitare lo scorrimento assiale relativo tra cuscinetti e supporti ad omega.

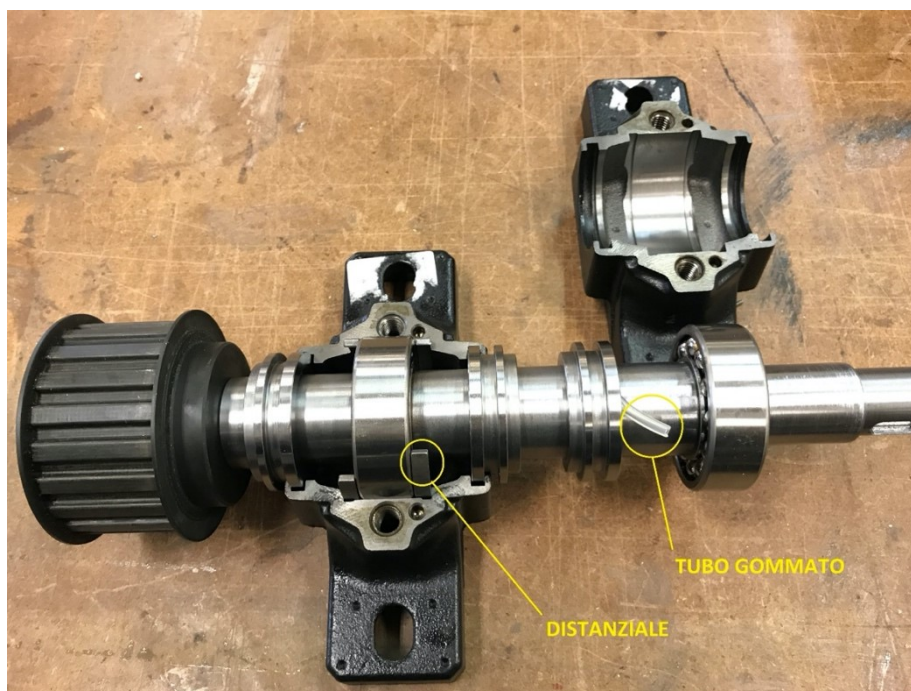


Figura 42: particolare di inserimento distanziali nell' omega e dei tubi gommati nei labirinti

Infine, sono state calettati alle estremità dell'albero di trasmissione l'altra parte del giunto ad alta velocità e la puleggia dentata, assicurando il primo con un grano e la seconda con una rondella spaccata e del frenafili.

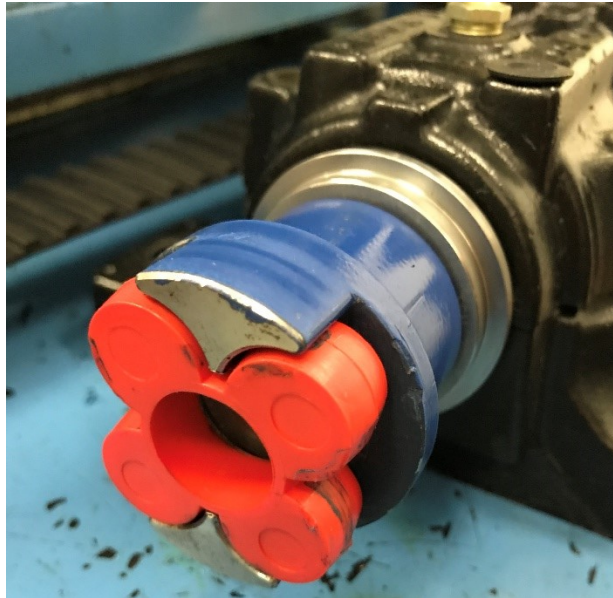


Figura 43: montaggio giunto omocinetico

Appoggiata la trasmissione sul castello, sono state accoppiate le due metà del giunto ad alta velocità; allineati l'albero di trasmissione e l'asse a cammes di scarico, sono stati fissati i due omega con le quattro viti, con dadi e rondelle spaccate, nei fori predisposti sul piano del castello.

Per concludere, sono stati collegati motore elettrico e trasmissione tramite una cinghia trapezoidale che abbraccia le rispettive pulegge, dandole il giusto pretensionamento tramite i tensionatori appositi; logicamente, prima di questa operazione controllare il giusto allineamento delle pulegge.

3.4 Accensione e spegnimento banco prova

Il banco prova, avendo organi in rotazione ed essendo riscaldato con olio dannoso per la pelle, necessità di un'accurata preparazione prima dell'avviamento, onde evitare spiacevoli incidenti.

Prima di tutto è necessario controllare che il piano di lavoro sia totalmente sgombero: anche il più piccolo oggetto verrebbe scagliato dalle forti vibrazioni che si vengono a generare.

È necessaria un'attenta verifica del serraggio di tutti i tubi, soprattutto quelli del circuito olio il quale circola a temperature comprese tra i 100/130 °C.

Controllare il livello dell'olio motore e assicurarsi che il livello dell'olio diatermico garantisca sempre la totale immersione della resistenza che lo riscalda; aprire il circuito acqua e olio attraverso le apposite valvole a sfera.



Figura 44: ingressi e uscite di olio e acqua dal CT

A questo punto si possono attivare gli interruttori rotativi dell'alimentazione elettrica; si può posizionare la barriera protettiva.



Figura 45: interruttori rotativi di alimentazione inverter e CT

Sull' apposito pannello di controllo, assicurarsi che il fungo di "emergenza" sia disattivato ed inserire l'interruttore verde "accensione ausiliari": in questo modo è stata attivata la resistenza del circuito termoregolatore che riscalda l'olio diatermico.

Il circuito è provvisto di due regolatori PID digitali: uno gestisce la temperatura dell'olio diatermico, l'altro quella dell'olio motore; regolare entrambi i set point dei PID alla temperatura desiderata. È fondamentale che, qualora si utilizzi il banco prova con la testata della Desmosedici GP 14, la temperatura dell'olio motore sia sempre compresa tra i 100/130 °C. Quando la temperatura dell'olio diatermico ha raggiunto il valore preimpostato, è possibile inserire la "pompa di rilancio" che permette il riscaldamento dell'olio motore.

Ogni qual volta si attiva un interruttore, si accenderà la relativa spia sul pannello di controllo.



Figura 46: quadro comandi CT

Aspettare che l'olio motore giunga al livello settato e attivare l'interruttore rotativo dell'inverter: il motore elettrico è alimentato. Tramite il telecomando di controllo si può attivare il banco prova e regolare il numero di giri del motore elettrico e, di conseguenza, della testata.



