

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Sede di Forlì**

**Corso di Laurea in
INGEGNERIA MECCANICA**

**TESI DI LAUREA
In Macchine**

**Installazione al banco e prova di un motore
motociclistico**

**CANDIDATO
Isacco Battistini**

**RELATORE
Prof. Ing. Enrico Corti**

**Anno Accademico 2013/2014
Sessione III**

*Ai miei genitori,
che mi hanno sempre sostenuto, nonostante i passi falsi.*

*Al mio nonno Natale,
che avvera il sogno di avere un nipote laureato.*

*Al mio nonno Giovanni,
che è il mio angelo custode.*

INDICE:

- ELENCO FIGURE & TABELLE pag.6

- OGGETTO DELLA TESI pag.8

- CAPITOLO I ‘Introduzione’ pag.9
 - 1. *Banco prova & Freno a correnti parassite;* pag.9
 - 2. *Specifiche motore in oggetto;* pag.15
 - 3. *Dettagli propulsore.* pag.16

- CAPITOLO II ‘Allestimento banco prova’ pag.19
 - 1. *Lavori preliminari & Trasporto al banco;* pag.19
 - 2. *Circuito di raffreddamento & Vaso di espansione;* pag.22
 - 3. *Circuito benzina & Bilancia;* pag.26
 - 4. *Camera di controllo.* pag.30

- CAPITOLO III ‘Cablaggio’ pag.31
 - 1. *Introduzione;* pag.31
 - 2. *Cablaggio di serie;* pag.31
 - 3. *Cablaggio “rack”.* pag.32

- CAPITOLO IV ‘Descrizione sensori e componenti’ pag.34
 - 1. *Introduzione;* pag.34
 - 2. *Centralina (ECU);* pag.34
 - 3. *Candela strumentata;* pag.35
 - 4. *OBI;* pag.36
 - 5. *Pick Up;* pag.37

6. <i>By Pass Idle;</i>	<i>pag.38</i>
7. <i>Potenziometro Farfalla TPS;</i>	<i>pag.38</i>
8. <i>Sonda Lambda;</i>	<i>pag.39</i>
9. <i>Termocoppia Tipo K;</i>	<i>pag.41</i>
10. <i>Termoresistenze.</i>	<i>pag.42</i>
• <i>CAPITOLO V</i> <i>'Conclusioni'</i>	<i>pag.43</i>
1. <i>Panoramica Test It;</i>	<i>pag.43</i>
2. <i>Analisi dati prove sperimentali;</i>	<i>pag.46</i>
3. <i>Lambda switch.</i>	<i>pag.51</i>
• <i>APPENDICE</i>	<i>pag.54</i>
a) <i>Mappa cablaggio.</i>	<i>pag.54</i>
• <i>RINGRAZIAMENTI</i>	<i>pag.56</i>
• <i>BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI</i>	<i>pag.58</i>

ELENCO FIGURE & TABELLE:

Figura I.1.a	Banco prova;	pag.8
Figura I.1.b	Schema elettrico ponte di Wheatstone;	pag.10
Figura I.1.c	Freno FE350S a correnti parassite;	pag.12
Tabella I.1.a	Dati tecnici freno FE350S;	pag.13
Figura I.2.a	Schema funzionamento cilindro DOHC;	pag.14
Figura I.3.a	Vista anteriore motore;	pag.15
Figura I.3.b	Vista laterale motore;	pag.16
Figura I.3.c	Vista laterale motore (particolare);	pag.17
Figura II.1.a	Basamento del banco & sostegno motore;	pag.18
Figura II.1.b	Trasporto motore al banco;	pag.19
Figura II.1.c	Particolare tubo - raccordo – scarico;	pag.20
Figura II.2.a	Circuito idraulico;	pag.21
Figura II.2.b	Radiatore di serie;	pag.22
Figura II.2.c	Circuito idraulico definitivo;	pag.23
Figura II.2.d	Ventole da PC;	pag.24
Figura II.2.e	Ventilatore industriale;	pag.24
Figura II.3.a	Schema circuito benzina esterno;	pag.25
Figura II.3.b	Schema circuito benzina interno principale;	pag.25
Figura II.3.c	Schema circuito benzina interno bilancia;	pag.26
Figura II.3.d	Bilancia AVL 733;	pag.27
Figura II.3.e	Principio funzionamento della bilancia;	pag.27
Figura II.3.f	Motore – bilancia;	pag.27
Figura II.3.g	Configurazione banchi;	pag.28
Figura II.4.a	Camera di controllo;	pag.29
Figura III.2.a	Cablaggio di serie;	pag.30
Figura III.3.a	‘Rack’ e schema composizione ‘rack’;	pag.31

Figura III.3.b	Schema elettrico OBI;	pag.32
Figura IV.3.a	Schema candela strumentata;	pag.34
Tabella IV.3.a	Dati tecnici candela strumentata;	pag.35
Figura IV.5.a	Schema funzionamento pick up;	pag.36
Figura IV.7.a	Schema di funzionamento del potenziometro (TPS);	pag.38
Figura IV.8.a	Schema di funzionamento sonda lamda (UEGO);	pag.39
Figura V.1.a	Panoramica Test It;	pag.43
Tabella V.2.a	Piano sperimentale;	pag.45
Tabella V.2.b	MEMO prima parte;	pag.46
Tabella V.2.c	MEMO seconda parte;	pag.46
Figura V.2.a	Coppia in funzione della velocità;	pag.47
Figura V.2.b	Potenza in funzione della velocità;	pag.48
Figura V.2.c	PMI – PME in funzione della velocità;	pag.49
Figura V.2.d	Consumo orario in funzione della velocità;	pag.50
Figura V.2.e	Consumo specifico in funzione della velocità;	pag.50
Figura V.3.a	A/F, potenza e coppia in funzione del tempo;	pag.51
Figura V.3.b	Temperatura scarichi in funzione del tempo.	pag.52

OGGETTO DELLA TESI:

L'industria automotive, a causa della sempre maggiore complessità dei motori di nuova generazione e degli accresciuti standard qualitativi imposti dal mercato, necessita di strumenti sempre più accurati e selettivi per poter qualificare i motori prodotti. Un Banco Prova è uno di quegli strumenti e mette a disposizione diverse funzioni: dalla più semplice, il rilevamento della potenza alla ruota o all'albero, alle più complesse quale l'interfacciamento, la programmazione e la mappatura di una centralina regolando i parametri di controllo.

Il laboratorio del dipartimento di Ingegneria Industriale DIN della facoltà dell'università di Bologna è situato in un hangar dell'aeroporto Ridolfi di Forlì, dove si trovano tre banchi prova, nei quali sono montati tre propulsori: Mahindra Mojo 300 alimentato a benzina, Turbina di elicottero alimentata a cherosene e Motore Multijet 1300 alimentato a gasolio.

In questa tesi si approfondiscono in particolar modo gli aspetti "preparatori" per il test e la calibrazione del sistema di controllo del motore Mahindra montato al banco prova. Verrà chiarito come si è proceduto per arrivare a questo risultato, i problemi che si sono incontrati e le soluzioni che sono state adottate.

Nel primo capitolo di quest'elaborato verrà presentato il banco prova e il propulsore oggetto di studio, analizzandone l'architettura, gli aspetti funzionali e le peculiarità tecniche. Il secondo capitolo è dedicato all'installazione al banco del motore. Partendo dall'adattamento del castelletto motore, saranno spiegati gli step che dall'arrivo del motore stesso in uno scatolone hanno permesso di accendere il propulsore al banco prova.

CAPITOLO I INTRODUZIONE

I.1 BANCO PROVA

Il banco prova è uno strumento di misura, progettato per il rilevamento delle caratteristiche meccaniche dei motori: potenza, coppia motrice e consumi.

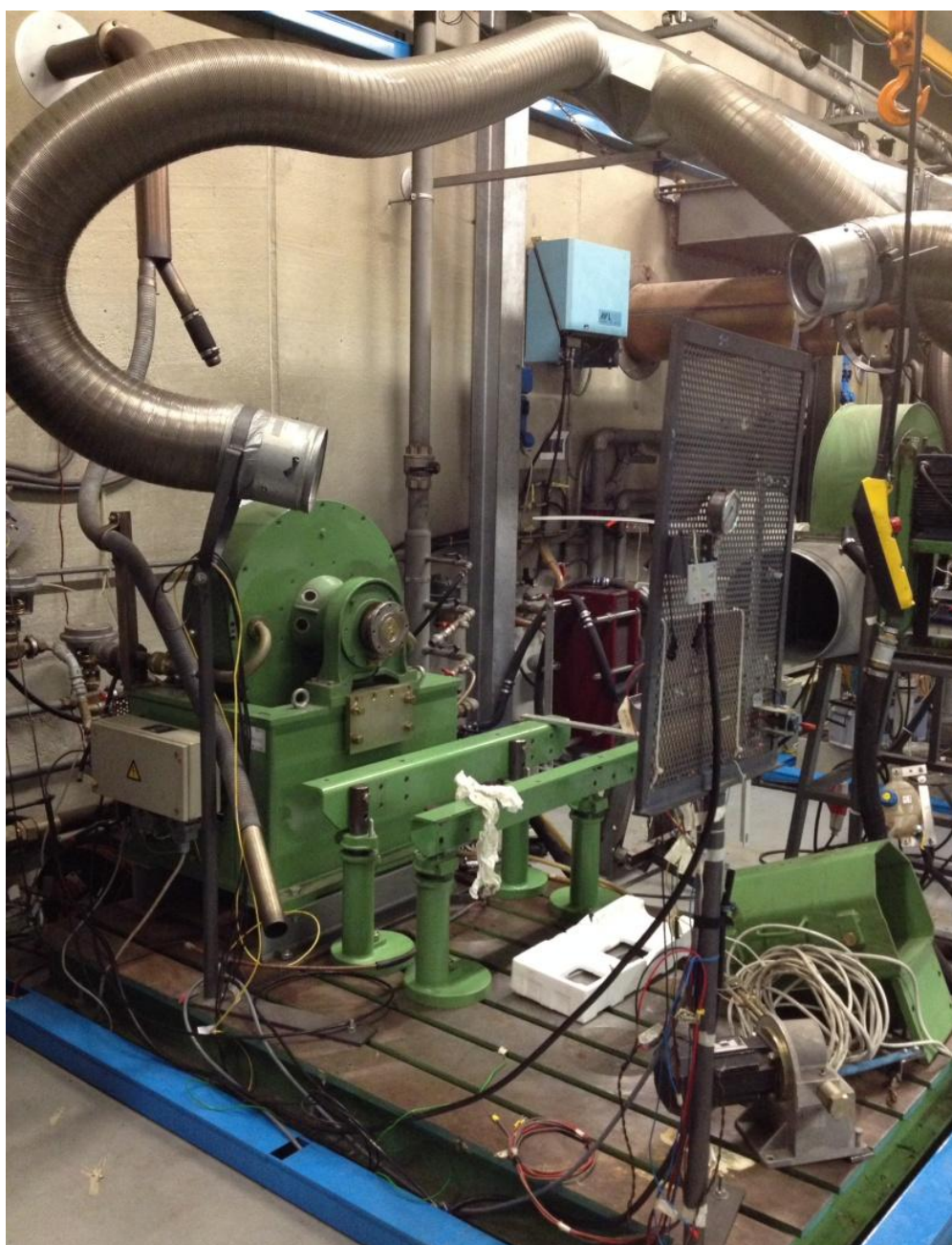


Figura I.1.a Banco Prova

Il banco permette di rilevarne le caratteristiche nei diversi regimi di funzionamento dal regime minimo fino a quello massimo consentito dalle caratteristiche intrinseche (o dal limitatore di giri montato su quasi tutti i motori endotermici a partire dagli anni settanta).

Come anticipato in precedenza, nei laboratori della Facoltà sono presenti tre banchi prova per il test delle motorizzazioni. In quello utilizzato per lo svolgimento delle prove sperimentali è installato un banco freno della casa produttrice Borghi & Saveri, nella fattispecie il modello FE350S. Si tratta di un banco prova a correnti parassite in grado di restituire in output la velocità di rotazione e la coppia erogata (conseguentemente anche la potenza) da un generico albero in rotazione collegato allo strumento. Un banco prova è essenzialmente composto da un dispositivo in grado di applicare una coppia resistente modulabile all'albero del motore in prova; questa si basa su vari tipi di freno che possono essere meccanici, idraulici o elettrici (a correnti parassite o attive). Un banco di tipo semplice è costituito da un basamento, che prende il nome di base sismica, ove viene fissato il motore da provare che viene collegato al rotore tramite il suo albero. Il punto da cui esso trasmette il moto, (di norma l'albero secondario del cambio per i motori motociclistici e l'albero motore per i motori da autotrazione) viene collegato attraverso un giunto l'albero del freno dinamometrico. L'asse principale, sostenuto da cuscinetti, è flottante ed al naturale movimento che assumerebbe se lasciato libero si contrappone il sistema di misura dalla coppia, che può essere meccanico (bilancia) o elettronico (cella di carico o flangia torsionometrica). Il funzionamento di dispositivi frenanti è basato sul principio delle "correnti parassite" o "correnti di Foucault", che vengono generate dal movimento di parti metalliche all'interno di un campo magnetico producendovi una modifica di flusso, cui corrisponde una forza frenante (perciò si parla di freni elettromagnetici). Di massima il freno è costituito da un rotore e da un disco polare, a forma stellare, che ruota fra due camere di raffreddamento integrate nel corpo frenante, sedi di un campo magnetico prodotto da una bobina eccitata in corrente continua.

La rotazione del disco polare provoca una variazione nel tempo del flusso magnetico, generando le correnti parassite sullo strato metallico delle superfici delle camere di raffreddamento; queste correnti indotte si oppongono alla variazione del flusso magnetico e, di conseguenza, al movimento del rotore.

La forza generata dall'azione frenante del freno, viene contrastata con una forza uguale e contraria da parte dello statore, per via del principio di azione e reazione, in questa situazione l'intero corpo frenante, che è supportato all'estremità dell'albero da due cuscinetti inizierebbe a ruotare su sé stesso, ma questo viene impedito dalla "cella di carico".

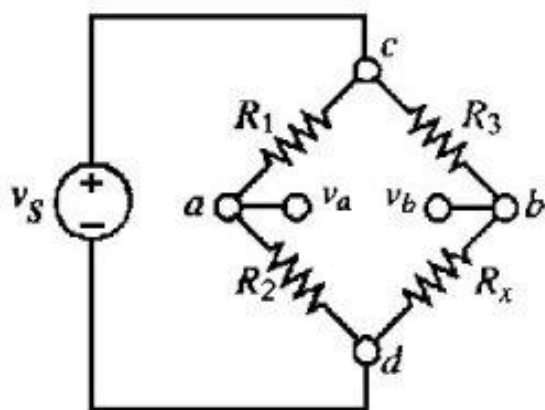


Figura I.1.b schema elettrico di un ponte di Wheatstone

La cella di carico è costituita da un insieme di estensimetri a resistenza, uniti a formare un ponte di Wheatstone (Figura I.1.b) e racchiusi in una custodia metallica di protezione.

Il ponte di Wheatstone permette di misurare con ottima precisione il valore di $\Delta V = v_{ab}$,

ottenibile come misura indiretta:

$$v_a = v_s \times R_1 / (R_1 + R_2) \quad \text{e} \quad v_b = v_s \times R_x / (R_3 + R_x)$$

$$v_{ab} = v_a - v_b = v_s \times (R_1 / (R_1 + R_2) - R_x / (R_3 + R_x))$$

con R_x variabile ma non nota, R_1 e R_3 sono resistori di valore fisso e noto, mentre il resistore R_2 è variabile (noto anch'esso).

La relazione, nel caso ci sia una condizione di equilibrio, dei due resistori del lato conosciuto

$$\frac{R_2}{(R_2 + R_1)}$$

è uguale alla relazione delle altre due resistenze del lato non noto

$$\frac{R_x}{(R_x + R_3)}$$

quindi la differenza di potenziale elettrico tra i due punti intermedi (v_{ab}) sarà nulla e pertanto non circolerà corrente elettrica, in condizioni di equilibrio:

$$R_x = \frac{R_2 \times R_3}{R_1}$$

Se i valori delle resistenze R_1 , R_2 e R_3 si conoscono con molta precisione, il valore di R_x può essere determinato con accuratezza. Piccole variazioni nel valore di R_x romperanno l'equilibrio e saranno chiaramente identificati da una variazione di tensione tra i capi a e b. La forza da misurare deforma leggermente l'estensimetro (R_x) provocando una variazione proporzionale alla forza stessa, il segnale che ne deriva (dell'entità di pochi millesimi di Volt) viene amplificato ed elaborato, e permette di ricavare il valore della forza, della coppia motrice (noto il braccio), da questo valore assieme al numero di giri rilevati, si risale al valore della potenza sviluppata dal propulsore nel dato momento.

Freno a correnti parassite

Per testare e sviluppare il sistema di controllo per un motore endotermico (macchina motrice), serve una macchina cuplometrica (macchina operatrice) che permetta di controllare il carico (ed il regime) di funzionamento del M.C.I.. E' stato utilizzato un freno a correnti parassite Borghi & Saveri FE 350 S (Figura 2.2.a), che permette di far lavorare il motore in tutti i suoi punti di funzionamento (un punto motore è

costituito da una coppia di valori caratteristici, per esempio regime di rotazione-coppia. Una fase fondamentale è il matching della macchina operatrice con quella motrice in modo da poter far funzionare il motore, in condizioni controllate, in tutto il suo campo d'utilizzo.

