

Università degli studi di Padova

Facoltà di Ingegneria

Corso di laurea di Ingegneria dell'Informazione



**Progetto e realizzazione di una scheda per il cruscotto
di una monoposto Formula SAE**

Design and fabrication of a PCB for the dash panel of a Formula SAE car

Laureando

Marco Vanin

Relatore

Andrea Neviani

Anno Accademico 2010/2011

Indice

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Motivazioni e presupposti.....	3
2	L'IDEA PROGETTUALE	6
2.1	Il sistema	6
3	Progettazione della scheda elettronica	8
3.1	Alimentazione	8
3.2	Filtraggio del segnale di ingresso e conversione F/V	11
3.3	Led driver	15
3.4	Circuiti per la visualizzazione dei segnali di servizio	18
3.4.1	<i>Indicatori di cambiata</i>	18
3.4.2	<i>Temperatura acqua motore</i>	20
3.4.3	<i>Pressione olio motore</i>	22
3.4.4	<i>Indicatore della folle</i>	24
4	Realizzazione e test del circuito di prova	25
4.1	Impiego della breadboard.....	25
4.2	Taratura del convertitore frequenza/tensione	27
5	Progettazione del layout e fabbricazione della scheda	30
5.1	Realizzazione dei master.....	30
5.2	Fotoincisione e montaggio della componentistica	31
6	Verifica del funzionamento e possibili sviluppi futuri	34

1 INTRODUZIONE

1.1 Motivazioni e presupposti

Gli interessi e la passione per il mondo dei motori e delle competizioni mi hanno condotto, nell'anno accademico 2010/2011, alla partecipazione al progetto universitario interfacoltà della "Formula SAE", che consiste nella progettazione e costruzione di una monoposto da competizione con cui si parteciperà ai campionati mondiali "Formula Student". Quest'anno l'evento si svolgerà sul circuito di Hockenheim, in Germania, la prima settimana di agosto.

Il Race Up team, squadra corse di Padova, partecipa ormai da alcuni anni alla competizione universitaria, sponsorizzato da alcune aziende della zona che forniscono materiale, spazi e risorse. In particolare il team dispone di un box all'interno dello stabilimento dell'azienda "OZ S.p.A." di San Martino di Lupari (PD), principale sponsor della squadra, nel quale è stato svolto la maggior parte del lavoro per la produzione dell'attuale prototipo: la MG0611.

All'inizio di questa stagione, in maniera più marcata rispetto alle passate edizioni, il team si è prefissato degli obiettivi ambiziosi, in particolare si mira al primo posto assoluto quale team italiano. L'ambizione nel raggiungere il traguardo prefissato si è manifestata con un impegno costante e diligente da parte dei membri del gruppo, che vedono nella partecipazione a tale progetto la realizzazione delle proprie passioni in ambito di competizioni automobilistiche.

La "Formula SAE" è una competizione riservata agli studenti di facoltà universitarie, organizzata dalla Society of Automotive Engineers, che prevede la progettazione e la produzione di un'auto da corsa, valutata durante una serie di prove in base alle sue qualità di design e di efficienza ingegneristica. E' stata istituita nel 1981, con lo scopo di dare agli studenti universitari la possibilità di confrontarsi in un evento che risulti quanto più appetibile ed interessante. Ad oggi la competizione si è diffusa in tutto il mondo, con nove eventi annuali ufficiali, tre dei quali negli Stati Uniti, quattro in Europa (Regno Unito, Germania, Austria e Italia), uno rispettivamente in Brasile, Giappone e Australia, e numerose competizioni non ufficiali, tra le quali il Baltic Open e la Formula Student Austria.

L'idea posta alla base della Formula SAE è che un'azienda fittizia ingaggi il team affinché realizzi un prototipo di auto da corsa con determinate caratteristiche. Ogni team di studenti deve progettare, costruire, testare e promuovere il prototipo, il quale viene valutato in otto tipologie di prove, che spaziano dalle performance pure, al design, alla gestione del marketing e alla presentazione del veicolo stesso.