Figura 47: a sinistra il telecomando di controllo giri motore e a destra l'inverter

Si faccia molta attenzione a non superare i 38000 *rpm* sulla testata, ricordando che il rapporto di trasmissione motore elettrico-testata è 1:4; inoltre durante le rampe di salita e discesa la cinghia potrebbe entrare in risonanza: qualora si dovesse verificare, si consiglia di modificare immediatamente il regime di rotazione fino alla completa stabilizzazione della stessa.

Per quanto riguarda lo spegnimento, portare al numero minimo di giri il motore e premere il pulsante di spegnimento; disattivare la “pompa di rilancio” e schiacciare il fungo di “emergenza”; infine portare in posizione “0” i tre interruttori rotativi del pannello di controllo, dell’inverter e dell’alimentazione del circuito termoregolatore.

4 Collaudo banco prova

Come prima operazione si è eseguito un lavaggio del circuito acqua e del circuito olio con del semplice olio 10W40 per autovetture, acquistabile in qualsiasi negozio; in questa l'olio utilizzato può essere anche scadente, l'unico scopo è purificare i tubi da eventuali sedimentazioni. In questa fase, ovviamente, l'olio viene fatto circolare esclusivamente nel CT, assicurandosi di scollegare la testata che deve essere lubrificata solamente con l'apposito olio fornito da DMH.

Fatto ciò, occorre scaricare completamente il lubrificante commerciale tramite la valvola di intercettazione posizionata sotto la pompa T 100E; adesso è possibile introdurre l'olio di DMH tramite il vaso aperto e ricollegare il CT alla testata. Tutto ciò è eseguito con la "pompa di rilancio" attivata, per cui è molto importante che queste operazioni vengano svolte impostando sui PID la temperatura più bassa possibile di entrambi gli oli in modo da salvaguardare l'operatore da eventuali ustioni.

Eseguite queste operazioni si può avviare il banco con la procedura precedentemente illustrata.

Arrivati alle condizioni di esercizio, si devono controllare tutte le pressioni indicate sui relativi manometri, in particolare: quello in uscita dal CT, quello in ingresso testa (6.5 *bar*), quello posizionato dalla parte opposta al manometro di ingresso testa (almeno 0.8 *bar*), esattamente sul coperchio degli alberi dei bilancieri del Desmodromico.



Figura 48: collegamento al manometro per rilevazione pressione sugli assi dei bilancieri

Il manometro in uscita CT è stato predisposto per verificare le perdite di carico che si creano nel tubo trecciato di ingresso testa; se l'olio dovesse emulsionare, si dovrebbe avere una pressione inferiore a 6.5 bar, condizione che comunque non si è più riscontrata dopo le modifiche apportate nella fase di allestimento iniziale.

Si ricorda nuovamente che la pressione in ingresso testa di 6.5 bar e la pressione di 0.8 bar sul coperchio dei bilancieri devono essere

garantite onde evitare rotture meccaniche all'interno della testata per mancata lubrificazione.

Nonostante vengano impostati gli esatti parametri di esercizio, durante queste operazioni, la testata non deve essere in moto in quanto non si è ancora in grado di controllare la temperatura dell'olio motore: per gestirla bisogna assolutamente eseguire una taratura delle termocoppie tramite i PID.

Raggiunta la temperatura di set point (100/130 °C di olio motore), avviare la testa al numero minimo di giri (10 *rpm* sul telecomando) e controllare, con l'apposito livello, quanto olio è contenuto all'interno del coperchio di distribuzione: la giusta quantità è quella tale da garantire l'immersione di un quarto della ruota centrale della distribuzione. Un livello minore a quello indicato non permette lo sbattimento del fluido e quindi una non corretta lubrificazione; un livello maggiore, invece, non causa alcun danno fino a che l'olio resta contenuto nel coperchio di distribuzione e non travasa nella testata, provocandone l'allagamento.

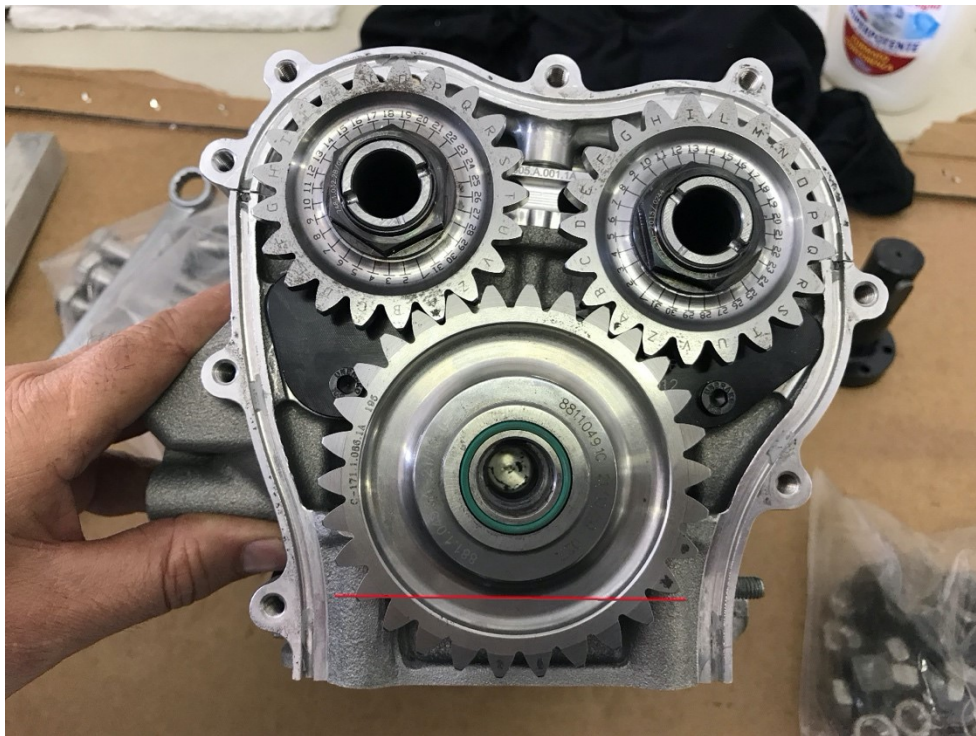


Figura 49: la linea rossa indica approssimativamente il livello di olio richiesto per la lubrificazione corretta degli ingranaggi



Figura 50: indicatore livello olio con rispettiva linea che indica l'allagamento necessario nel coperchio distribuzione

Al variare del regime di rotazione della testata e della temperatura dell'olio, il livello si modifica: per compensare tali variazioni agire sulla valvola di regolazione di portata, strozzando o meno il flusso. L'ultimo passo è quello di verificare l'effettivo numero di giri del motore rispetto a quello che viene impostato sul telecomando e l'effettivo numero di giri della testa rispetto al motore.