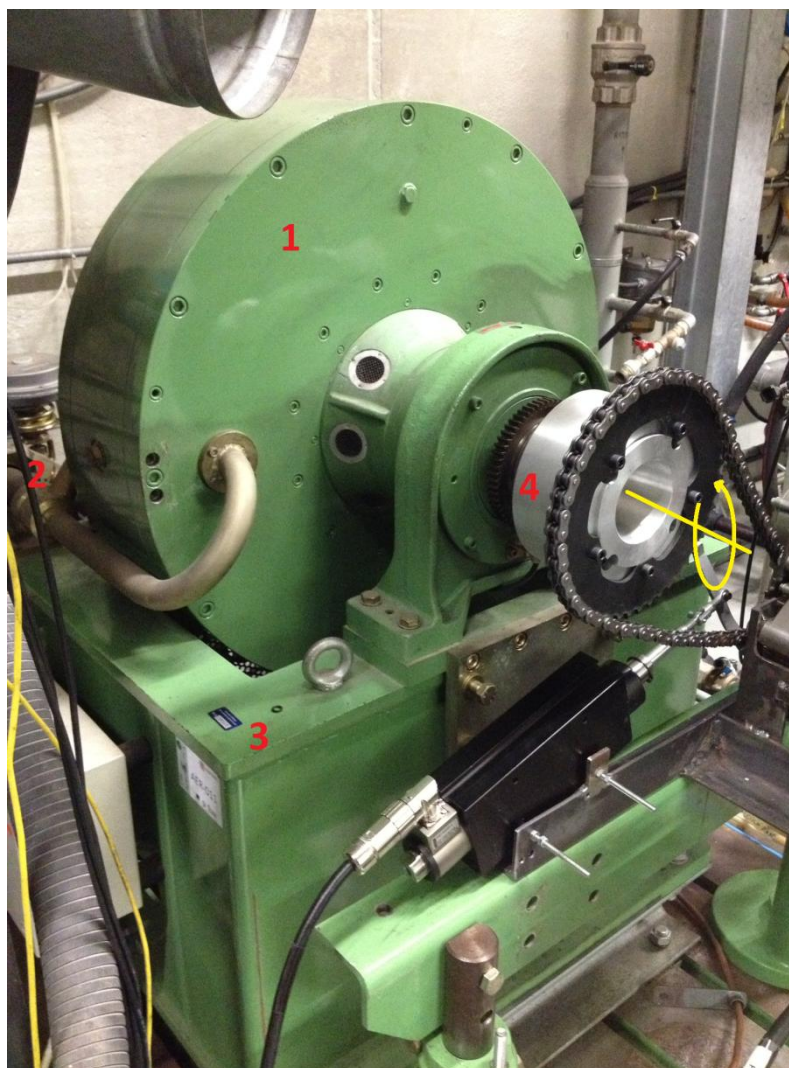


Figura I.1.c Freno FE 350 S a correnti parassita

Le macchine cuplometriche hanno la carcassa oscillante (1 in figura) che ruota attorno all'asse coincidente con quello dell'albero motore (in giallo in figura). La rotazione è però impedita da una cella di carico (2 in figura), contenente il ponte di Wheatstone (vedi capitolo precedente) posta tra il basamento (3 in figura) che è fissato al terreno e la carcassa (mobile), ad una certa distanza dall'asse di rotazione (braccio b). La cella di carico misura la forza F necessaria ad impedire la rotazione

ed, essendo noto e costante il braccio, il momento torcente (Coppia) è univocamente determinato:

$$C = F \times b.$$

Quindi conosceremo anche la potenza:

$$P = C \times \omega = C \times \frac{2 \pi n}{60},$$

dove ω [$\frac{rad}{sec}$] è la velocità angolare istantanea e n [$\frac{giri}{min}$] sono i giri a cui il freno sta mantenendo il motore. Il collegamento motore-freno, per l'installazione presa in considerazione, avviene tramite catena (4 in figura) ad uso motociclistico a maglie.

Diametro albero	[mm]	60
Numero rotorì	[]	1
Diametro rotore	[mm]	506
Coppia massima	[Nm]	1400
Velocità rotazione massima	[RPM]	8000
Potenza massima	[hp]	350
	[kW]	257.40
Momento d'inerzia	[kgm ²]	0.618
Portata liquido raffreddamento	[m ³ /h]	11.0
Peso	[kg]	723

Tabella I.1.a Dati tecnici freno FE350S

Tra motore e freno vi è un rapporto di riduzione $\tau_c = 3,4286$, calcolato $\frac{z1}{z2}$ dove $z1$ = numero di denti della corona, mentre $z2$ = numero di denti del pignone. Il rapporto di riduzione totale è noto ($\tau_{tot} = 9,007$) ed è stato ottenuto tramite il rapporto dei numeri di giri di freno e motore rilevati rispettivamente dal freno e dal segnale di ruota fonica

di OBI (sistema di cui si parla successivamente). In questo modo è possibile ottenere il rapporto di riduzione interno relativo al posizionamento del cambio sulla 4° marcia τ_{int} ottenuto $\frac{\tau_{\text{tot}}}{\tau_{\text{cat}}}$ pari a 2,627. È stato calcolato solo quello relativo alla 4° marcia poiché tutti i test e le prove si sono svolte con il cambio posizionato sulla 4° marcia.

I.2 SPECIFICHE TECNICHE MOTORE MAHINDRA

Il propulsore in questione è un Mahindra Mojo 300, raffreddato a liquido. Il Mojo è caratterizzato da un unico cilindro da 300cc DOHC, che produrrà circa 26-27 CV a 8500rpm e 24-25 Nm di coppia a 7000rpm. Il propulsore è dotato del sistema di iniezione elettronica di carburante Ducati Energia ad iniezione indiretta ed è equipaggiato infine di un cambio a sei marce. Con DOHC (Double Overhead Camshaft) si intende la distribuzione con doppio albero a camme in testa. Tale tipologia di distribuzione migliora la potenza e la durata del motore, in quanto ci sono meno dispersioni d'energia per regolare il moto delle valvole, avendo una punteria con meno parti in movimento, contrariamente ai motori con distribuzione ad aste e bilancieri, e la distribuzione stessa è meno bisognosa di manutenzione, in quanto le camme sono a diretto contatto con le valvole o vi è interposto un bilanciere a dito, che permette di ridurre le forze laterali applicate alle punterie.

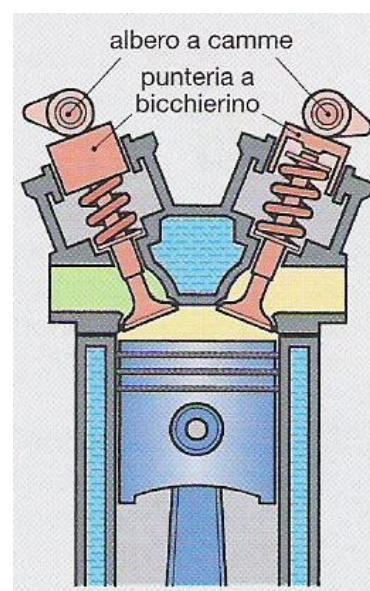


Figura I.2.a Schema di funzionamento cilindro DOHC

I.3 DETTAGLI MOTORE

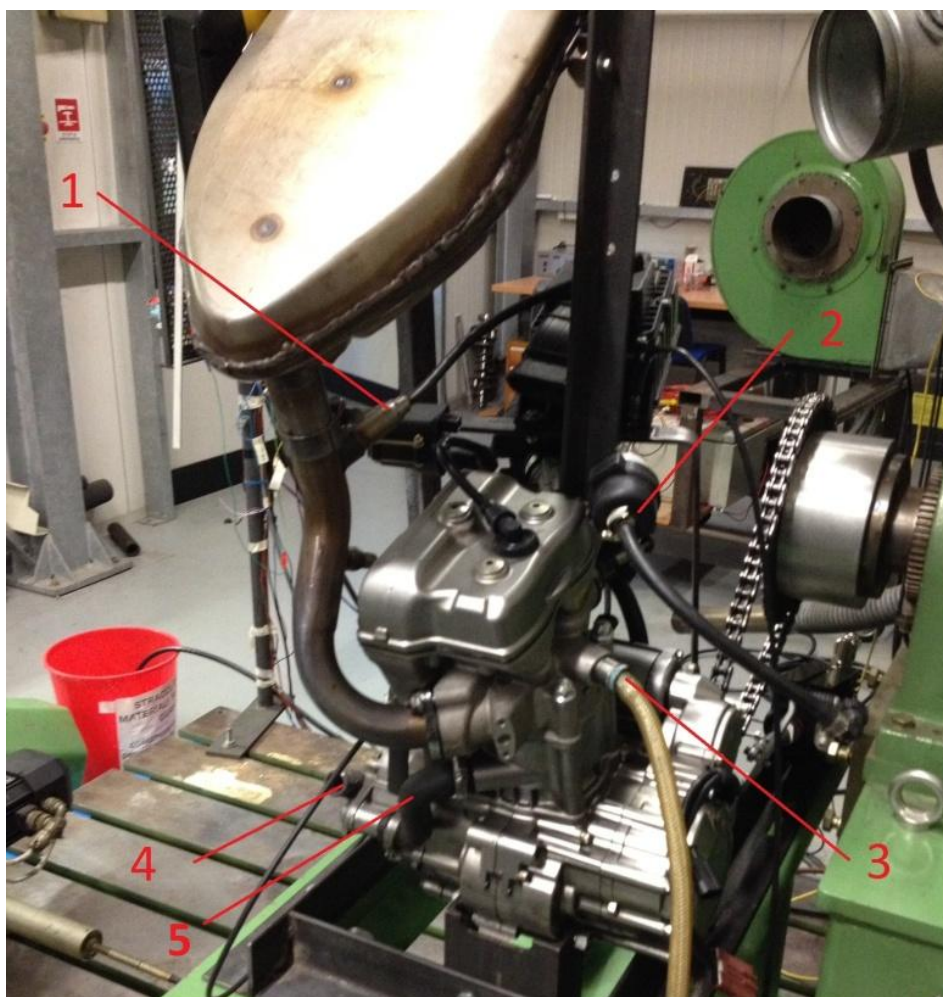


Figura I.3.a Vista anteriore del motore

Vista anteriore del motore (Figura I.3.a):

- 1) Sensore sonda lambda (EGO);
- 2) Ingresso benzina al motore, monte filtro;
- 3) Uscita camicia cilindro (acqua calda);
- 4) Aspirazione pompa centrifuga (acqua fredda);
- 5) Mandata pompa centrifuga.

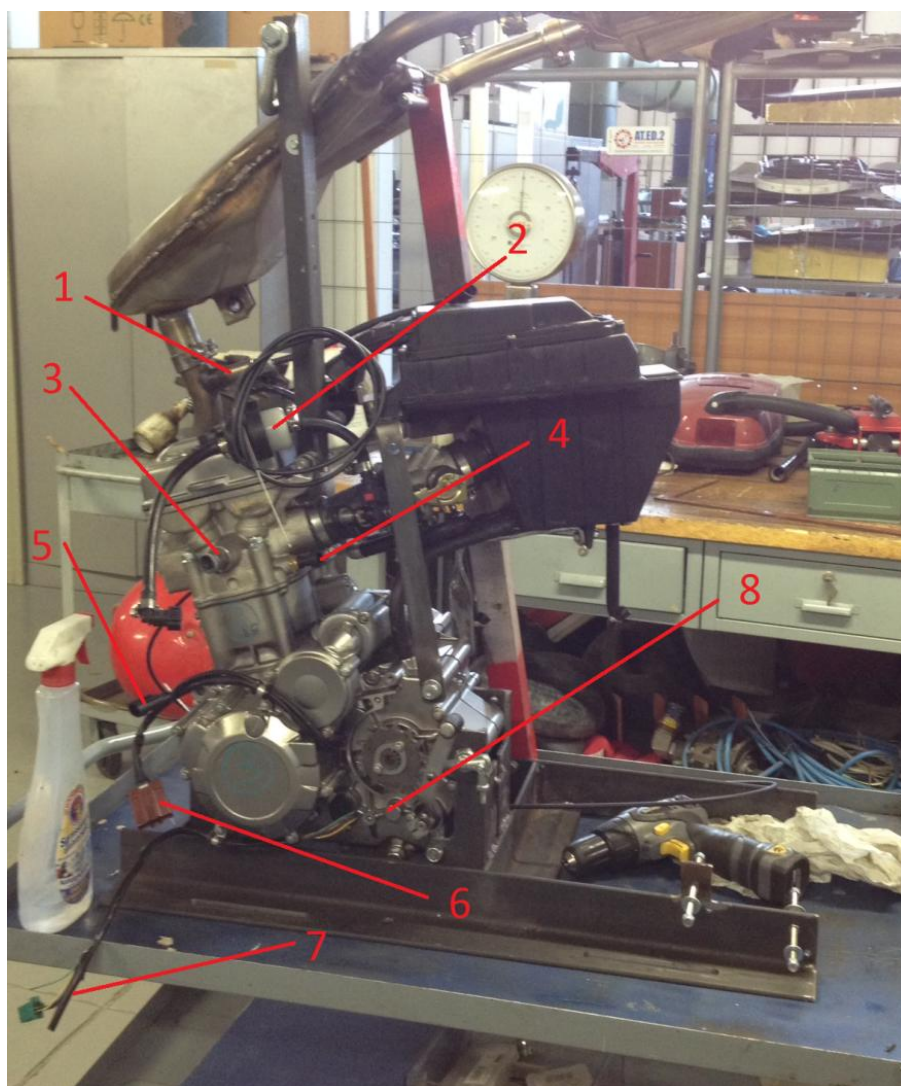


Figura I.3.b Vista laterale motore

Vista laterale del motore (Figura I.3.b):

- 1) Sonda lambda (EGO);
- 2) Ingresso e filtro benzina;
- 3) Uscita camicia cilindro (acqua calda);
- 4) Sensore temperatura motore;
- 5) Sensore posizione albero motore VRS;
- 6) Connettore alternatore;
- 7) Sensore posizione cambio;
- 8) Leva del cambio.

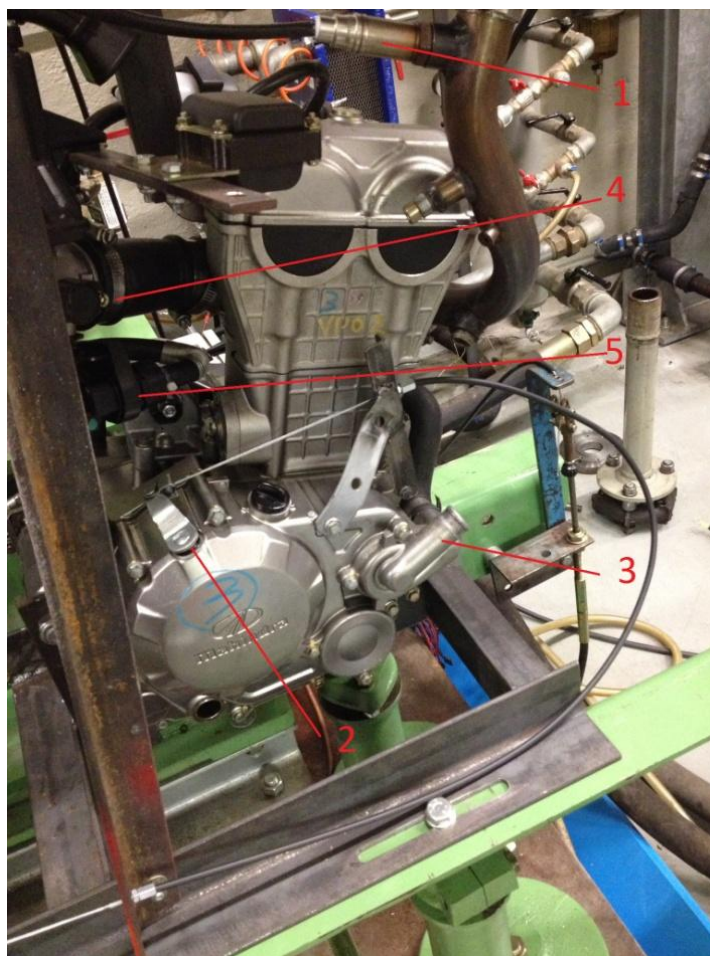


Figura I.3.c Vista laterale motore (particolare)

Vista laterale del motore (particolare Figura I.3.c):

- 1) Sonda lambda EGO;
- 2) Leva frizione;
- 3) Aspirazione pompa centrifuga (acqua fredda);
- 4) Potenzimetro farfalla TPS (Throttle Position Sensor);
- 5) Bypass Idle.

CAPITOLO II ALLESTIMENTO BANCO PROVA

II.1 LAVORI PRELIMINARI E TRASPORTO AL BANCO

Le prime tappe di avvicinamento alla sistemazione del motore sul basamento, sono state quelle di creare un sostegno per il propulsore e di ruotare gli scarichi di 180° rispetto la loro posizione originale in modo da poter lavorare meglio sul motore. Questo lavoro (Figura II.1.a) è stato eseguito dai tecnici presenti in officina.

Il prototipo ha due terminali di scarico valle catalizzatore, essendo però un monocilindrico, il collettore in uscita dal cilindro è unico e qui sono alloggiati la sonda lambda lineare (UEGO), la sonda lambda isterica (EGO) e il sensore di temperatura dei gas di scarico. Si è deciso di ruotare i due terminali di 180°, come sopra descritto, poiché la loro posizione originale creava problemi con il sostegno motore.