Per questa operazione è stato utilizzato un misuratore di giri ottico: è stata riscontrata una lieve incongruenza tra numero di giri impostati e *rpm* reali del motore elettrico che è stata ritenuta trascurabile.

Al contrario tra motore elettrico e testata l'incongruenza presente non può essere trascurata; le misure riguardanti la vibrazione valvola necessitano di essere riferite ad un numero di giri esatto e prestabilito da DMH. Gli *rpm* alla quale si sarebbero dovute svolgere le prove (circa 9500 *rpm* al motore elettrico), erano calcolati considerando un rapporto di trasmissione di 1:4 (dato di progetto) tra motore elettrico e testata, quindi sarebbe stato sufficiente moltiplicare il numero di *rpm* impostato sul telecomando per un fattore pari a 4. In realtà procedendo alla conta effettiva dei denti di entrambe le ruote, si è risaliti al reale rapporto di trasmissione pari a 1:4,2. Tale problema è stato ovviato regolando gli *rpm* del telecomando in funzione dell'effettivo numero di giri della testa, misurato in tempo reale con un dispositivo ottico.

5 Misurazioni

5.1 Strumenti di misura

Per le prove effettuate sono state utilizzati i seguenti strumenti di misura:

1. Vibrometro laser doppler differenziale Polytec OFV-55x:



Figura 51

È uno strumento di misura ultra-preciso adatto ad applicazioni non invasive. Lavora con un range di frequenze fino a 24MHz , con velocità di più o meno 10m/s e con spostamenti che vanno dal picometro al metro.

I sensori ad alta velocità sono sensori a fibra ottica che conferiscono elevata versatilità alla misurazione e permettono di raggiungere anche piccoli accessi.

2. Vibrometro in-plane Polytec LSV060:



Figura 52

Utilizzato per processi di misura senza contatto molto affidabili grazie al preciso controllo della velocità e degli spostamenti. Esso permette inoltre una maggiore efficienza operativa e riduzione dei tempi di fermo.

3. Tacho Omron E3F2-DS10D4:

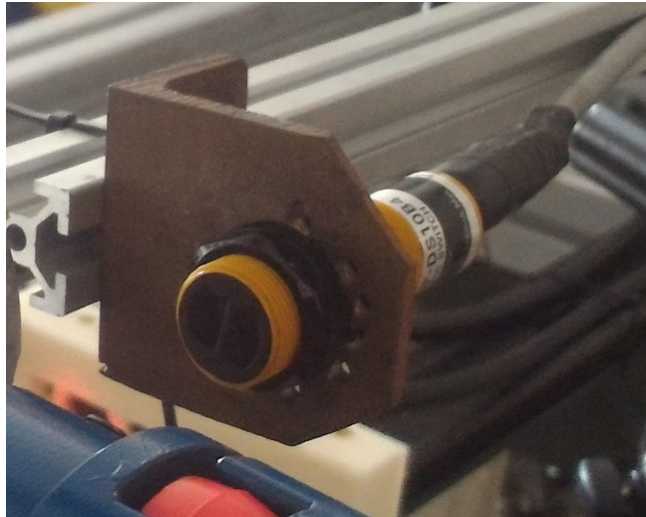


Figura 53

È un sensore fotoelettrico a scansione diffusa, esso utilizza come sorgente luminosa un LED a infrarossi a modulazione di impulsi ed ha dei tempi di risposta dell'ordine di 2,5ms.

Questo è principalmente utilizzato per range di rilevamento molto ridotti (0,1m).

5.2 Setup dei sistemi di supporto per le strumentazioni di misura

Completato l'allestimento del banco prova, si è posto subito il problema di ideare il layout ottimale per eseguire le misure.

Essendo lo scopo delle prove convalidare un modello nel quale si verifica la corrispondenza fra le misure effettuate con il vibrometro differenziale, che è il classico metodo di misura per quanto riguarda il moto valvola, e con il vibrometro in-plane, ci si è subito occupati del posizionamento di quest'ultimo. Il posizionamento è stato ottenuto tramite un treppiedi fotografico, dotato di una piastra rollante sulla quale predisporre lo strumento.



Figura 54: vibrometro in-plane

Per quanto riguarda invece l'allineamento, le uniche restrizioni da rispettare sono che la bisettrice dell'angolo compreso tra i due fasci sia ortogonale all'asse valvola e che il piano formato dall'intersezione dei due raggi laser contenga l'asse valvola; se così non fosse si misurerebbe solamente una componente della velocità. DMH per eseguire questo tipo di misura ha predisposto sul condotto di scarico della testata un foro attraverso il quale è possibile effettuare il puntamento direttamente sullo stelo ed ha realizzato un supporto in alluminio che ci garantisca l'allineamento corretto; il supporto è fissato alla testata tramite i prigionieri di scarico. In questo modo, è possibile collocare il treppiedi e ruotare il vibrometro nella posizione tale per cui si verifichi la tangenza dei laser alla superficie del supporto in alluminio.