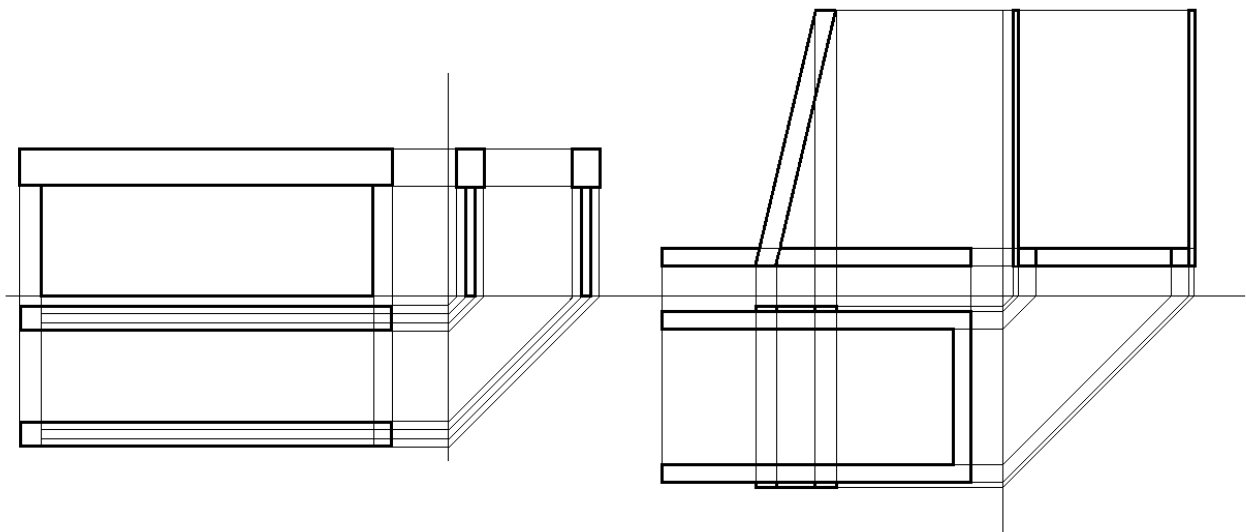


Figura II.1.a Basamento del banco (sinistra)
& sostegno motore (destra)

Parallelamente alla costruzione del supporto è stato verificato e pulito il circuito interno benzina, poiché in precedenza era stato utilizzato un altro carburante (etanolo E85). Inoltre, la valvola di regolazione della pressione benzina è stata impostata a 2,6

bar, secondo quanto osservato sull'unità originale. Il propulsore, una volta ancorato al sostegno, è stato prima trasportato con l'ausilio di un carrello dall'officina nei pressi del banco e successivamente posizionato sul basamento del banco prova tramite una gru del carroponte (Figura II.1.b). Il basamento del banco prova poggia su fondazioni distinte da quelle del fabbricato, allo scopo di non trasmettere vibrazioni alle strutture di quest'ultimo. Si ha a che fare con un monocilindrico che è quindi naturalmente soggetto ad una notevole quantità di vibrazioni durante il funzionamento.

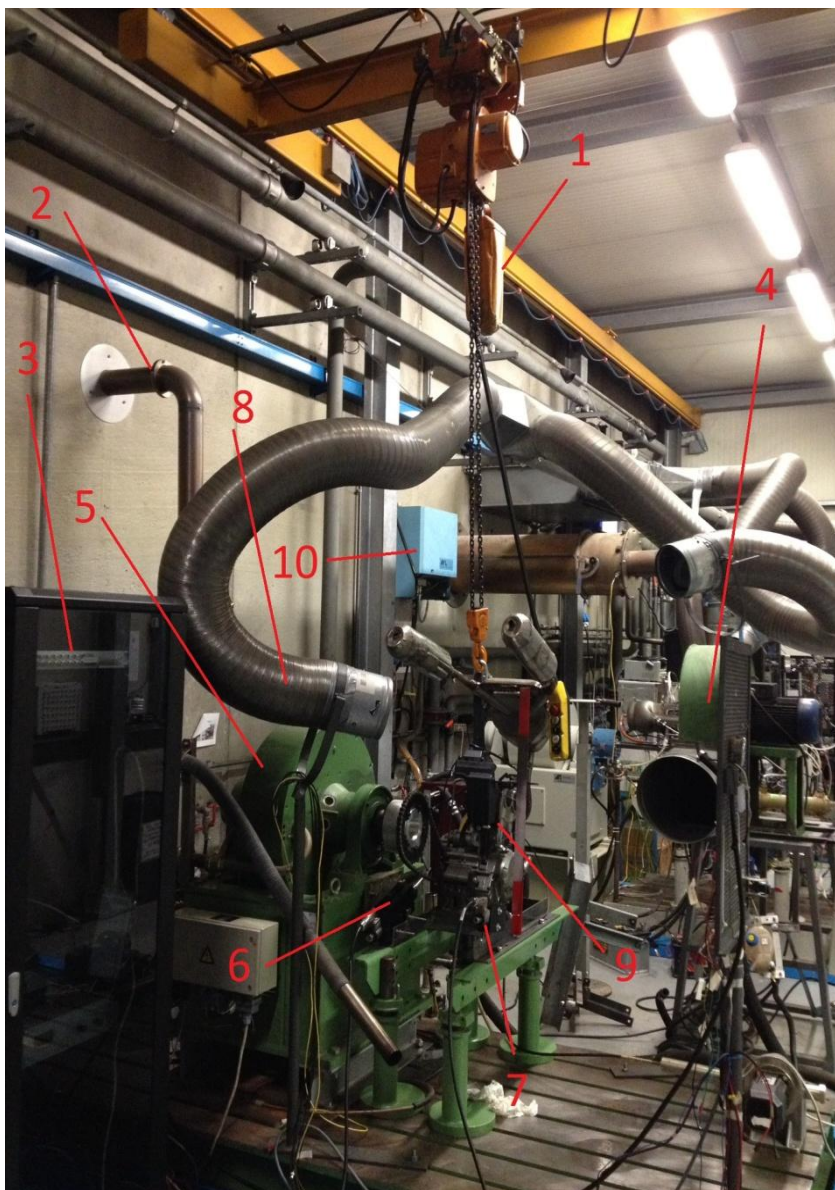


Figura II.1.b Trasporto motore al banco

Trasporto motore al banco (Figura II.1.b):

- 1) Gru porta carichi;
- 2) Camino;
- 3) Rack contenente controller;
- 4) Ventilatore;
- 5) Freno/utilizzatore;
- 6) Attuatore del cambio;
- 7) Attuatore della frizione;
- 8) Tubi per il ricircolo dell'aria;
- 9) Motore al banco;
- 10) Bilancia per misurare la massa del carburante utilizzato.

Dopo aver installato il propulsore al banco prova, la priorità era quella di incanalare i gas esausti della combustione al camino (vedi punto 2 Figura II.1.b). la soluzione adottata è stata quella di collegare ciascuno degli scarichi (sezione destra della Figura II.1.c), tramite un raccordo divergente (sezione centrale della Figura II.1.c) saldato ad hoc, che si immette in un tubo flessibile (sezione sinistra della Figura II.1.c) collegato al camino.



Figura II.1.c Particolare, da sinistra verso destra, tubo – raccordo - scarico

II.2 CIRCUITO DI RAFFREDDAMENTO

Modifiche al circuito idraulico

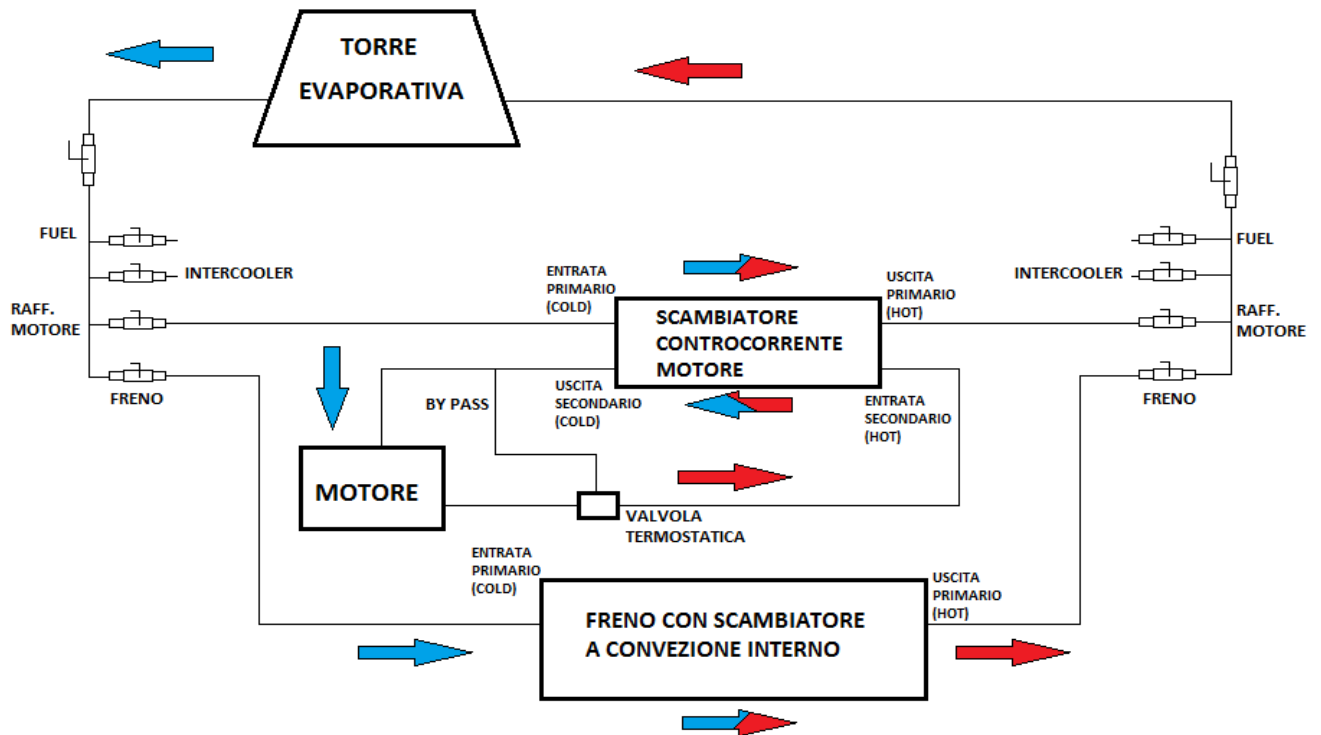


Figura II.2.a Circuito Idraulico

Il circuito di raffreddamento del prototipo a 4 tempi è stato radicalmente modificato, rispetto a quello del motore originale, in vista del funzionamento al banco. Il motore originale era dotato di uno scambiatore aria/acqua (il radiatore) nel quale il liquido di raffreddamento veniva raffreddato per effetto della convezione dell'aria incontrata dalla motocicletta durante il suo avanzamento. Il radiatore prevedeva inoltre una ventola azionata da un termostato nel caso in cui la convezione naturale fosse risultata insufficiente a raffreddare il liquido. Poiché il prototipo si troverà a funzionare al banco in un ambiente chiuso, è stato sostituito il radiatore con uno scambiatore a superficie che utilizza l'acqua corrente per sottrarre calore al liquido di raffreddamento del motore (circuito secondario). Il circuito primario prevede che l'acqua calda in uscita dallo scambiatore, sia raffreddata nella torre evaporativa posta

all'esterno dell'Hangar e successivamente l'acqua fredda, entrando nello scambiatore controcorrente, raffreddi l'acqua del circuito secondario. Il circuito primario è stato ramificato in modo da mandare acqua fredda al freno (che possiede uno scambiatore a convezione interno) e raccogliere l'acqua calda in uscita dal freno stesso.

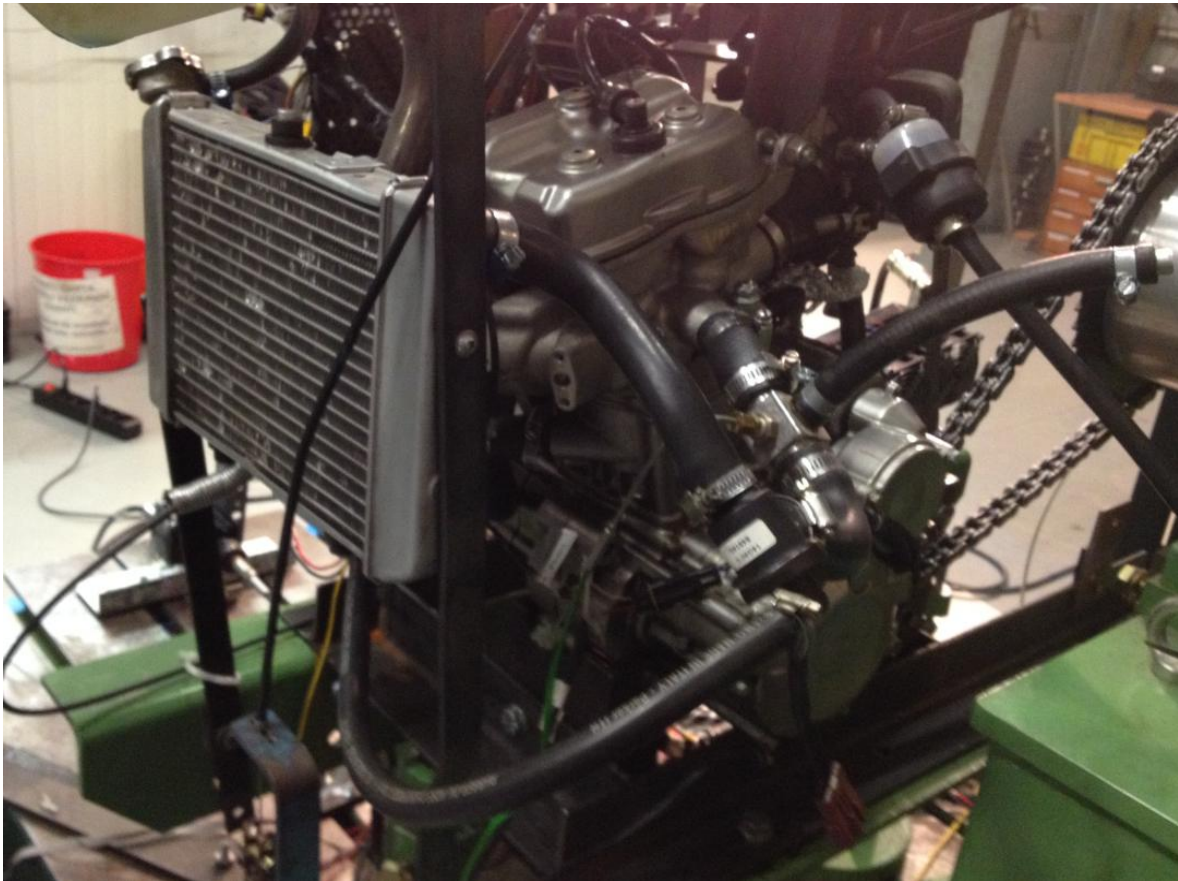


Figura II.2.b Radiatore di serie

Ritorno al circuito idraulico di serie

Dopo aver acceso il propulsore, si è notato che la temperatura dell'acqua rimaneva troppo bassa: l'acqua di raffreddamento ha, infatti, una temperatura di circa 90°C in normali condizioni di funzionamento. Poiché la potenza scambiata dello scambiatore in controcorrente supera di gran lunga la potenza termica prodotta dal propulsore a causa delle elevate differenze di portata nei due circuiti, appena si apre la valvola termostatica, la temperatura dell'acqua nel circuito secondario cala di molto, facendo chiudere immediatamente la valvola. La potenza scambiata è :

$$Q = G \times c_l \times \Delta T$$

dove G [$\frac{kg}{s}$] sta per la portata in massa, c_l [$\frac{J}{kg K}$] il calore specifico, mentre ΔT [K] è la differenza di temperatura tra i fluidi. Per ovviare al problema si è provato a far variare i parametri, ma essendo il medesimo fluido il calore specifico è lo stesso e sulle temperature non è stato possibile agire, quindi è stato inserito un by-pass in modo da poter miscelare acqua calda e fredda per ottenere la temperatura ideale. Tuttavia, come già detto, a causa della maggior potenza scambiata nello scambiatore, non appena si apriva la valvola termostatica, la temperatura crollava, facendo così nascere un comportamento intermittente della valvola stessa. L'unico modo per evitarlo era quello di rendere simili le portate, operazione possibile solo posizionando le valvole sul circuito primario in posizioni prossime alla totale chiusura. Questa soluzione era inefficiente perché solo con un piccolo scostamento si ritornava alla situazione precedente. Successivamente si è verificato che impiegando il circuito di raffreddamento di serie, composto dal radiatore e dal circuito di by-pass, era possibile stabilizzare il motore a temperature corrispondenti al normale funzionamento a caldo.