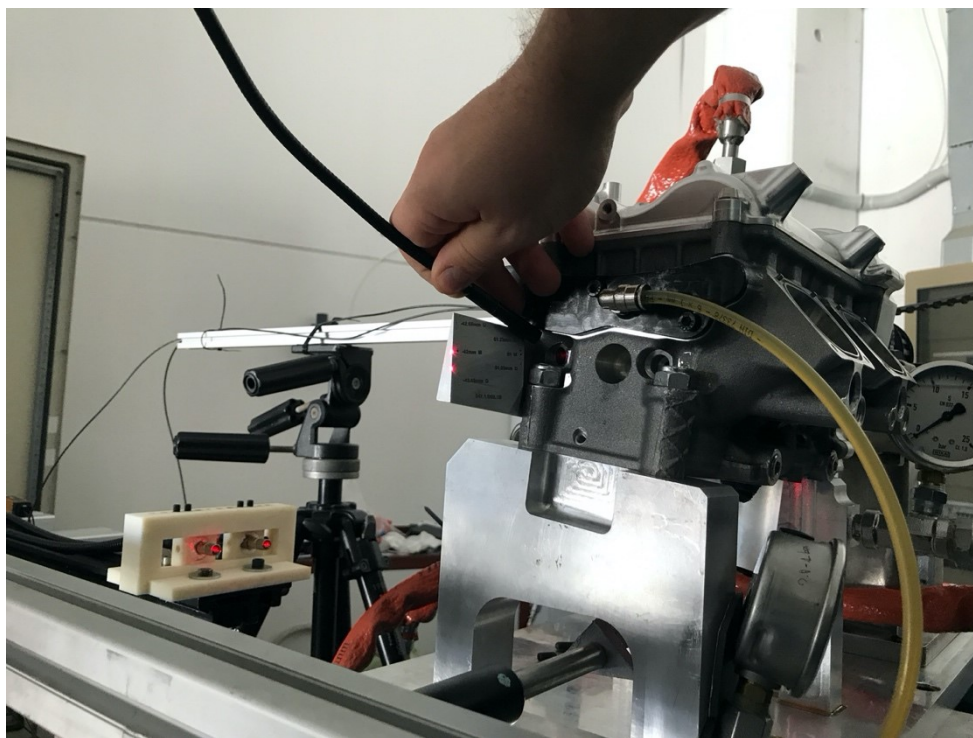


Figura 55: layout prima configurazione e particolare della piastrina in alluminio per allineamento vibrometro in-plane

Per quanto riguarda il differenziale, inizialmente si è pensato di disporre le teste dei laser direttamente sotto la testata, tuttavia

questo layout è stato scartato immediatamente non avendo a disposizione lo spazio sufficiente

Si è esclusa anche la seconda configurazione nella quale le teste dei laser vengono posizionate all'esterno in modo che i relativi fasci entrino lateralmente alla testata attraverso i supporti in alluminio della stessa, per poi essere riflessi tramite uno specchio sul piano di testa.

In questo caso per ottenere l'esatto parallelismo è necessario inclinare il sistema; così facendo lo specchio ha dato problemi di ingombro non entrando sotto la testata.

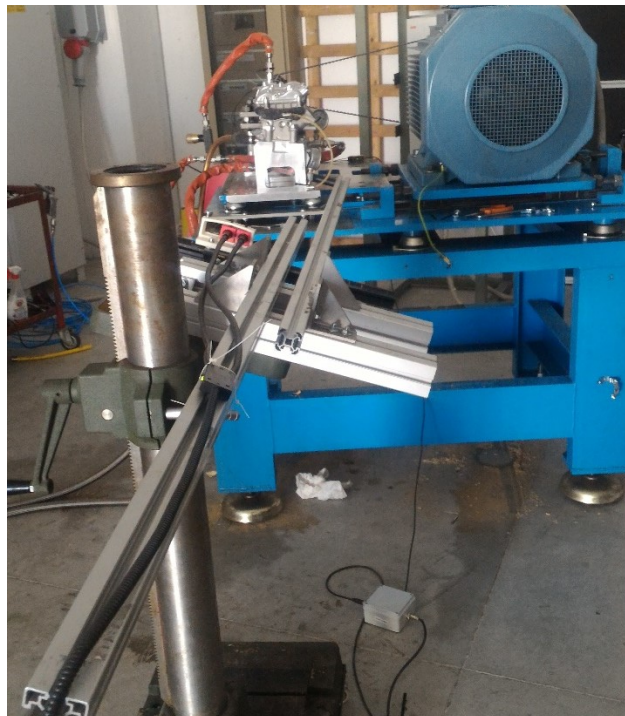


Figura 56: layout seconda configurazione

Infine, siamo giunti al layout definitivo: le teste laser vengono posizionate frontalmente alla testata, mentre lo specchio entra lateralmente attraverso i supporti in alluminio della stessa. In questo modo il corretto allineamento è stato ottenuto mantenendo il sistema in posizione perfettamente orizzontale ovviando al problema descritto pocanzi.

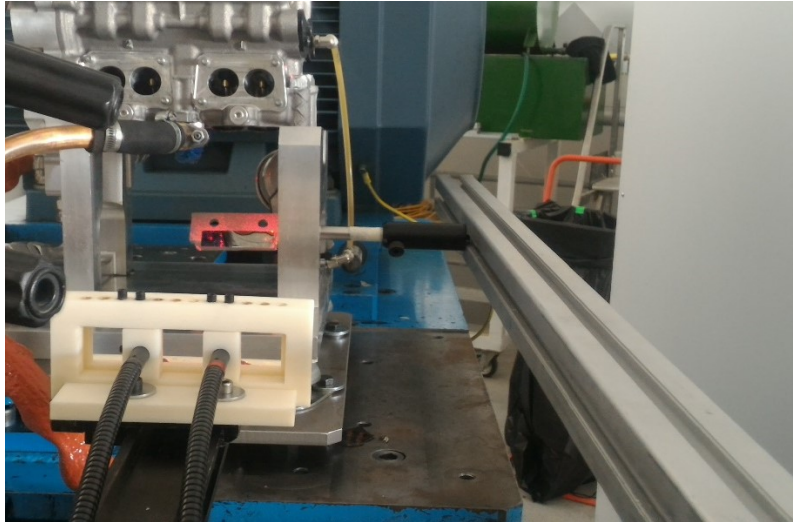


Figura 57: layout terza configurazione

Per l'effettiva realizzazione di tale configurazione è stata utilizzata come principale componente strutturale la base di un trapano a colonna, dotata di tre piedi ad altezza regolabile, ed una montante cilindrica provvista del relativo piano di lavoro.

Questo ingranando con una cremagliera può muoversi verticalmente e compiere dei moti di imbardata.

Successivamente sul piano di lavoro sono state fissate, grazie a dei supporti angolari, due travi Bosch di egual lunghezza le quali permettono di disporre ortogonalmente, tramite i medesimi supporti, una trave ottica e altre due Bosch.



Figura 58: collegamento travi Bosch e colonna di supporto del trapano a colonna

Di queste ultime la prima ha il solo compito di innalzare quella che funge da vero e proprio braccio di sostegno al quale è collegato rigidamente lo specchio tramite vite prigioniera; in questo modo si è regolata precisamente l'altezza che lo specchio deve avere per essere investito dai fasci laser.