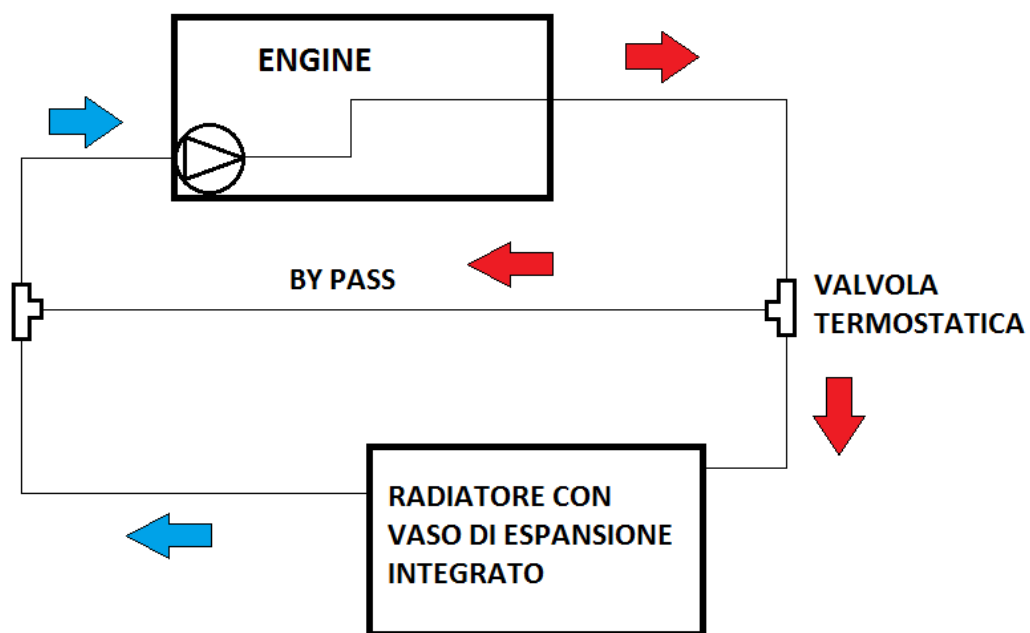


Figura II.2.c Circuito idraulico definitivo

Vaso di espansione

Il vaso di espansione è un componente idraulico che funge da volano di pressione, ovvero svolge la funzione di contenere le variazioni di pressione del circuito evitando pericolosi sbalzi e colpi d'ariete, che altrimenti dovrebbero essere assorbiti dalle tubature e dal resto dell'impianto. Il vaso di espansione pone il fluido a diretto contatto con l'atmosfera. Per compensare correttamente la pressione del circuito, deve essere collocato necessariamente nel punto più alto dell'impianto. Un altro pregio relativo all'inserimento di questo componente è la compensazione di eventuali incrementi di volumi di fluido refrigerante, che andrebbero a creare delle sovrappressioni nel circuito rischiando di danneggiarlo. La pressione che si crea nell'impianto è pari a quella della colonna di acqua esistente tra il vaso aperto e il propulsore.

Raffreddamento scarichi e attuatori

Durante le prove effettuate, si è notato che gli scarichi e gli attuatori si surriscaldavano rischiando di compromettere il componente in oggetto. Per ovviare tali problemi sono stati installate due ventole da PC (Figura II.2.d) che aspirano il calore generato dall'attuatore e un ventilatore industriale (Figura II.2.e) per limitare la temperatura agli scarichi.



Figura II.2.d Ventole da PC



Figura II.2.e Ventilatore industriale

II.3 CIRCUITO BENZINA

Per quanto riguarda il circuito di alimentazione, lo si può dividere in due parti principali: all'interno e all'esterno dell'edificio.

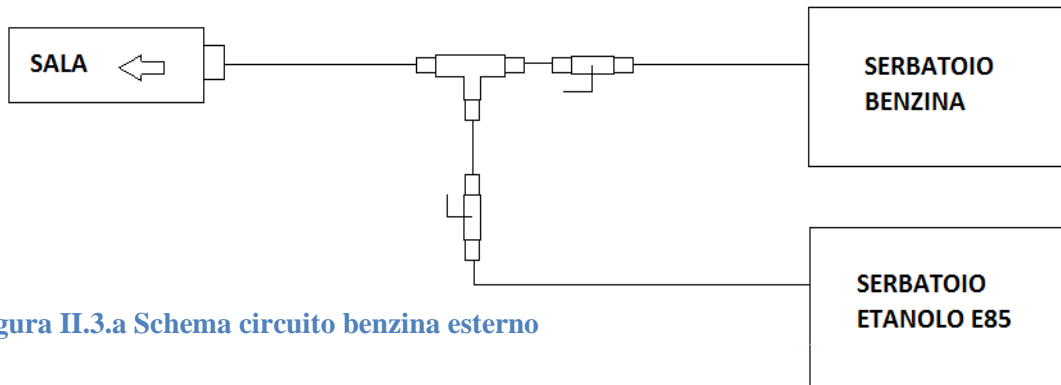


Figura II.3.a Schema circuito benzina esterno

All'esterno dell'Hangar c'è un vano dove sono conservati, sotto chiave, i serbatoi del carburante.

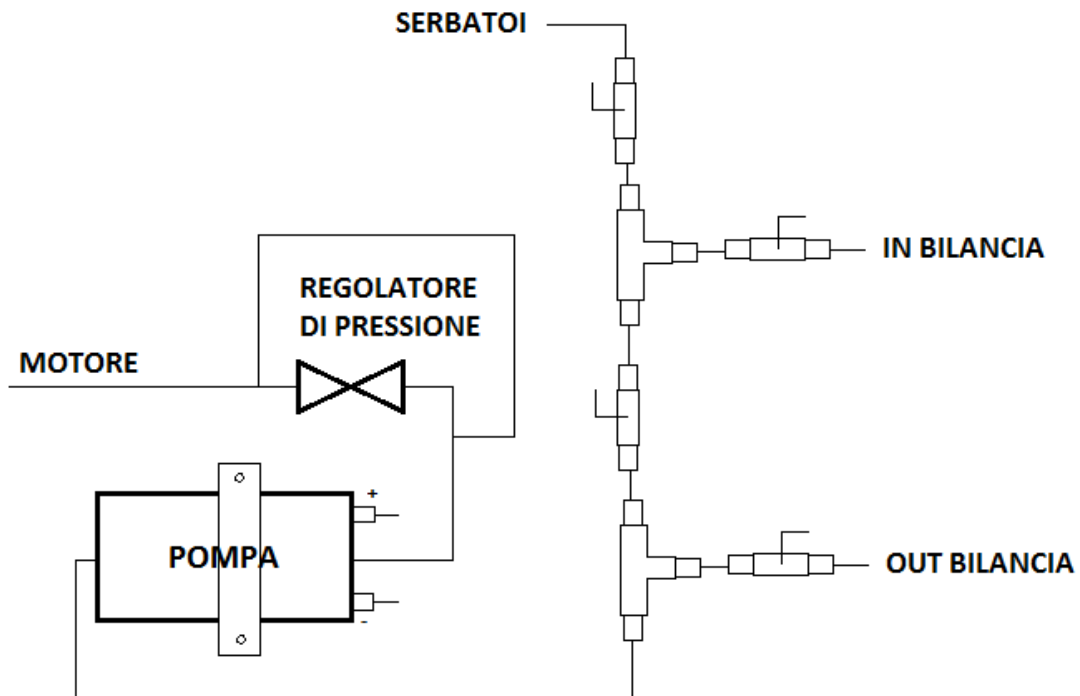


Figura II.3.b Schema circuito benzina interno principale

Ad ogni serbatoio è collegato in serie un rubinetto e, siccome sono stati usati sullo stesso banco, quello benzina e quello etanolo sono sulla stessa via (Figura II.3.a). Per evitare qualsiasi problema di adescamento e cavitazione delle pompe, i serbatoi sono tutti posti, in linea d'aria, soprabattente, ovvero le pompe sono tutte ad un livello geodetico inferiore. Il circuito interno è diviso in due rami, quello principale che porta benzina al motore e quello della bilancia che fa fare un giro ulteriore al carburante in modo da poterne rilevare il consumo.

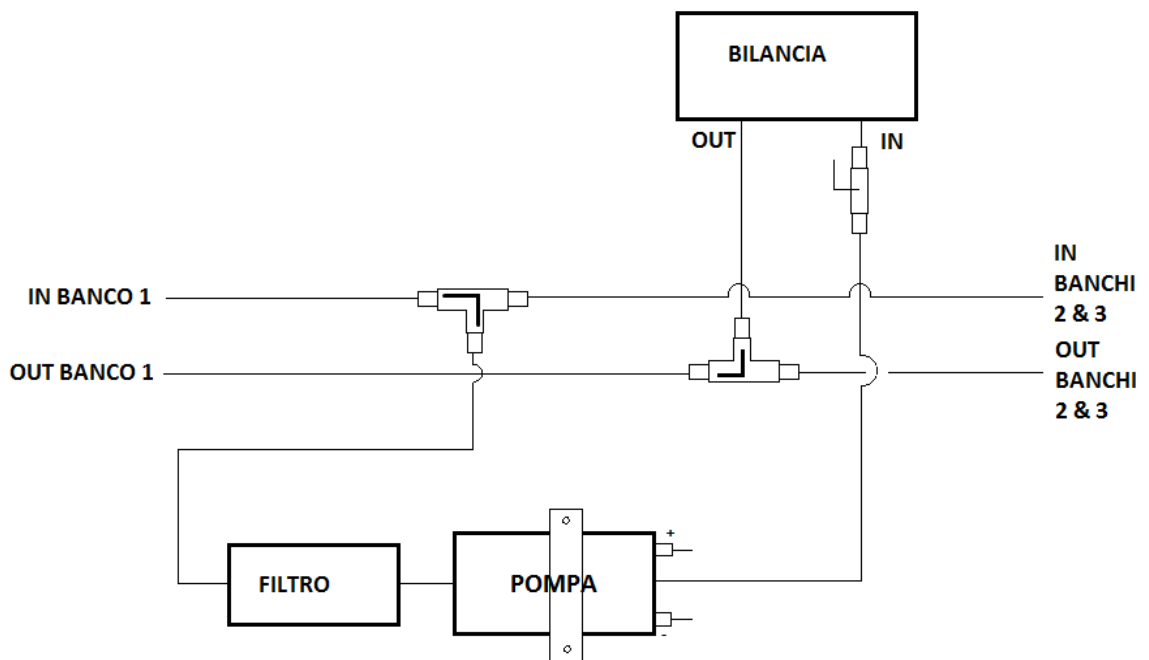


Figura II.3.c Schema circuito benzina interno "bilancia"

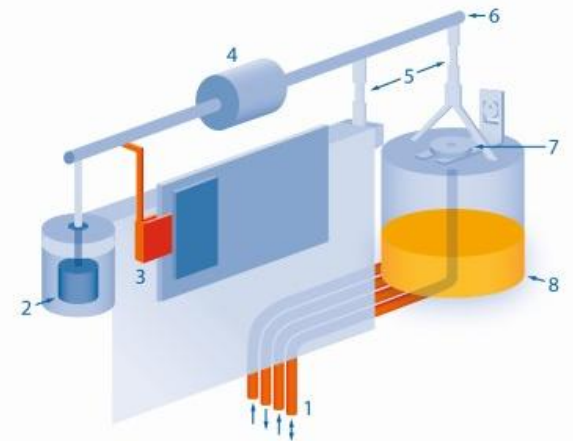
Il ramo principale (Figura II.3.b) è costituito da un rubinetto, per aprire o chiudere l'alimentazione al banco, una combinazione di "tre-vie" per poter accedere al ramo bilancia, una pompa, per mandare il fluido in pressione, e il regolatore di pressione tarato, come detto in precedenza, in modo da avere al motore una prevalenza di 2,6 bar, che è la stessa esercitata dalla pompa di serie sulla motocicletta. Il circuito "bilancia" (Figura II.3.c) è comune a tutti e tre i banchi prova e tramite l'ausilio di due rubinetti "tre-vie" si sceglie su quale banco misurare il consumo del propulsore.

Bilancia

La bilancia misura il consumo di combustibile ed è di tipo massico, cioè misura la variazione di massa contenuta in un serbatoio, nell'ambito di un dato intervallo temporale, misurando la variazione di forza peso. In sala è presente il sistema AVL 733 (Figura II.3.d) che si avvale di un serbatoio di misura sospeso su un sistema a



Figura II.3.d Bilancia AVL 733



- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| 1 Fuel supply connections (4) | 5 Blade spring |
| 2 Damping device | 6 Measurement beam |
| 3 Capacitive sensor | 7 Calibrating weight |
| 4 Tara weight | 8 Measuring vessel |

Figura II.3.e Principio di funzionamento della bilancia

bilancia con due bracci e contrappesi fissi. Il dispositivo è dotato di un sistema automatico di lettura del consumo massico, attraverso il rilevamento del moto dei bracci con sensore capacitivo. La misurazione del consumo viene programmata, ed il risultato acquisito, attraverso comunicazione seriale.



Figura II.3.f Motore - Bilancia

Per poter effettuare la misura la bilancia deve essere riempita, e ciò può avvenire in cinque semplici passi:

Dopo aver controllato che non sia in funzione nessun motore in sala vi si può accedere per il riempimento della bilancia che prevede:

- Aprire il rubinetto che collega l'impianto ai serbatoi esterni (Figura II.3.b);
- Posizionare i rubinetti sottostanti in configurazione bilancia (Figura II.3.f);
- Aprire il rubinetto della bilancia;
- Verificare che i rubinetti sottostanti siano diretti verso il banco interessato (Figura II.3.g);
- Alimentare la pompa della bilancia con una tensione di 12V.
- Al termine del riempimento la pompa, anche se alimentata smette di funzionare da sola.

Mentre a misurazione ultimata, se è rimasto del carburante nella bilancia e lo si vuole recuperare, lo si può far evacuare in cinque semplici step:

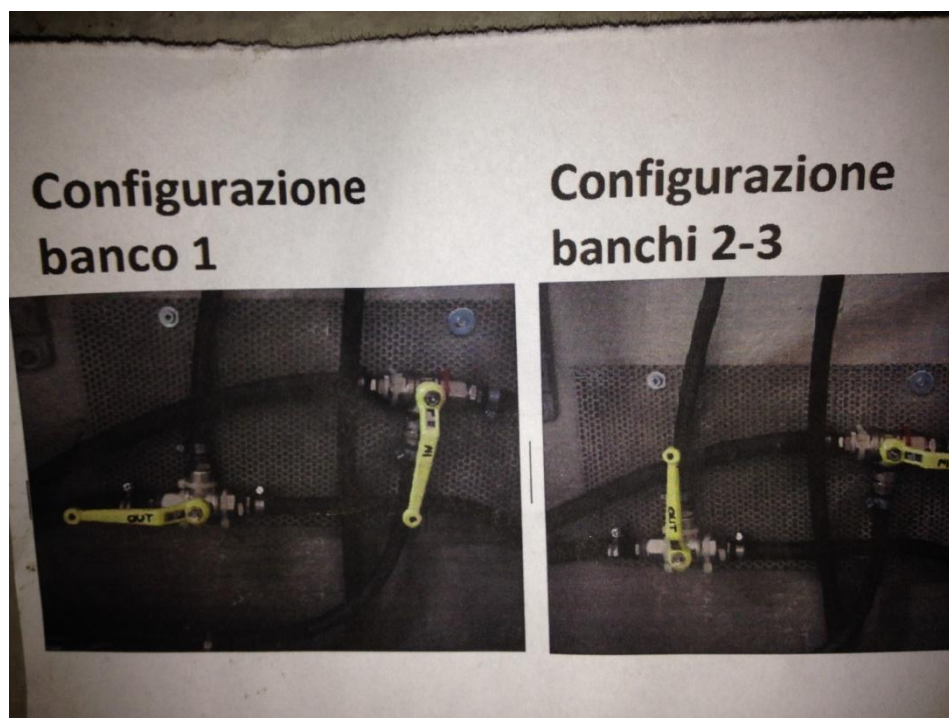


Figura II.3.g Configurazione banchi

- Chiudere il rubinetto che collega l'impianto ai serbatoi esterni (Figura II.3.b);
- Posizionare i rubinetti sottostanti in configurazione bilancia (Figura II.3.f);

- Verificare che i rubinetti sotto la bilancia siano diretti verso il banco interessato (Figura II.3.g);
- Alimentare la pompa del motore al banco con una tensione di 12V.
- Al fine di evitare il danneggiamento della suddetta bisogna tagliarne l'alimentazione non appena la bilancia si è completamente vuotata e ciò si può verificare collegando a quest'ultima un controller che in tempo reale ne verifica lo stato.

II.4 CAMERA DI CONTROLLO

La camera di controllo è posta di fronte al banco su cui è stato installato il prototipo; è possibile controllare l'andamento delle prove anche visivamente poiché è presente una finestra in vetro antiscalfittura. Da essa è possibile modificare le condizioni di funzionamento del motore e tenere sotto controllo alcune grandezze significative.

All'interno (Figura II.4.a) ci sono due file di tavoli paralleli dove sono disposti i computer che si usano per il controllo motore e per la ricerca, al centro del tavolo sotto il finestrone è posizionata la chiave per accendere il motore.



Figura II.4.a Camera di controllo

CAPITOLO III CABLAGGIO

III.1 INTRODUZIONE

Un componente di primaria importanza per il funzionamento di un motore è il cablaggio elettrico. L'idea di fondo del cablaggio è stata quella di operare mantenendo tutti i dispositivi in sala prove, lasciando in sala di controllo solo la chiave per l'accensione del motore e l'host di controllo. Il componente basilare di questo sistema è la centralina motore, anche detta ECU: Engine Control Unit (vedi capitolo successivo). Il motore è arrivato quasi completamente strumentato, molti dei sensori che si utilizzano sono quelli montati di serie sulla vettura, altri però, sono stati installati in laboratorio. Il cablaggio si può suddividere in due circuiti: serie e "rack".

III.2 CABLAGGIO DI SERIE

Il cablaggio di serie prevede due percorsi, il primo è quello in cui i dati raccolti dai sensori arrivano alla centralina, mentre nel secondo i dati elaborati dall'ECU procedono nel senso opposto andando ad agire direttamente sulle attuazioni del propulsore.

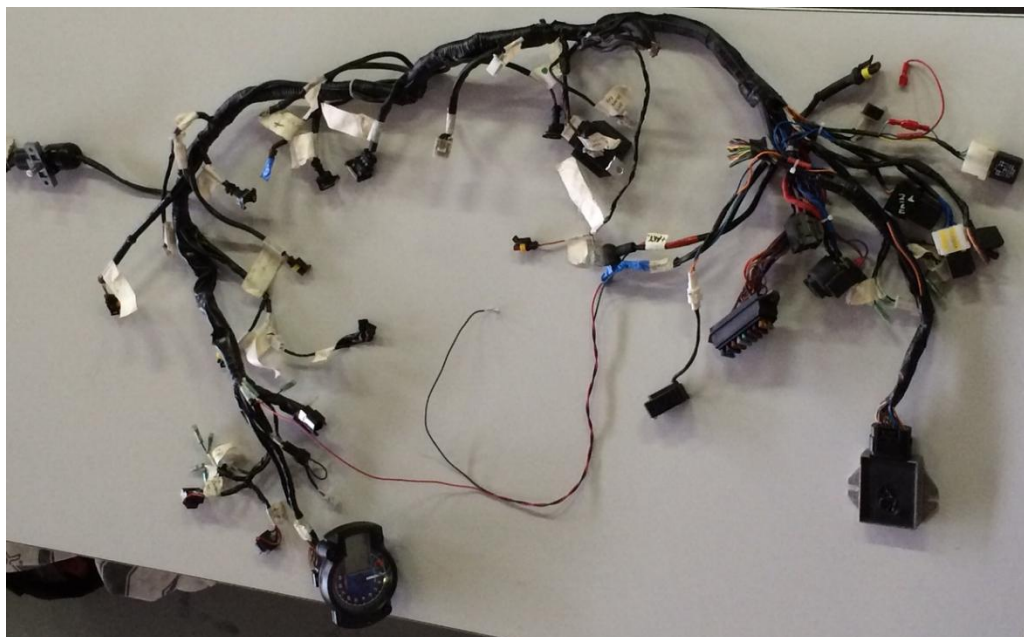


Figura III.2.a Cablaggio di serie

III.3 CABLAGGIO “RACK”

Il circuito di cablaggio contestualizzata con “cablaggio rack”, è stato introdotto in modo da poter comunicare e comandare, tramite l’Host, tutti gli azionamenti agenti sul propulsore. il “rack” è l’armadio in cui sono inseriti tutti gli hardware che ricevono e inviano dati e segnalazioni, è gestito da un PC in real time ed è collegato tramite cavo ethernet all’Host di sala.

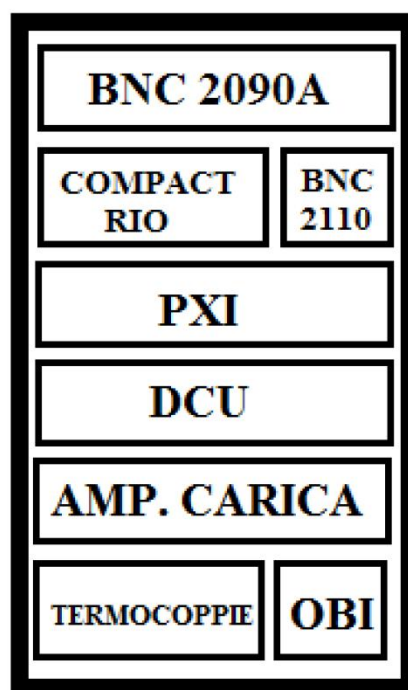
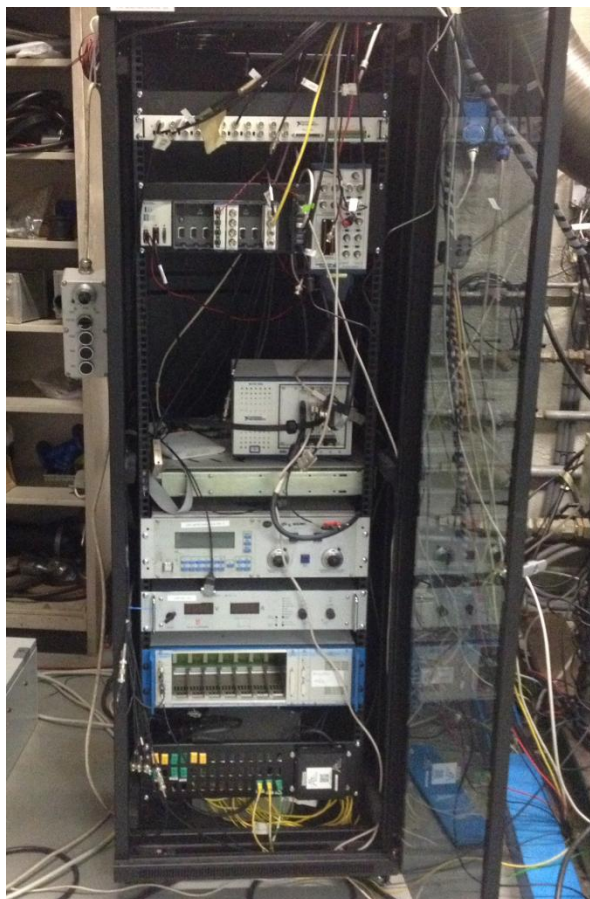


Figura III.3.a “Rack” & schema composizione “rack”

Il “rack” è composto da:

- BNC 2090A;
- COMPACT RIO;
- BNC 2110;
- PXI;
- DCU;
- Amplificatore di carica;

- Dal pannello che raccoglie tutte le termocoppie ;
- OBI.

I primi tre elementi sono delle pannelliere composte da schede di acquisizione tramite BNC e di interfaccia dati ovvero tramite le quali è possibile comandare attuazioni (vedi ventilatore) mediante l'Host. Il PXI permette di interfacciare la DCU con il real time che è comandato dall'Host, dove la DCU è il pannello del controllo freno, per mezzo del quale è possibile calibrare e modificare i parametri caratteristici del freno (regime e coppia). La pannelliera delle termocoppie è direttamente collegata al SCXI che ha già la compensazione del giunto freddo (vedi capitolo successivo). OBI e l'amplificatore di carica gestiscono e rendono visibile a Test It il segnale in uscita dalla candela strumentata (vedi capitolo successivo) che rende possibile l'analisi indicating. Il segnale in uscita dalla candela strumentata (pC/bar) viene amplificato e implementato (da pC/bar passa a mV) dall'amplificatore di carica e arriva ad OBI che lo rende visibile all'Host come un segnale di pressione (bar) (vedi [Figura III.3.b](#)).

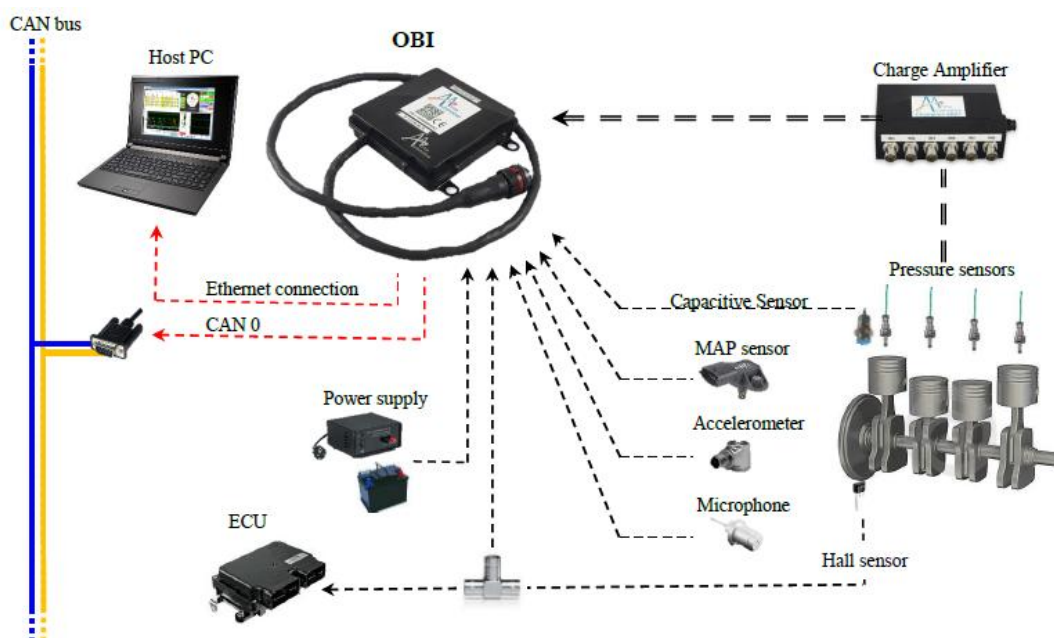


Figura III.3.b Schema elettrico OBI

CAPITOLO IV DESCRIZIONE sensore e componenti

IV.1 INTRODUZIONE

Per portare a termine, nella maniera più esaustiva possibile, l'analisi al banco di un propulsore, è indispensabile poter carpire il maggior numero possibile di informazioni e variabili che ne caratterizzano il funzionamento. Per queste ragioni, la combinazione dei sensori, originali e secondari, del motore Mahindra è la seguente:

- a) quattro termocoppie (acqua motore, olio motore, scarico, acqua in uscita dal cilindro);
- b) due sonde λ allo scarico (UEGO, EGO);
- c) bypass IDLE;
- d) tempo carica bobina e conseguentemente istante angolare di scarica bobina al quale corrisponde l'anticipo di accensione attuato SA;
- e) tempo di iniezione;
- f) ruota fonica (pick up);
- g) candela strumentata;
- h) apertura valvola farfalla (TPS).

In seguito una descrizione dei componenti più importanti montati sul propulsore.

IV.2 ECU (ENGINE-CONTROL-UNIT)

L'ECU è il dispositivo di controllo motore, in particolare si tratta di un hardware in grado di comandare gli attuatori del MCI a fronte di determinati segnali in input derivanti dai sensori di serie. L'utilizzo di un controllo di tipo elettronico permette di ottimizzare la formazione della miscela, la combustione ed infine il contenimento delle emissioni inquinanti. Nel caso specifico, la centralina controlla: la quantità di carburante iniettato all'interno del singolo cilindro per ciclo attraverso il tempo d'iniezione, la fasatura d'accensione e il bypass idle. Per funzionare necessita dei dati

provenienti dai sensori di temperatura (acqua e olio motore), fase (pick up), caduta o ribaltamento (stampella), pressione ambiente (sensore implementato in centralina) e Air-Fuel Ratio (sonda λ allo scarico), in modo da poter calcolare e impostare al ciclo successivo tutte le variabili desiderate. Durante l'installazione al banco del motore si è mantenuta collegata la ECU originale e, con la stessa, sono stati effettuati i test che verranno successivamente presentati. In un secondo momento la centralina è stata sostituita con un nuovo prototipo prodotto da Alma-Automotive srl.

IV.3 CANDELA STRUMENTATA

Per rilevare l'andamento della pressione cilindro si è sfruttato un particolare sensore di pressione integrato all'interno della candela di accensione stessa. In particolare si tratta di una candela strumentata Kistler 6113B con la quale, appunto, è possibile determinare l'andamento della pressione in camera di combustione senza dover forare il cilindro

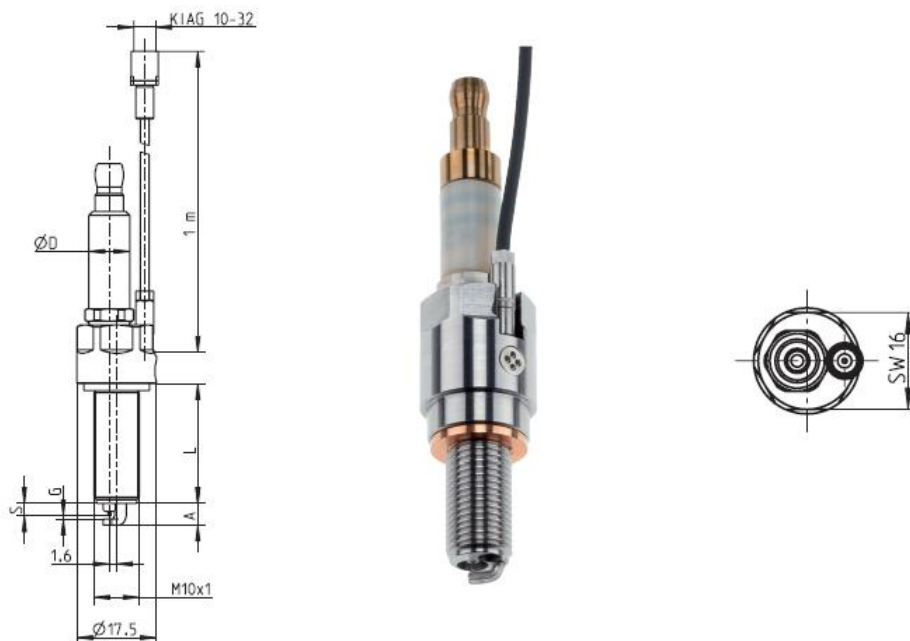


Figura IV.3.a Schema candela strumentata

Partendo da questa informazione, si può così risalire alle grandezze definite “indicate” in quanto si riferiscono al ciclo indicato. Il sensore si basa su un funzionamento di tipo piezoelettrico.

Temperatura di esercizio	-20°C / 200°C
Intervallo di pressione	0 bar / 200 bar
Output	-10 pC / bar

Tabella IV.3.a Dati tecnici candela strumentata

L'effetto piezoelettrico consiste nella variazione di resistenza elettrica del materiale quando viene deformato meccanicamente:

$$\frac{\Delta R}{R} = G \frac{\Delta L}{L}$$

dove la costante di proporzionalità G è chiamata ‘gauge factor’.

La particolarità di questo modello risiede nel fatto che è stato inserito il sensore di pressione all'interno della candela che fa scoccare la scintilla. Questa caratteristica fa sì che non ci sia necessità di modificare la testata del motore e l'installazione risulta semplice e poco invasiva.

IV.4 OBI

OBI (On Board Indicating), è uno strumento che permette di fare una analisi indicating in tempo reale. Con analisi indicating si intende la determinazione dei parametri caratterizzanti un ciclo di combustione inerente ad un ciclo indicato. Tutta l'analisi si basa sul segnale di pressione cilindro, il quale viene analizzato e fasato sulla base della rilevazione della fase del motore (encoder o VRS), esso viene amplificato e analizzato dall'hardware OBI. Da queste due informazioni è possibile calcolare in tempo reale grandezze inerenti ad un ciclo motore indicato quali: PMI, PMIH, MFB10, MFB50, MFB90, MAPO, picco di pressione, posizione del picco di pressione e calore rilasciato. La catena di acquisizione dati, quindi, si basa sulla

misura di pressione precedente. Gli input dell'hardware (pressione cilindro amplificata, sensore di fase ed eventuali input da sensori per analisi detonazioni) si possono vedere a schermo poiché l'OBI è collegato direttamente al PC in real time. Il tutto viene controllato e visualizzato dal computer tramite un software dedicato. L'acquisizione effettuata da OBI viene utilizzata, quindi, come riferimento e metro di giudizio per i valori ottenuti dai sensori.

IV.5 PICK UP

Il pick up è un sensore a riluttanza variabile, posizionato sul carter motore perpendicolarmente ai denti della ruota fonica, ha il compito di misurare le rotazioni dell'albero motore in modo da sincronizzare le attuazioni che devono essere fatte con la posizione angolare del motore (accensione ed iniezione).

Il sensore è costituito da una bobina avvolta attorno ad un magnete permanente e collegata al terminale di rilevamento della velocità angolare. L'allontanarsi ed avvicinarsi delle prominenze, costruite in materiale ferromagnetico (ruota fonica), causa una variazione del flusso del campo magnetico che viene trasformato dal pick up in un segnale in tensione dal quale si può risalire alla velocità angolare del motore.

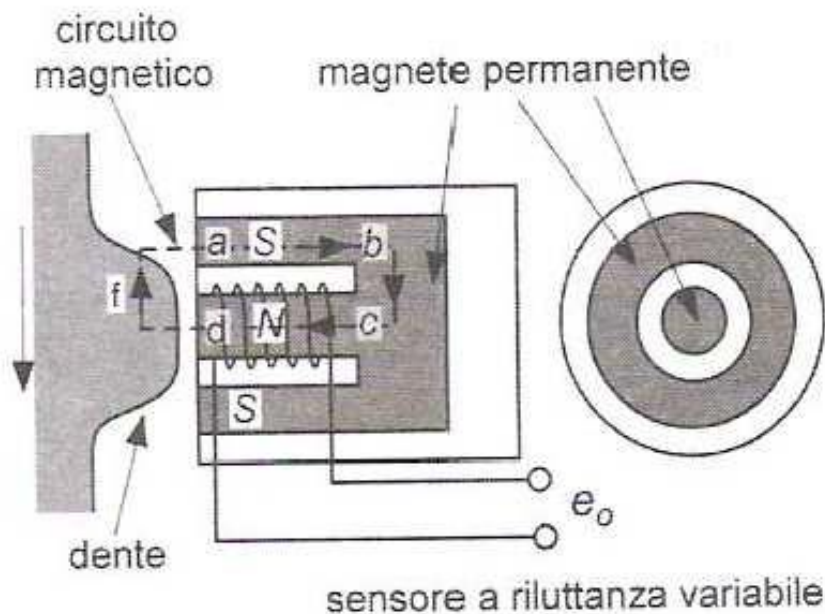


Figura IV.5.a Schema di funzionamento Pick Up

Il passaggio del dente aumenta la permeabilità magnetica relativa del circuito magnetico, con conseguente diminuzione della riluttanza magnetica (R_m). Quindi il flusso magnetico (Φ) aumenta di conseguenza:

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m}$$

con F_m si intende la forza magnetomotrice.

la variazione del flusso genera una forza elettromotrice e pari a:

$$e = \frac{d\Phi}{dt}$$

Questi sensori forniscono un segnale in tensione molto preciso, ripetibile e veloce, dell'ordine di microsecondi, adatto ad essere usato per questo tipo di applicazione. Le caratteristiche del sensore, il traferro (distanza che separa il sensore dalla ruota fonica) le dimensioni dei denti della ruota fonica, determinano l'ampiezza del segnale da inviare all'ECU.

IV.6 BYPASS IDLE

Il bypass idle, componente già integrato sul motore di serie, è un dispositivo che permette di bypassare la valvola a farfalla, e il mantenimento del minimo di giri motore anche a farfalla chiusa.