La barra viene utilizzata esclusivamente come guida sulla quale scorre una slitta ottica provvista di quattro fori filettati, i quali permettono l'accoppiamento meccanico con il componente in ABS impiegato come "telaio" delle testine dei laser. Si è preferito questo assetto, senza avvalersi di un ulteriore pezzo Bosch, perché in questo modo è possibile controllare la profondità di campo e l'intensità del segnale traslando i diodi laser.

Alla fine dell'assemblaggio e del posizionamento è importante ricordare di regolare le altezze dei piedi della base affinché l'intero sistema sia in bolla e garantisca quindi ad un allineamento ottimale.

Per quel che riguarda l'allineamento, gli unici vincoli da rispettare sono: avere il raggio laser di misura parallelo all'asse valvola, quindi ortogonale al piattello e ben centrato su di esso, se così non fosse si misurerebbe solamente una componente della velocità; posizionare lo spot del fascio laser di riferimento su un punto fisso del piano della testata in modo da rilevare gli esatti valori del moto valvola.

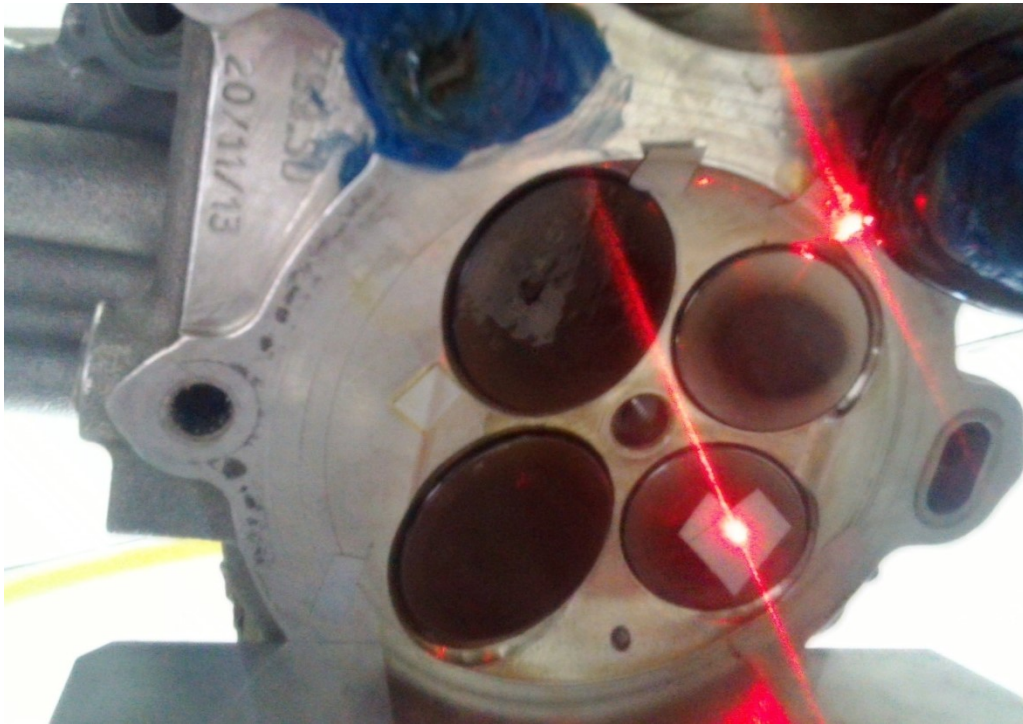


Figura 59: un raggio laser misura direttamente sul piattello valvola, l'altro punta sul piano di testa per avere il riferimento; notare l'applicazione delle cartine riflettenti

Per ottenere tali risultati innanzitutto è stata posta l'attenzione sul fascio di misura: è stato ruotato il piano di lavoro in maniera tale da far uscire parte dello specchio dalla testata; successivamente quest'ultimo è stato inclinato al fine di ottenere la giusta angolazione, pari a 45° poiché permette una riflessione del fascio di 90° , tale da garantire la tangenza tra raggio laser e lo stesso supporto utilizzato per l'in-plane e quindi la condizione di parallelismo, essendo l'asse valvola perfettamente verticale.

Riportato il sistema nella posizione originaria è stato possibile effettuare il centraggio sul piattello spostando leggermente la base del trapano a colonna avanti o indietro fino al raggiungimento della posizione ottimale; tale ubicazione è verificata accertandosi che lo spot rimanga ben fermo durante il moto verticale della valvola.

Successivamente si è agito sul raggio che funge da riferimento traslando lateralmente il supporto contenente la testa del laser, sempre realizzato in ABS, all'interno del telaio appositamente progettato. Così facendo è possibile trovare il giusto collocamento dello spot nel piano della testata: è opportuno verificare che esso stesso si trovi in una posizione tale da riflettere, in maniera soddisfacente, il fascio per avere una buona qualità del segnale di ritorno; inoltre è importante assicurarsi che il fascio stesso non venga intercettato dai piattelli durante la fase di movimento delle valvole.

Compite queste operazioni sono stati bloccati i supporti sopra descritti a telaio utilizzando due viti; in questa fase occorre far attenzione alla coppia di serraggio perché qualora essa risultasse troppo elevata potrebbe farli ruotare perdendo l'allineamento. A questo punto è stato possibile applicare la pellicola riflettente adesiva in corrispondenza degli spot dei due laser; essa permette di incrementare il fenomeno di diffusione delle onde elettromagnetiche ottenendo così un segnale di elevata intensità.

Infine, per posizionare la tacho in prossimità dell'albero superfinito è stato utilizzato un treppiedi fotografico dotato di una piastra che consente la regolazione del beccheggio e del rollio.

Portata quest'ultima in posizione orizzontale e ruotata in maniera tale che una trave, ad essa collegata, risulti ortogonale all'albero, è stato possibile accoppiare lo strumento di misura tramite un angolare a 90°.

Fare attenzione al posizionamento del cavalletto assicurandosi che non si trovi a contatto con il telaio in acciaio del banco prova, se così

fosse verranno trasmesse vibrazioni al dispositivo ottico alterandone le misurazioni.



Figura 60: cavalletto fotografico utilizzato per supportare la tacho

È importante osservare che qualora la tacho fosse posta in qualsiasi altro punto della trasmissione, nelle misurazioni saranno rilevati anche gli eventuali giochi dovuti alla presenza del giunto di collegamento ad alta velocità. Inoltre, è conveniente posizionare lo strumento ad una distanza non superiore ai 20cm dall'albero superfinito poiché, nonostante l'applicazione di una sottile striscia di pellicola riflettente, non si otterrà alcun segnale in ingresso.