IV.7 POTENZIOMETRO FARFALLA TPS

La valvola a farfalla è gestita tramite un attuatore controllato da sala, che ne permette l'apertura totale o parziale in modo da poter compiere più prove con differenti carichi di lavoro. I potenziometri sono dei sensori di posizione che si basano sul principio del ripartitore resistivo, infatti la differenza di potenziale tra il cursore e il polo di alimentazione è legata linearmente allo spostamento del cursore. Viene utilizzato

quindi per definire la posizione dell'attuatore che gestisce l'apertura della valvola a farfalla.

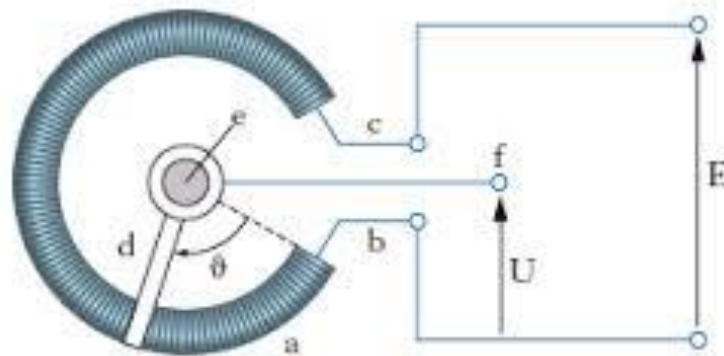


Figura IV.7.a Schema di funzionamento del potenziometro (TPS)

IV.8 SONDA LAMBDA (λ)

La sonda lambda è un trasduttore della pressione parziale dell'ossigeno contenuto nei gas di scarico: è in grado di generare un segnale elettrico in funzione della concentrazione di ossigeno nei gas di scarico (viene così chiamata poiché si è soliti indicare con la lettera λ l'eccesso d'aria). La correlazione tra concentrazione di ossigeno e segnale elettrico dipende dalla tipologia della sonda, se ne distinguono pertanto tre tipi:

- la EGO (Exhaust Gas Oxygen sensor) è un sensore di tipo isterico: il segnale elettrico generato (uscita) è di tipo a gradino, caratterizzato cioè da una transizione del segnale, in corrispondenza di $\lambda = 1$, tra il valore di tensione corrispondente a miscele grasse, circa pari a 0,9 V, e quello relativo a miscele magre, circa pari a 0,09 V (il valore di tensione generata cambia di un fattore 10);
- la HEGO (Heated Exhaust Gas Oxygen sensor), presenta il medesimo principio di funzionamento riscontrato precedentemente per la λ EGO con l'unica differenza di essere pre-riscaldata da una resistenza interna;
- la UEGO (Universal Exhaust Gas Oxygen sensor) è di tipo lineare: il segnale elettrico generato (uscita) ha andamento lineare in funzione della pressione parziale

di ossigeno nei gas di scarico per cui, in base al valore di tensione è possibile risalire al valore effettivo di AFR (Air – Fuel Ratio).

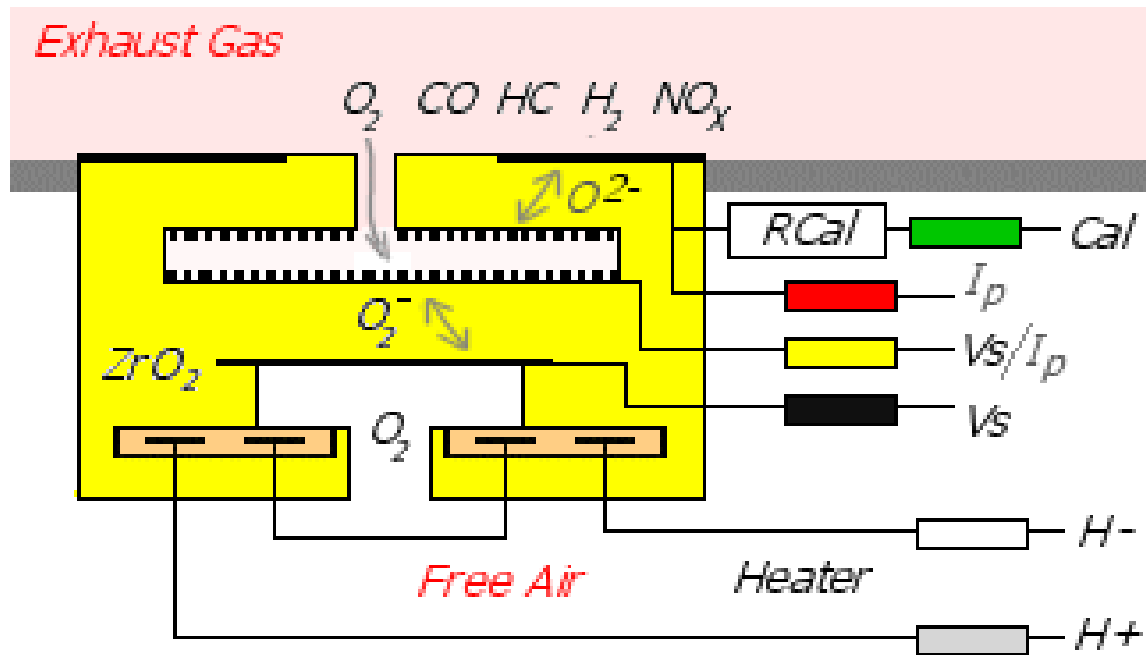


Figura IV.8.a Schema di funzionamento Sonda Lambda UEGO

Più precisamente: sottoponendo l'elettrolita a corrente è possibile spostare ioni O_2 da una parte all'altra dell'elettrolita stesso, in direzione dipendente dal verso della corrente. Nella UEGO viene usato l'accoppiamento della pompa di corrente ad una cella di Nernst. Nella camera di misura (a contatto con l'ambiente di scarico) si cerca di mantenere una miscela stechiometrica (riferimento dell'amplificatore differenziale 450mV, corrispondente a stechiometria). Lo squilibrio rispetto a questo valore porta a pompare corrente in una direzione o in quella opposta. La corrente è una misura del titolo della miscela che compone i gas di scarico.

L'adozione di una sonda lambda isterica provoca l'oscillazione di AFR nell'intorno del valore stechiometrico, data l'impossibilità di confrontare istantaneamente la massa di combustibile iniettato con il segnale proveniente dalla sonda lambda, relativo al valore AFR effettivo; con sonde di tipo EGO/HEGO è dunque possibile ottenere una miscela continuamente oscillante attorno al valore stechiometrico (si

dovrà agire unicamente sull'entità della correzione della massa di combustibile per ottenere un'ampiezza di oscillazione adeguata al funzionamento del catalizzatore).

La sonda lambda lineare permette invece di centrare il titolo della miscela al valore voluto, che non è necessariamente quello stechiometrico ma può essere qualunque, senza che si verifichino oscillazioni di AFR nell'intorno di tale valore.

Il vantaggio dell'impiego della sonda lineare risiede nella possibilità di raggiungere un valore qualsiasi del rapporto A/F: ad esempio, quando vi è richiesta di una maggiore prestazione del motore si può pensare di spostare AFR ad un valore grasso. Le differenze tra la sonda di tipo EGO e quella di tipo HEGO si riscontrano prevalentemente nella temperatura di funzionamento, infatti, la sonda lambda deve raggiungere temperature prossime ai 300÷400°C, mentre la EGO viene riscaldata dai soli gas di scarico, la HEGO è dotata di una resistenza elettrica in grado di diminuire il tempo necessario per raggiungere la temperatura di regime, riducendo il transitorio seguente l'avviamento, in cui la sonda lambda non è in grado di generare il segnale elettrico.

IV.9 TERMOCOPPIE

La termocoppia è un sensore di temperatura largamente diffuso. In particolare le termocoppie sono ampiamente utilizzate perché economiche, facilmente sostituibili, standardizzate e possono misurare un ampio intervallo di temperature. Nonostante il loro vasto utilizzo, il loro limite più grande è l'accuratezza, infatti errori sistematici minori di un grado Celsius sono difficili da ottenere. Inoltre le termocoppie sono dei dispositivi non lineari.

Il principio di funzionamento di una termocoppia prevede che in un circuito formato da due conduttori di natura differente, sottoposto ad un gradiente di temperatura, instauri una differenza di potenziale. Questo fenomeno, chiamato effetto Seebeck è sfruttato dalle termocoppie. Il fenomeno non può sussistere in un circuito formato da un solo conduttore omogeneo. Una termocoppia, quindi, è costituita da una coppia di

conduttori elettrici di diverso materiale uniti tra loro in un punto. Questa giunzione è convenzionalmente chiamata giunto caldo o giunzione calda, ed è il punto nel quale viene applicata la temperatura da misurare. L'altra estremità, costituita dalle estremità libere dei due conduttori, è convenzionalmente chiamata giunto freddo o giunzione fredda. Quando esiste una differenza di temperatura tra la zona del giunto caldo e la zona del giunto freddo, si può rilevare una differenza di potenziale elettrico tra le estremità libere della termocoppia in corrispondenza del giunto freddo.

La relazione tra la differenza di temperatura e la differenza di potenziale prodotta non è lineare. Essa può essere approssimata dalla seguente equazione polinomiale:

$$\Delta T = \sum_{n=0}^N a_n V^n$$

Dove i valori a_n variano in relazione ai materiali utilizzati.

Esiste una grande varietà di termocoppie, distinguibili in base ai due conduttori elettrici che compongono la giunzione ed al campo di applicazione (industriale, scientifico, alimentare, medico, ecc.). Le termocoppie montate sul propulsore sono quelle di tipo K: (Chromel (Ni-Cr) (+)/Alumel (Ni-Al) (-)). Sono termocoppie di uso generale, economiche e disponibili in una grande varietà di formati. Il loro intervallo di misura va da -200 °C a 1260 °C. La sensibilità è di circa 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

IV.10 TERMORESISTENZE

Le termoresistenze sono dei sensori la cui resistività, quindi anche la resistenza, dipende linearmente dalla temperatura.

$$R = \frac{\rho * l}{s}$$

La conversione in tensione, la forza elettromotrice prodotta quindi, avviene attraverso il ponte di Wheatstone (vedi Capitolo I.1).

CAPITOLO V CONCLUSIONI:

V.1 PANORAMICA TEST IT

LAS - TestIT è un software ideato per il controllo e la gestione di un qualsiasi sistema dinamico (attuatori, sale prove motore, forni industriali ecc..) e per l'acquisizione dei parametri di funzionamento. Il sistema è costituito dai seguenti componenti:

- Remote Target (PXI or cRIO National Instruments): da un lato s'interfaccia con il sistema controllato sia in input (acquisizione dei segnali), sia in output (attuazioni), dall'altro s'interfaccia con il PC HOST, a cui invia i dati acquisiti e da cui riceve i parametri di configurazione impostati dall'utente. Il Remote Target è dotato di un motore Real Time interno che garantisce determinismo temporale nell'esecuzione di operazioni automatizzate e totale sicurezza nella gestione delle fasi di emergenza.
- PC (HOST): tramite il software LAS - TestIT permette di modificare i parametri di configurazione, impostare l'esecuzione di prove in modalità manuale, semi automatica e automatica e di visualizzare e salvare i dati acquisiti nel test. Queste e altre funzionalità verranno esaminate all'interno del manuale.
- Cavo di connessione LAN: permette di connettere il Remote Target (PXI o cRIO) e il PC consentendo la comunicazione tra i dispositivi. Si utilizza questo tipo di connessione diretta per far sì che lo scambio dei dati sia il più possibile in "Real Time".

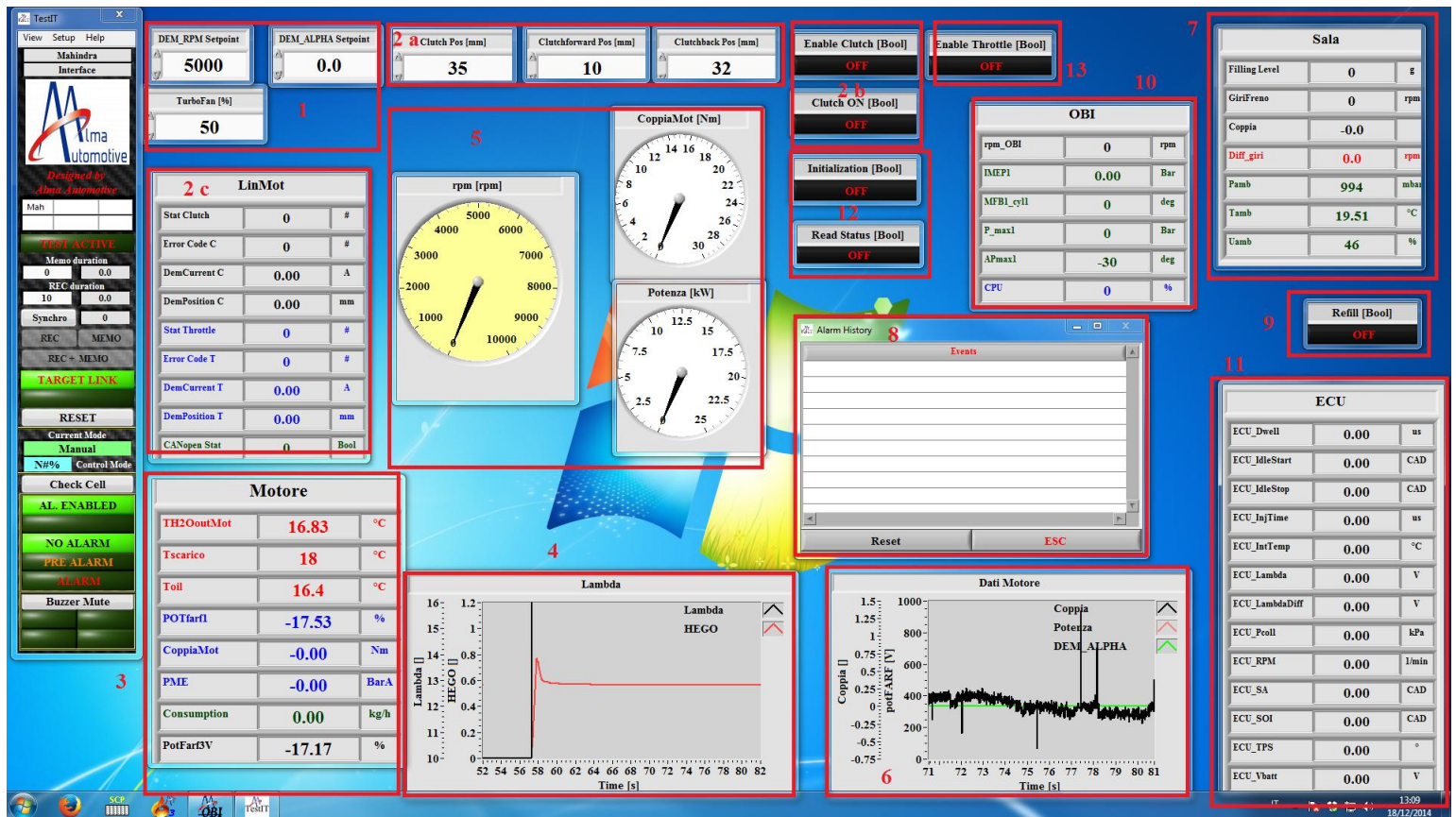


Figura V.1.a Panoramica Test it

Test it (Figura V.1.a):

- 1. Pannello di controllo per: giri motore, percentuale potenziometro farfalla e percentuale potenziometro ventilatore;
- 2a. taratura attuatore frizione;
- 2b. abilita i comandi attuatore frizione;
- 2c. dati input e output attuatore frizione;
- 3. Sensori motore di: temperatura acqua termocoppia uscita cilindro, scarichi e olio motore, percentuale del potenziometro farfalla (utilizzabile con la centralina Ducati), coppia motore (ammette soluzione diversa da zero solo quando la frizione viene lasciata), PME, consumo carburante e percentuale del potenziometro farfalla (utilizzabile con la centralina “AlmaAutomotive”);

- 4. grafici istantanei λ/t , utilizzata sia sonda EGO che UEGO;
- 5. potenza, coppia e giri del motore (ammettono soluzione diversa da zero solo quando la frizione viene rilasciata);
- 6. grafici istantanei coppia e potenza/t;
- 7. Stato sala: livello carburante bilancia, giri al minuto del freno, coppia sul freno, differenza giri tra freno e motore (in modo da poter valutare lo slittamento della frizione), pressione, temperatura e umidità in sala;
- 8. Alarm History;
- 9. Pulsante per riempire la bilancia;
- 10. l'OBI è uno strumento di misura differente e non diretto, lo si utilizza per avere un feedback e una controprova, rileva: i giri motore, PMI istantanea e la posizione angolare istantanea, la pressione massima nel cilindro e la posizione angolare della pressione massima al cilindro, infine la % d'uso della CPU;
- 11. Dati letti dalla centralina, via CAN, tra i quali: angolo di apertura e chiusura bypass, tempo di iniezione, λ dalla sonda EGO, giri motore ottenuti dalla ruota fonica, SOI ("start of injection") angolo di inizio iniezione, TPS ("throttle position sensor") che corrisponde a PotFarf3V e VBatt indica il livello di tensione della batteria;
- 12. il primo pulsante, (initialization) quando lo si attiva, attua un'operazione di inizializzazione dei linmot in modo da farli posizionare nella posizione desiderata (attivare prima di ogni avvio); mentre il pulsante sottostante (read status) qualora fosse attivo lascia aperta la comunicazione con i linmot;
- 13. se è attivo enable throttle permette di controllare il potenziometro farfalla.

V.2 ANALISI DATI

Questo lavoro di tesi aveva come obiettivo primario l'installazione al banco del motore Mahindra, avendolo compiuto con successo, si è automaticamente passati alla fase successiva: l'analisi dei dati. L'ultima fase dello studio del propulsore al banco prova è quella della raccolta della maggior parte possibile di dati sperimentali prima di installare la nuova centralina, in modo da poterli confrontare in futuro. Per questa ragione è stato definito un piano sperimentale (vedi tabella V.2.a) in modo da poter valutare i risultati sulle stesse tipologie di prove. La differenza del colore della marcatura (con una x) delle differenti prove sta ad indicare, le differenti date in cui sono state effettuate.

		RPM_BP													
		2500	2750	3000	3250	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	8000	8500
TPS_BP	2.5														
	7.5			X	X										
	10			X	X	X	X	X	X						
	12.5			X	X	X	X	X	X	X					
	15			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	17.5				X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	20					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	25					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	30					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	35						X	X	X	X	X	X	X	X	X
	40							X	X	X	X	X	X	X	X
	50								X	X	X	X	X	X	X
	60									X	X	X	X	X	X
	70									X	X	X	X	X	X
	80										X	X	X	X	X
	90										X	X	X	X	X
100										X	X	X	X	X	

Tabella V.2.a Piano sperimentale

I dati sono ottenuti per mezzo di Test-It (vedi capitolo V.1) il quale permette di acquisire i dati in file di testo (.txt) che possono essere elaborati poi sia in Excel che in Matlab. Con Test-It è possibile fare due tipi di acquisizioni: REC e MEMO. La prima è riferita alla singola prova mentre la seconda è, in riferimento ai dati ottenute dalle prove precedenti, è la scrittura su file di tutte le medie dei valori, per poter avere un'idea di fondo senza dover esaminare in profondità tutti i registri.

Time [hhmmss]	Toil [°C]	Tscarico [°C]	TH2OoutMot [°C]	POTfarf1 [%]	Pamb [mbar]	Tamb [°C]	Uamb [%]	PresFreno [V]	Lambda []
122056	94.91895	537.0588	91.0722	16.11102	998.8861	20.1516	43.50215	2.214895	14.65934
122135	95.2434	530.4071	91.1973	18.63465	998.9878	20.21182	43.44466	2.212383	14.66762
122219	95.69331	525.078	91.27586	21.13782	998.978	20.22879	43.19259	2.199733	14.69174

Tabella V.2.b MEMO prima parte

HEGO []	TH2OECU [°C]	GirFreno [rpm]	Potenza [kW]	Giri Motore [rpm]	PME [BarA]	CoppiaMot [Nm]	Filling Level [g]	Consumption [kg/h]
0.571946	92.8419	610.767	3.306728	5501.007	2.469014	5.747928	1116.282	1.591286
0.591471	92.93933	609.711	4.375806	5491.667	3.272651	7.618816	1098.289	1.791716
0.581778	93.03716	610.07	4.954055	5494.837	3.702997	8.62067	1075.762	1.894609

Tabella V.2.c MEMO seconda parte

Le prove eseguite sul propulsore sono state programmate ad apertura farfalla costante e a velocità motore costante, secondo il piano sperimentale. In questo elaborato saranno rappresentate alcune delle curve di prestazione classiche di un motore a combustione interna ad accensione comandata, espresse dal motore in diversi range di velocità di rotazione e diversi valori di apertura della valvola a farfalla.

- TPS 15% → 3'000 - 7'000 RPM;
- TPS 30% → 3'500 – 8'500 RPM;
- TPS 40% → 4'500 – 8'500 RPM;
- TPS 70% → 5'500 – 8'500 RPM;
- TPS 100% → 6'000 – 8'500 RPM.

Per quanto riguarda la curva di coppia, avendo usufruito di prove discrete e non continue su tutto l'arco degli RPM, non presentano la caratteristica curva, ma hanno un andamento più lineare-spigoloso. Un curioso caso è quello verificatosi tra gli 8'000 e 8'500 RPM, dove le prove a 30, 40 e 70 % di apertura farfalla presentano un'inversione di tendenza di coppia (succederà anche con le grandezze derivate come la potenza e la PME) iniziando ad incrementare anziché diminuire, nonostante non vi siano apparentemente cause che provochino questo comportamento anomalo (vedi capitolo V.3)

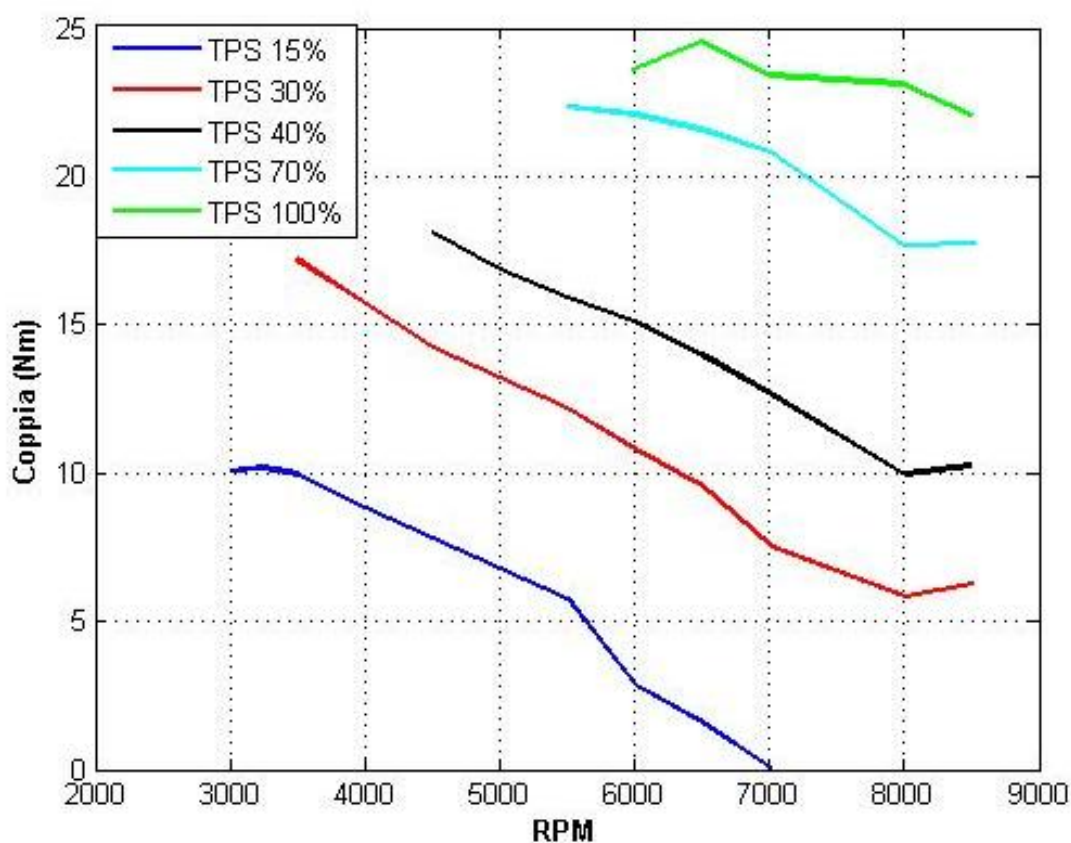


Figura V.2.a Coppia in funzione della velocità

Il valore della potenza, invece, viene ottenuto dalla moltiplicazione tra coppia misurata al banco e la velocità angolare:

$$P = C * \omega$$

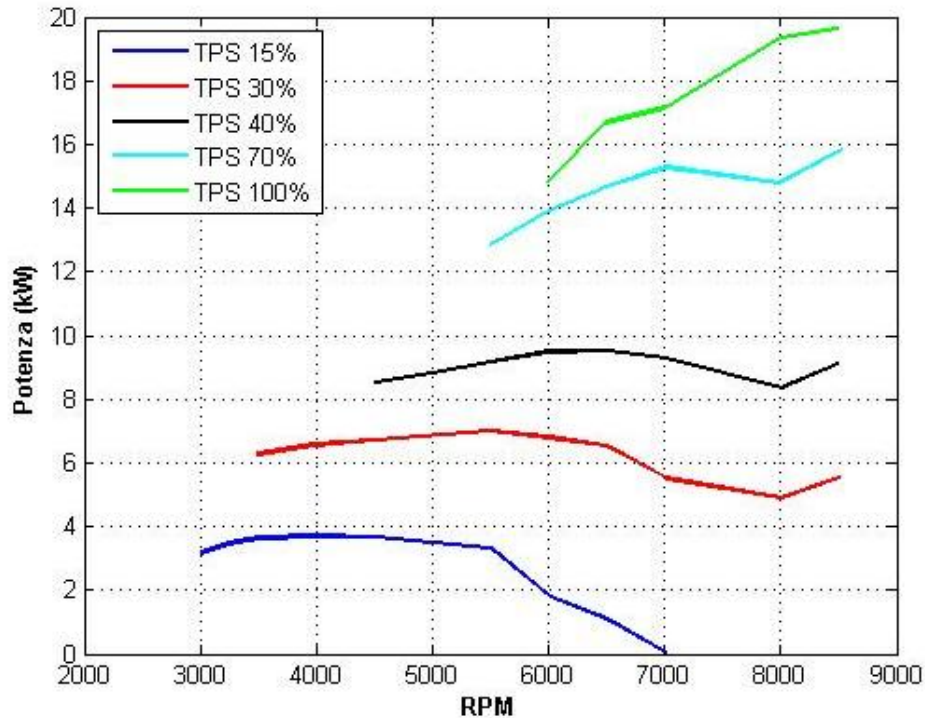


Figura V.2.b Potenza in funzione della velocità

Si noti che per un valore nullo di coppia (vedi prova a 7'000 RPM a 15% di apertura farfalla) si ha anche un valore nullo di potenza.

Con PMI si intende la Pressione Media Indicata e con PME la Pressione Media Effettiva. La PMI è per definizione il lavoro del ciclo termodinamico indicato (L_i) per unità di cilindrata ed è ottenuta e calcolata direttamente da OBI (vedi capitolo IV.4).

$$L_i = \int p dV$$

La potenza indicata invece si trova derivando il lavoro indicato in funzione del tempo, oppure:

$$P_i = p_{mi} * V * \frac{n}{i}$$

dove con V si intende la cilindrata, i è un indice che nel nostro caso è 2 poiché si tratta di un motore a 4 tempi, e con n la velocità espressa in Giri al secondo.

La PME, invece, è il rapporto fra lavoro utile per ciclo e cilindrata ed è anche direttamente proporzionale alla coppia (C):

$$pme = \frac{C \cdot 2\pi}{V} \cdot i$$

Dove la pme si misura in Pascal, la coppia in Nm e il volume in m³, mentre i è un indice che nel nostro caso è 2 poiché si sta lavorando su un motore a 4 tempi. Il passaggio da Pascal a bar è immediato, infatti 1 bar = 100'000 Pa.

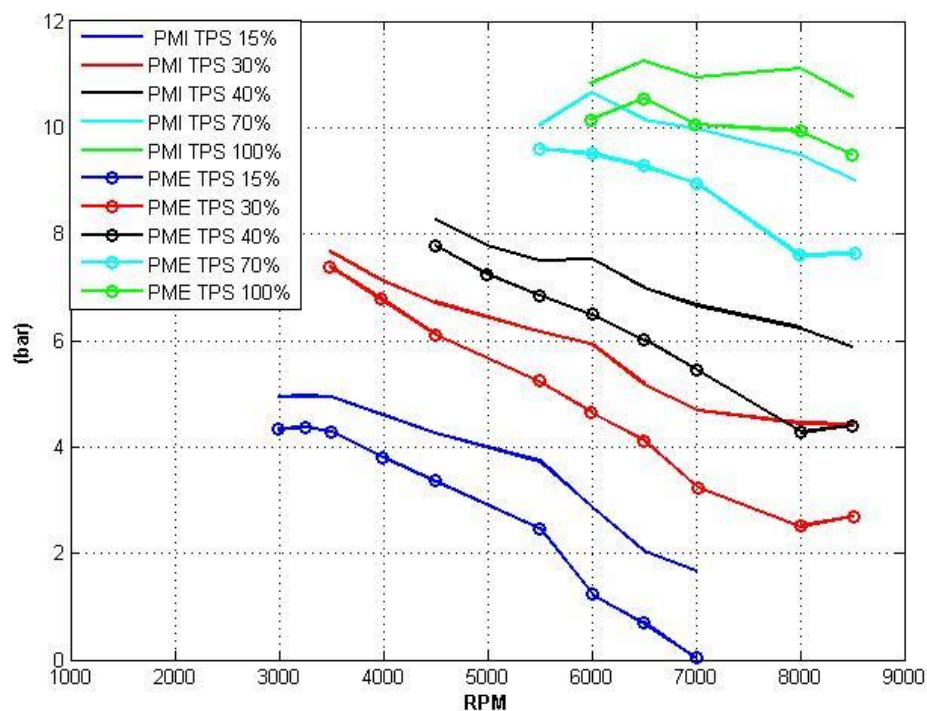


Figura V.2.c PMI e PME in funzione della velocità

E' evidente come la PME, anche sperimentalmente, sia sempre minore della PMI portando quindi ad un rendimento organico sempre minore di 1, essendo definito come:

$$\eta_o = \frac{PME}{PMI}$$

Il consumo di carburante orario viene determinato e spedito all'Host dalla bilancia (vedi capitolo II.3).

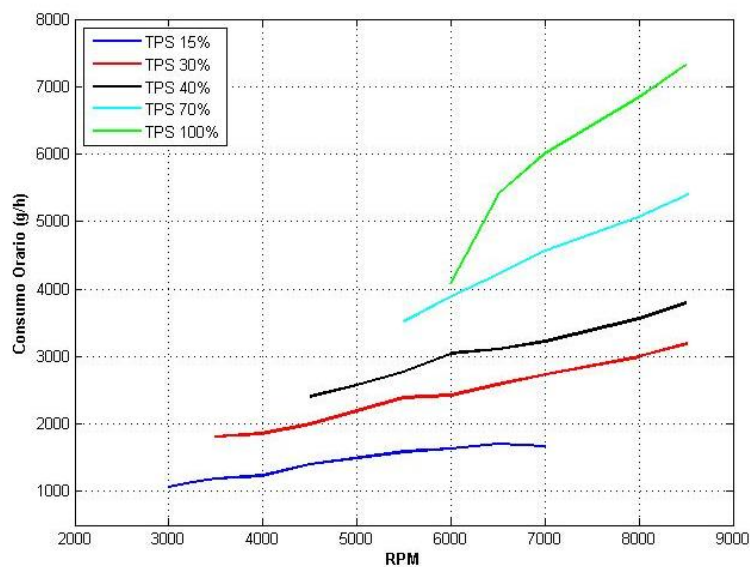


Figura V.2.d Consumo orario in funzione della velocità

Il consumo specifico, invece, viene determinato analiticamente tramite la semplice equazione:

$$Cs [g/kWh] = \frac{Ch [g/h]}{P [kW]}$$

I punti ad 85000 RPM sono controtendenza per i motivi sopra spiegati (come nel caso della coppia).

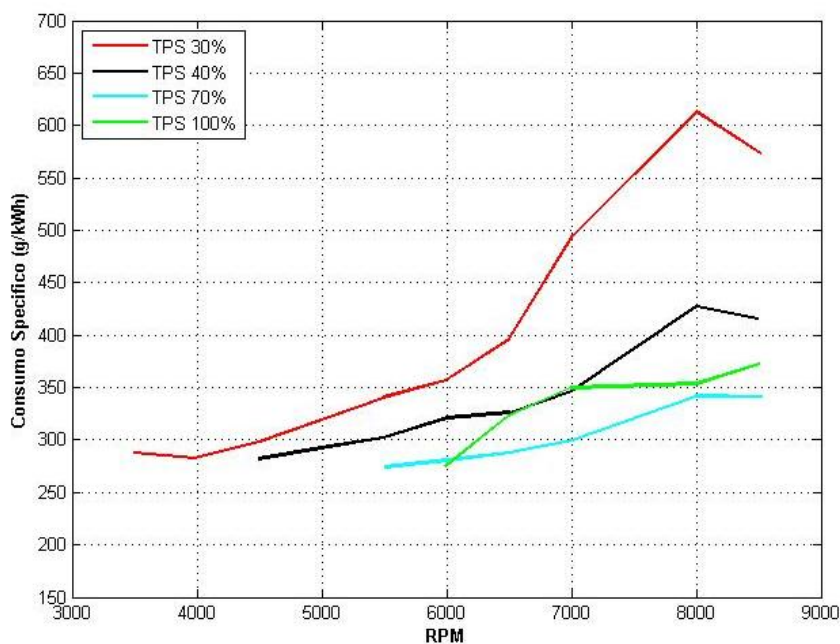


Figura V.2.e Consumo specifico in funzione della velocità

V.3 LAMBDA SWITCH

Per poter rientrare nei parametri di emissione dei gas di scarico, facendo in modo che il catalizzatore lavori alla massima efficienza possibile, il valore di A/F misurato dovrebbe aggirarsi attorno allo stechiometrico $\approx 14,6$.

Per ottenere, invece, incrementi di prestazioni e ottenere il massimo dal propulsore sono stati implementati nella centralina algoritmi che permettono, dopo circa 20 secondi di funzionamento ai massimi carichi (nel nostro caso 8'000 - 8'500 RPM), di raggiungere una posizione di lambda grasso $\approx 11,8$. Questo accorgimento permette di avere in camera di combustione un maggior quantitativo di carburante ottenendo, quindi, un miglioramento delle prestazioni.