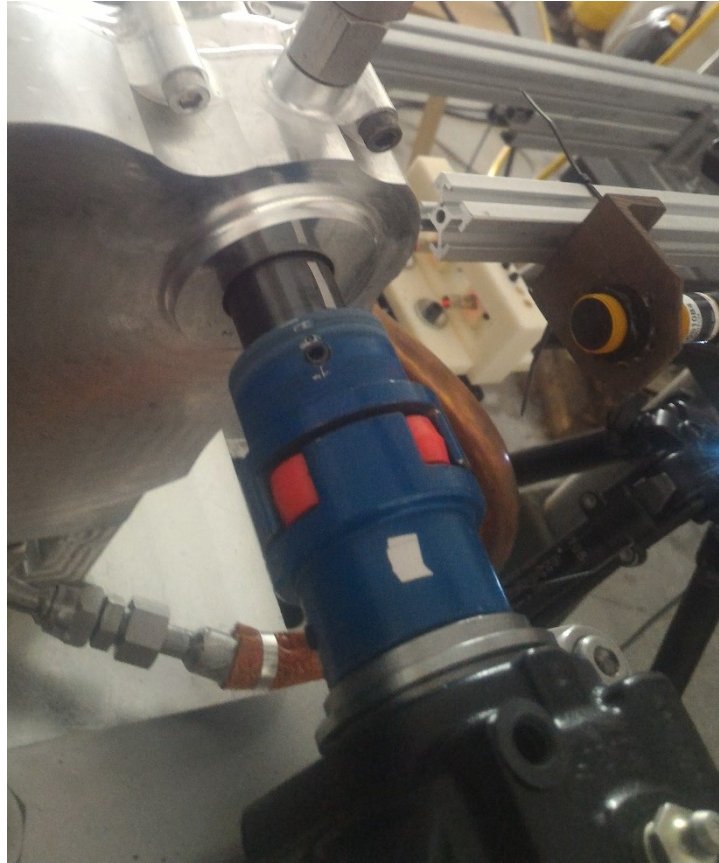


Figura 61: applicazione cartina riflettente per OMRON E3F2-DS10D4

La Omron E3F2-DS10D4 viene impiegata per fissare l'istante in cui comincia l'acquisizione dei vibrometri e il tempo che intercorre tra due successive acquisizioni, le quali vengono determinate dal passaggio della pellicola davanti al fascio laser. Essa permette inoltre di determinare gli effettivi giri al minuto dell'albero superfinito che corrispondono a quelli dell'albero a cammes.

5.3 Misurazioni e post-processing

Una volta determinati i layout delle strumentazioni di misura, garantito il corretto allineamento degli stessi e regolata manualmente la messa a fuoco è stato possibile procedere all'acquisizione dei dati, tramite l'utilizzo del software Siemens Testlab, e del loro processamento.

Avviato il circuito termoregolatore ed acceso il motore elettrico, sono state sostenute prove per diversi valori di rpm e per differenti valori di temperatura dell'olio motore.

Per questioni di riservatezza di seguito verrà riportato un solo diagramma, relativo a valori indefiniti di alzata e velocità della valvola, riferito ad un numero di giri non specificato.

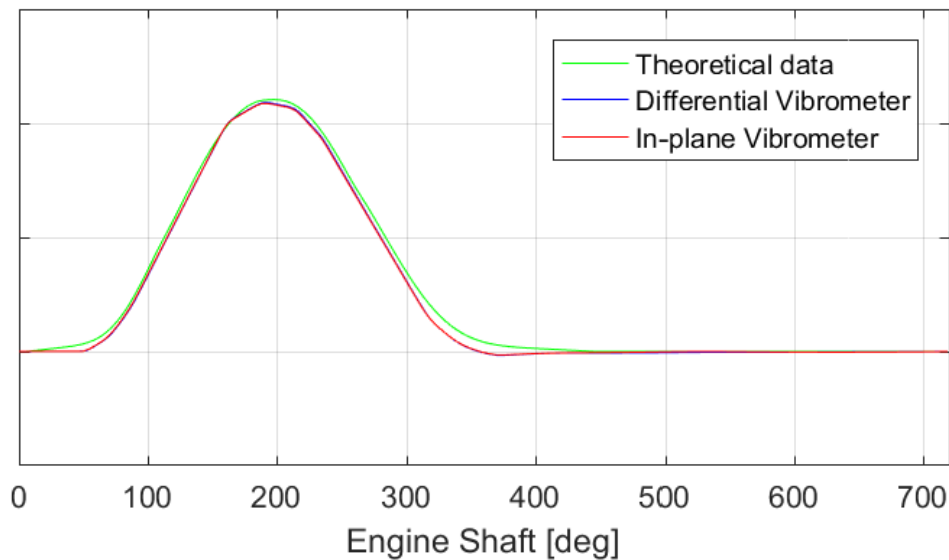


Figura 62: diagramma di alzata comparativo tra quella teorica, quella ottenuta con misurazioni tramite vibrometro differenziale e tramite vibrometro in-plane

Occorre specificare che i gradi di rotazione dell'albero a cammes, presenti sull'asse delle ascisse, sono stati ricavati grazie ai valori forniti dalla tachò; conoscendo infatti gli rpm è possibile risalire facilmente al valore della velocità angolare e sapendo il tempo di acquisizione si è potuta ottenere la conversione in gradi. Dal digramma dell'alzata è stato possibile ricondursi a quello della velocità tramite una semplice operazione di derivazione.

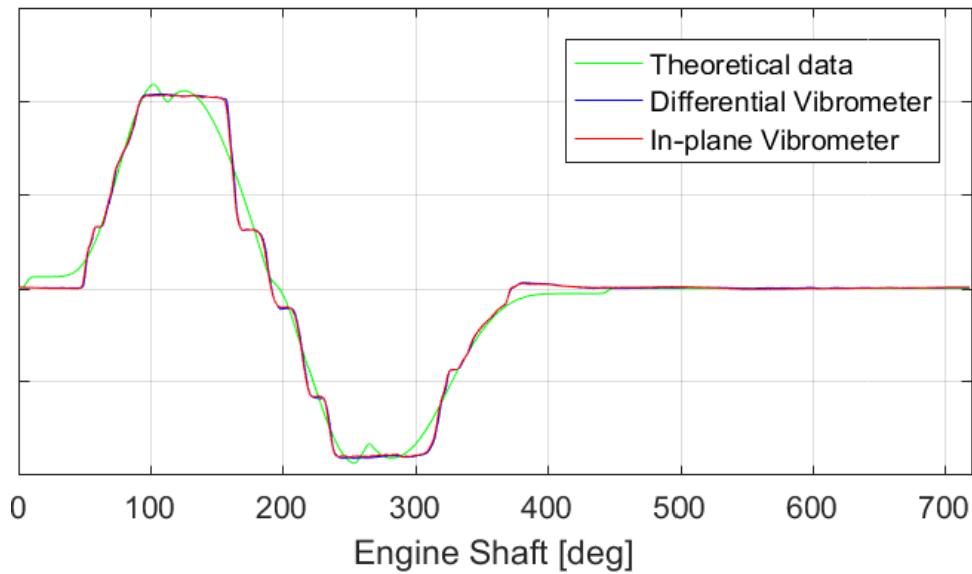


Figura 63: diagramma di velocità comparativo tra quella teorica, quella ottenuta con misurazioni tramite vibrometro differenziale e tramite vibrometro in-plane

Come si può osservare dalle figure sopra riportate inizialmente si ha la fase di apertura della valvola, e la velocità della stessa aumenta partendo dal valore zero fino al suo massimo grazie all'azione della camma positiva (o di apertura) che vi imprime un'accelerazione positiva; giunti al punto di inversione, entra in azione il membro negativo (o di chiusura) che decelera la valvola fino al punto di alzata massima, caratterizzato da un valore di velocità pressoché nulla. Da questo punto comincia la fase di chiusura: il membro in azione è ancora quello negativo, che imprime alla valvola un'accelerazione di segno negativo e una velocità negativa anch'essa, fino al secondo punto di inversione. Da qui torna attiva la camma di apertura che frena la corsa della valvola fino alla sua completa chiusura.

Completata questa breve descrizione si può notare come gli andamenti dei valori di alzata e velocità della valvola, rilevati attraverso il vibrometro differenziale e in-plane (contraddistinti rispettivamente da una linea blu e rossa), non si discostino molto da quelli teorici.

In aggiunta a ciò spostandosi verso regimi di rotazione più elevati il gap tra andamento teorico e quello realmente misurato si riduce permettendo di ottenere uno scarto sulle alzate dell'ordine di decimi di millimetro. Con l'aumento della temperatura dell'olio motore, invece, questa differenza va ad aumentare probabilmente a causa dei fenomeni di dilatazione a cui è soggetta la valvola in esame.

Un altro risultato estremamente importante che può essere notato in figura è quello dato dalla sovrapposizione tra curva blu e curva rossa: questo vuol dire che le misurazioni effettuate dai due tipi di vibrometri hanno dato praticamente gli stessi valori di alzata, velocità e accelerazione valvola in funzione dell'angolo di rotazione. Ciò dimostra che, in questo tipo di applicazione, il differenziale può essere sostituito dall'in-plane permettendo così di effettuare anche delle misurazioni in firing.

6 Problematiche riscontrate

Durante lo svolgimento dei vari test effettuati sono emersi dei problemi riguardanti la testata e la strumentazione di misura che è stata impiegata. Al procedere delle prove, infatti, è stata notata una sempre più accentuata diminuzione del segnale in ingresso al vibrometro differenziale, fino ad avere un valore praticamente nullo dello stesso. Questo si verifica poiché all'aumentare del regime di rotazione le valvole rigettano una piccola quantità di olio motore nell'ambiente circostante imbrattando quindi la pellicola riflettente, lo specchio e le testine laser.

La presenza del lubrificante in questi elementi sensibili porta il fascio a passare da un mezzo ad un altro con indice di rifrazione differente, deviando la propria traiettoria ed impedendone il ritorno alle ottiche laser. Tale problema è stato risolto pulendo frequentemente (anche dopo ogni prova per *rpm* elevati) con uno sgrassatore e della carta il piano della testata, con un'opportuna soluzione e un apposito panno le componenti vetrate. Così facendo, però, parte del materiale riflettente di cui è composta la pellicola può essere asportato per abrasione provocando uno scadimento del segnale; infatti se ne consiglia una sostituzione periodica facendo attenzione a non ustionarsi a causa delle elevate temperature raggiunte nella testata. Inoltre, lo specchio, durante l'operazione di pulitura, può subire delle piccole rotazioni attorno all'asse della barra ottica da cui è sostenuto, perdendo così l'allineamento con l'asse valvola.

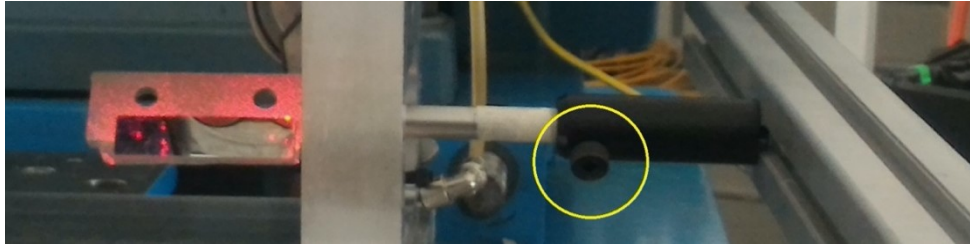


Figura 64: particolare vite di serraggio specchio

Come può essere osservato in figura i movimenti rotativi dello specchio sono limitati dalla presenza di una vite che se ruotata si pone a contatto con la barra ottica su cui agisce per attrito. Per rendere più efficace tale dispositivo di ancoraggio, evitando qualsiasi spostamento, si potrebbe pensare di impiegare contemporaneamente più viti sulla superficie della barra per incrementare il valore delle forze di attrito agenti.

Un'altra valida soluzione può essere quella di realizzare, una volta individuata l'inclinazione che permette l'allineamento, un intaglio nella barra in corrispondenza del componente filettato.