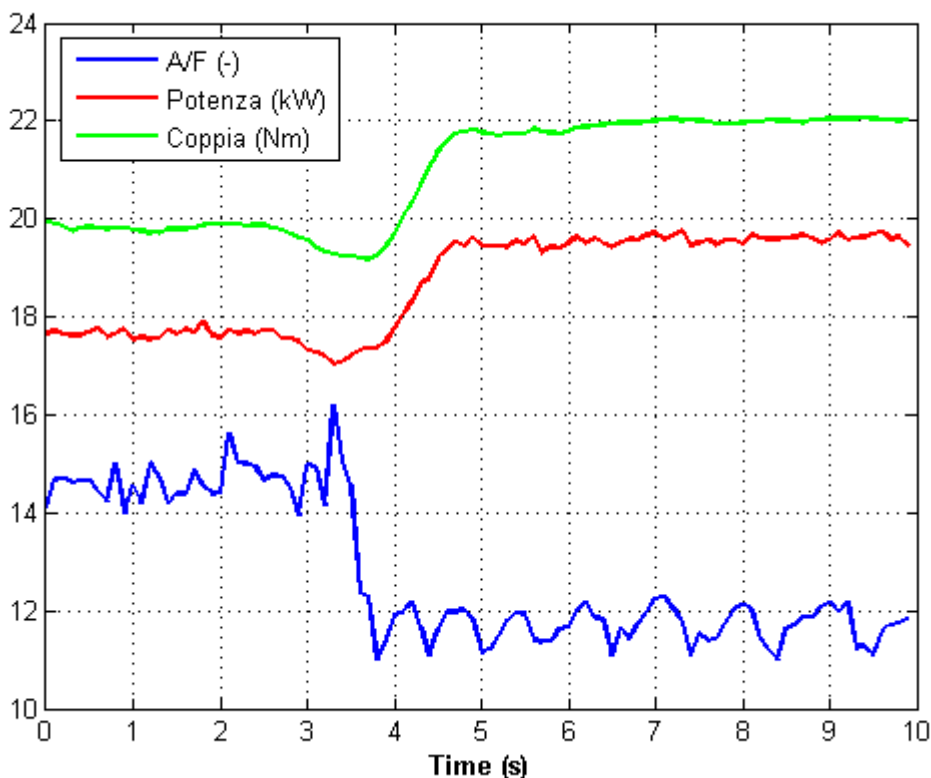


Figura V.3.a A/F, Potenza e Coppia in funzione del tempo di registrazione

Come si può dedurre dal grafico, poco prima del passaggio da lambda stechiometrico a lambda grasso si ha un picco del rapporto A/F in magro con un leggero calo delle

prestazioni, mentre si sta commutando in grasso i risultati iniziano a migliorare. L'incremento di potenza così ottenuto è facilmente calcolabile:

$$\Delta P = \frac{P2 - P1}{P1} = \frac{(19,6 - 17,8) \text{ kW}}{17,8 \text{ kW}} = +10,1\%$$

A causa della variazione dell'anticipo si ottengono temperature ai terminali di scarico minori (vedi [Figura V.3.b](#)), migliorando così una situazione delicata.

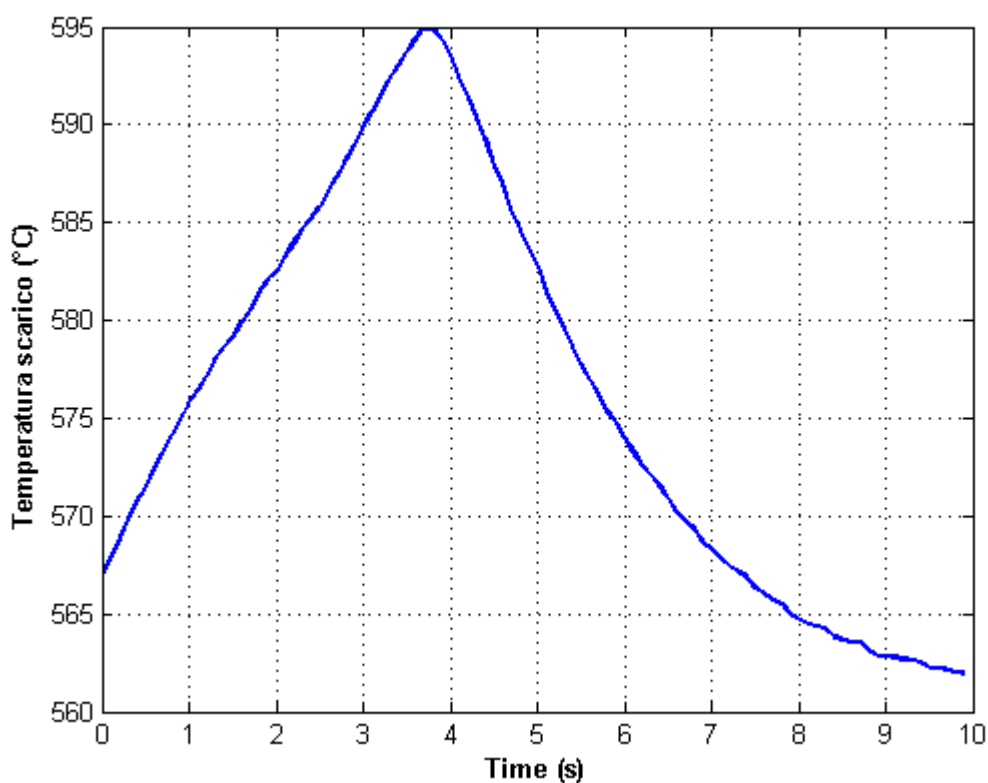
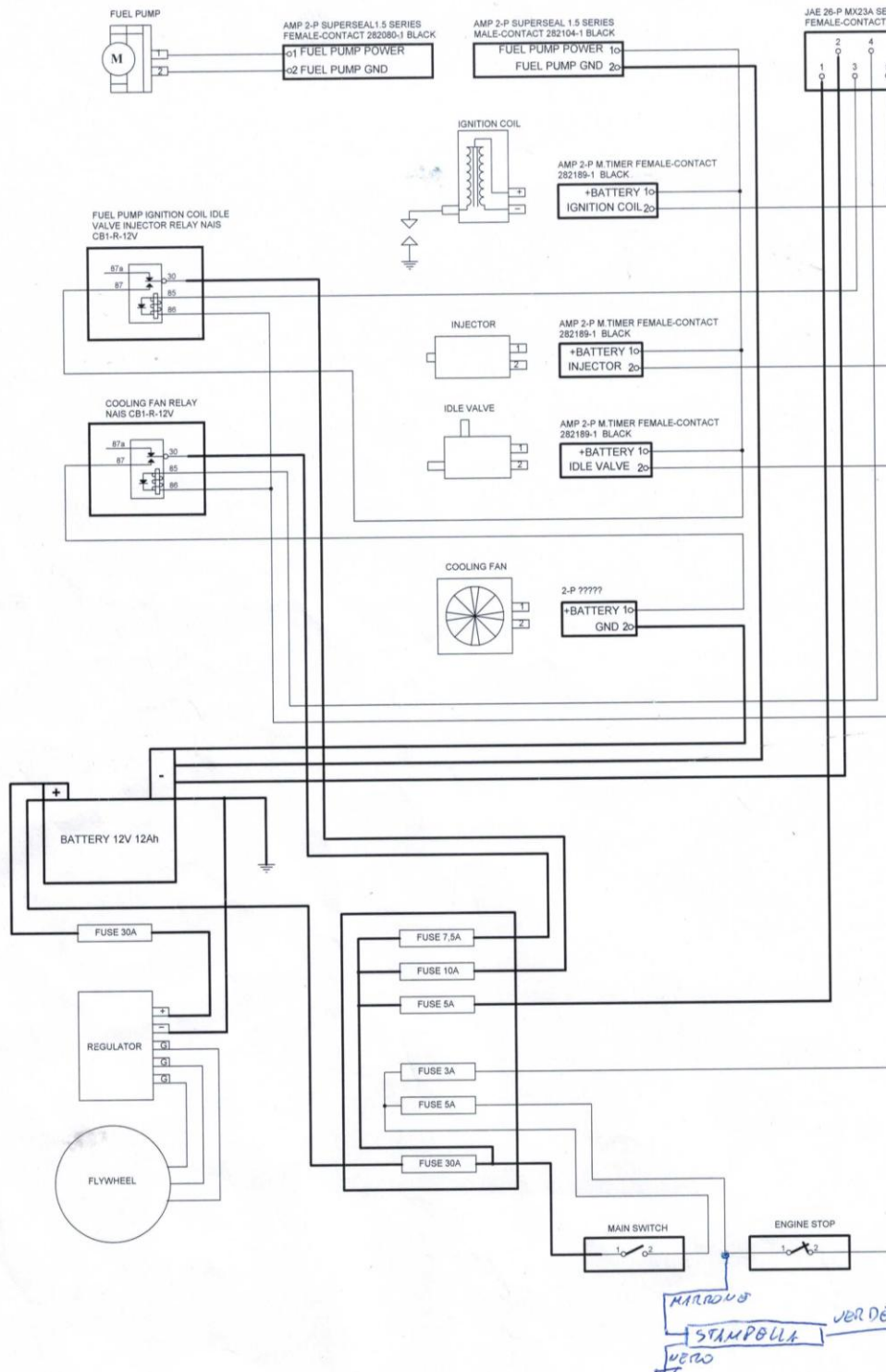


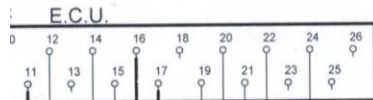
Figura V.3.b Temperatura scarichi in funzione del tempo di registrazione

APPENDICI:

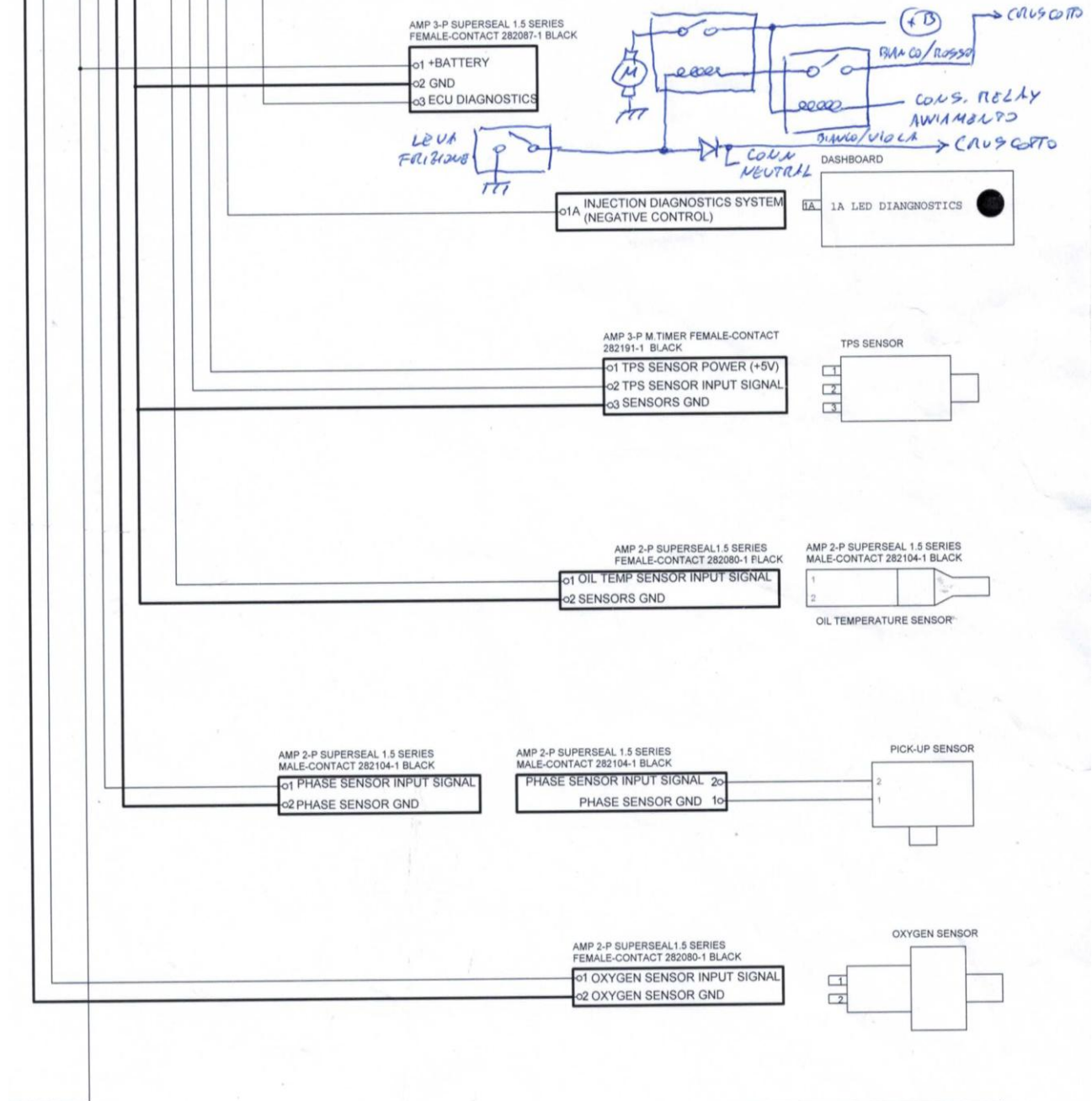
A) MAPPA CABLAGGIO



PINOUT E.C.U.



- | | |
|---|---|
| (1) ECU POWER (POSITIVE BATTERY) | (14) INPUT STARTER |
| (2) ECU GND (NEGATIVE BATTERY) | (15) PHASE SENSOR INPUT SIGNAL |
| (3) RELAY FUEL PUMP INJECTOR IDLE VALVE IGNITION COIL | (16) PHASE SENSOR GND |
| (4) RELAY COOLING FAN | (17) SENSORS GND |
| (5) HIGH VOLTAGE IGNITION COIL (NEGATIVE CONTROL) | (18) N.C. |
| (6) N.C. | (19) WATER TEMPERATURE SENSOR INPUT SIGNAL |
| (7) INJECTOR (NEGATIVE CONTROL) | (20) TPS SENSOR INPUT SIGNAL |
| (8) IDLE VALVE (NEGATIVE CONTROL) | (21) TPS SENSOR POWER (+5V) |
| (9) N.C. | (22) INJECTION DIAGNOSTICS SYSTEM (NEGATIVE CONTROL) MAX 0,5A |
| (10) N.C. | (23) RPM OUT SIGNAL (NEGATIVE CONTROL) MAX 0,5A |
| (11) OXYGEN SENSOR GND | (24) ECU DIAGNOSTICS |
| (12) OXYGEN SENSOR INPUT SIGNAL | (25) N.C. |
| (13) <i>NO ANTI CRANK</i> | (26) N.C. |



CRUS COSTO

File	INJECTION SYSTEM WIRING (MTWL PRELIMINARY)	
Size	Document Number	Rev
Date	Thursday, August 01, 2013	Sheet 1 of 1

RINGRAZIAMENTI:

Al termine di questo percorso di studi vorrei ringraziare le persone per l'aiuto che mi hanno dato.

In primo luogo sono grato al Professore **Enrico Corti** che ha accettato la mia richiesta di tesi e di tirocinio in Hangar nel laboratorio di Macchine permettendo di inserirmi, anche se per un breve periodo, nel mondo dei macchinisti, e mi ha offerto così la possibilità di vedere, imparare e testare cose di mio grande interesse per le quali avevo scelto di intraprendere questa Facoltà.

Un ringraziamento obbligatorio è per i tecnici del Dipartimento di Macchine presenti nell'Hangar della Seconda Facoltà di Ingegneria, in particolar modo all'ing. **Michele Taccioli**, che ha collaborato lavorando sugli attuatori alla messa in moto del motore, all'ing. **Marco Cangini** e all'ing. **Lorenzo Zoffoli** e alla loro quotidiana disponibilità (anche virtuale via mail) nel seguirmi lungo il lavoro svolto e nel rispondere a qualsiasi mio quesito, anche banale, senza mai perdere la pazienza, rispondendo sempre in modo garbato e con estrema accuratezza.

Un grazie è indirizzato alla mia **famiglia** che mi ha sempre supportato e sopportato, facendo anche sacrifici, in questi mesi di lavoro nonostante gli insuccessi e i fallimenti.

Un ringraziamento anche a tutti i miei amici, per i momenti di svago e di distrazione che mi hanno permesso di alleggerire il peso del lavoro durante questi anni affrontati, in particolare ai ragazzi della "**Continuità**" (Filo, Bicio, Pier e Dy) che condividono con me tutto; a qualsiasi persona che è passata dalla **Porta Giovani** di Cesena, anche se mi ha donato solo un sorriso; a tutti gli associati dell'**A.C.**, in particolar modo gli educatori che condividono con me la passione di vivere con una marcia in più; a tutti gli arbitri **dell'AIA Cesena** che condividono con me un cammino di crescita sportiva e personale.

Un gigantesco ringraziamento va a **Elisabetta Pinza**, che ha sempre creduto in me (molto più di me stesso), mi è sempre stata vicino e mi ha aiutato, di giorno in giorno, a concludere quest'avventura.

BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI:

Azzoni Piero M., 2006 *“Strumenti e misure per l'ingegneria meccanica. Avvio alla comprensione delle moderne tecniche sperimentali”*, Hoepli, Milano.

Mosconi N., 2011 *“Analisi, sviluppo e validazione sperimentale di un sistema di controllo per un motore GDI a doppio stadio di sovralimentazione”* Tesi di Laurea in Ingegneria Meccanica - Facoltà di Ingegneria, Bologna.

Amadio V., 2003 *“Applicazione dell'iniezione diretta di benzina in un motore a 2 tempi di tipo innovativo”* Tesi di Laurea in Ingegneria Meccanica – Facoltà di Ingegneria, Torino.

Minardi L., 2012 *“Sviluppo di un torsionometro per applicazioni on-board”* Tesi di Laurea in Ingegneria Meccanica - Facoltà di Ingegneria, Bologna.

Borghi e Saveri, 2002, *“Manuale uso e manutenzione”*.

Sae Digital Library, Vaso di espansione.

<http://www.motorbeam.com/category/bikes/mahindra-mojo/>