Inoltre, quando sono stati raggiunti i massimi regimi di rotazione del motore la tacho non ha dato più alcun segnale in ingresso; in queste condizioni infatti essa ha un tempo di risposta maggiore rispetto a quello che intercorre tra un passaggio e l'altro della pellicola riflettente, non riuscendo così ad elaborare le informazioni. Di conseguenza non è stato possibile riportare il segnale acquisito dal vibrometro differenziale e in-plane in base angolo. Per far fronte a questo problema si può utilizzare una ruota fonica, calettata nell'albero superfinito tramite chiavetta, con il rispettivo sensore a effetto hall. L'allontanarsi ed avvicinarsi dei denti, costruiti in materiale ferromagnetico, causano una variazione del flusso del campo magnetico nelle vicinanze di un sensore "pick up", costituito da una bobina avvolta attorno ad un magnete permanente e collegata al terminale di rilevamento della velocità angolare. La variazione di flusso fa nascere nella bobina

una corrente indotta alternata, che viene letta dal terminale; ad ogni impulso corrisponde una prominenza o dente. In questo modo sarà possibile leggere in tempo reale il valore della velocità di rotazione dell'albero a cammes.

Si è progettata una ruota fonica da collegare al sistema per il rilevamento della velocità di rotazione e per avere un segnale di "0" da cui far partire l'acquisizione; tuttavia non si è riusciti nell'intento in quanto la tolleranza considerata per la realizzazione (nell'ordine del decimo di millimetro) è risultata eccessiva, nonostante si siano rispettati i parametri indicati nel datasheet del sensore utilizzato.

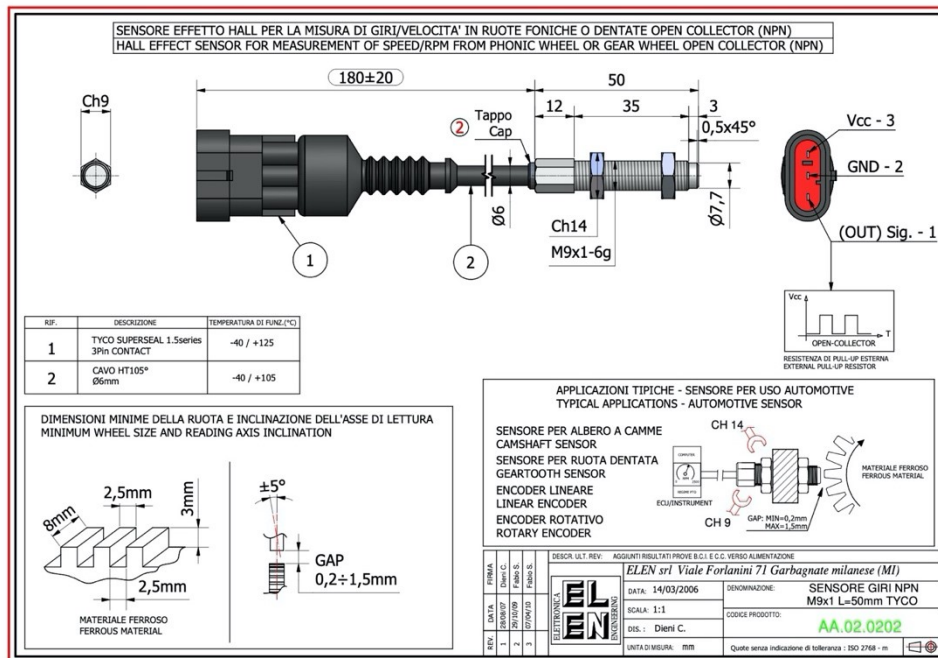


Figura 65: datasheet sensore effetto hall per ruota fonica

Ad elevati rpm si è notata una tendenza dell'olio motore a emulsionare con l'aria a causa dello sbattimento subito all'interno del coperchio di distribuzione rendendone difficile l'espulsione. Per evitare che tale emulsione allaghi l'intera distribuzione e travasi nella testata controllare frequentemente il livello nell'apposito tubicino e, se necessario, interrompere l'alimentazione di olio

motore proveniente dal CT disinserendo la pompa di rilancio; in questo modo si dà la possibilità al lubrificante di fluire per gravità nel vaso aperto liberandosi dell'aria.

7 Conclusioni

La campagna prove relativa alle misurazioni del moto della valvola di scarico, compiute grazie all'impiego di un vibrometro in-plane ed uno differenziale, in condizioni di testata trascinata da motore elettrico, ha fornito dei risultati molto soddisfacenti. Infatti, entrambi gli strumenti di misura hanno mostrato gli stessi andamenti di alzata, velocità ed accelerazione della valvola, i quali, inoltre, non si discostano molto da quello teorico. Tale tendenza si è mantenuta anche per i vari test effettuati a velocità di rotazione differente dell'albero a cammes, per valutare il moto della valvola nei regimi di funzionamento del motore, e per differenti valori di temperatura dell'olio motore, in modo tale da analizzare l'effetto di eventuali dilatazioni. Per cui è possibile affermare con certezza che il vibrometro differenziale può essere sostituito dal vibrometro in-plane, il quale renderà possibile sostenere delle misurazioni in condizioni di firing. Grazie a questo futuro studio sarà possibile valutare l'effetto che lo scoppio ha nel moto della valvola di scarico riducendone la vita utile.

Il banco prova, parzialmente fornito da DMH ed in parte progettato all'interno del DIISM, durante lo svolgimento dei vari test ha mostrato alcune limitazioni e problematiche: oltre alle migliorie, descritte nel precedente capitolo, che prevedono l'impiego di un sistema di bloccaggio dello specchio più efficace e di una ruota fonica, può essere previsto un sistema di controllo remoto delle pressioni, della velocità di rotazione del motore elettrico e del livello dell'olio motore nel coperchio di distribuzione. In questo modo sarebbe possibile ottimizzare il setup del banco prova stesso rendendolo più efficiente e sicuro: si eviterebbe di interrompere, tra una prova e l'altra, l'adduzione alla testata di lubrificante e l'alimentazione del motore elettrico per il controllo dei valori sopra

descritti, essendo possibile una lettura real-time di questi ultimi; sarebbe possibile inoltre stabilire tramite computer il valore degli *rpm* del motore elettrico, e quindi dell'asse a cammes, evitando la presenza di un operatore che li imposti direttamente dal telecomando, riducendo la possibilità di infortunio di quest'ultimo.

Bibliografia

[1] <http://www.polytec.com/us/products/vibration-sensors/single-point-vibrometers/modular-systems/ofv-55x-fiber-optic-sensor-head/>

[2] <http://www.polytec.com/us/products/vibration-sensors/single-point-vibrometers/modular-systems/ofv-5000-vibrometer-controller/>

[3] <http://www.polytec.com/us/products/speed-and-length-sensors/lsv-1000-laser-surface-velocimeter/>

[4] <http://it.rs-online.com/web/p/sensori-fotoelettrici/2018053/>