La visione della SAE è quella di creare un evento universitario regolamentato che porti i seguenti benefici per gli studenti e le aziende:

- aumentare le possibilità future di lavoro
- preparare gli studenti alla reale vita lavorativa
- contribuire allo sviluppo di ingegneri
- incoraggiare la ricerca e l'innovazione non sottovalutando i costi
- sviluppo professionale degli studenti in:
 - lavoro in team
 - programmazione di progetto
 - project management
 - gestione (generale, finanziaria, tempistica)
 - comunicazione

Le case automobilistiche e motociclistiche mondiali cercano molto spesso nelle persone partecipanti a tale tipo di eventi le figure da introdurre nel prossimo futuro nelle proprie file di progettazione, siano esse di mezzi di serie siano dedicate alla costruzione di prototipi, nonché alla partecipazione in veste di tecnici in Formula 1, MotoGP e competizioni analoghe.

Secondo regolamento SAE, le vetture devono presentare delle precise specifiche, atte soprattutto a garantirne la sicurezza ed a limitarne le prestazioni, lasciando ampio spazio alle soluzioni tecniche adottabili.

Per quanto riguarda il motore, i vincoli più significativi sono sulla cilindrata (610 cm³) e sull'obbligo di inserire un restringimento di 20 mm di diametro nel circuito di aspirazione. Le tipologie di propulsore in genere utilizzate sono di origine motociclistica, senza nessuna prescrizione per quanto riguarda il frazionamento dello stesso.

La fase di progettazione e montaggio del mezzo è seguita di pari passo dallo sviluppo del business plan, che dovrà essere esposto ad una giuria internazionale competente nei giorni dell'evento automobilistico e costituisce oggetto di valutazione.

Si tratta per me del primo anno in quanto partecipazione al progetto. L'ambito di interesse, per il quale mi sono inserito nel team, è la gestione dell'elettronica dell'auto. La struttura del team è ben definita e delineata: ogni parte funzionale del veicolo è seguita e sviluppata da un sottogruppo di lavoro che rende conto ad un team leader dello stato avanzamento lavori. L'inizio della stagione è stato caratterizzato dalla formazione di un nuovo gruppo di addetti all'elettronica. Nelle passate stagioni l'intero ambito elettronico è sempre stato trascurato rispetto agli altri settori di sviluppo, sottovalutando forse le potenzialità in questo campo. Trovandosi a dover gestire la mappatura della centralina motore, è oggi ben noto come questa operazione sia fondamentale per la massima resa del veicolo, che non può che tradursi con prestazioni di rilievo in pista.

Con un gruppo di 4 figure nuove, le cose, come ben si può immaginare, non sono cominciate subito al massimo regime di lavoro. La stagione, dunque, è iniziata con una serie di colloqui con gli ex responsabili dell'elettronica, per comprendere le principali problematiche da affrontare, seguiti da un incontro iniziale con i direttori dell'azienda "Athena S.p.A.", sponsor ufficiale quale fornitore di materiale di natura elettronica, avente sede ad Alonte (VI). Si tratta di un gruppo leader a livello mondiale nel settore di componentistica da competizione, essendo l'azienda stessa fornitrice delle centraline motore per i prototipi partecipanti alla Moto2, classe che ha sostituito la storica categoria motociclistica 250.

Valutando attentamente i cost report e le soluzioni adottate gli anni scorsi, ho personalmente proposto l'idea di realizzare la scheda elettronica per la strumentazione di bordo, incaricandomene della fabbricazione. Le precedenti vetture disponevano di un display del valore di circa € 3500,00, costo che ha inciso negativamente sul cost plan nella passate edizioni. Tali display potevano visualizzare il regime giri motore, alcune spie di servizio e poco altro, pur mantenendo alto il loro valore in quanto componenti da competizione. L'idea è stata fin da subito apprezzata, sostenuta da una mia valutazione personale inerente alla riduzione del costo di un fattore 100. Il progetto, tuttavia, non poteva essere troppo dispendioso in termini di tempo, in quanto la stagione era già iniziata da qualche mese; per tale motivo una trattazione digitale dei segnali da elaborare, sicuramente migliore in termini di efficienza e robustezza dell'informazione da elaborare, è stata scartata. Infatti, l'utilizzo di microcontroller programmabili necessita di risorse di cui non dispongo, avendo tra l'altro già idea di come gestire la questione in modo analogico. La soluzione digitale può comunque essere considerata in futuro, sviluppando i progetti per tempo e potendo contare sull'appoggio di aziende operanti nel settore dell'elettronica automotive.

Tuttavia, quando ormai il mio lavoro era avviato, Athena mi ha comunicato la volontà di fornire un prototipo di display strumentazione da testare. Dovendo accettare la decisione, ho scelto comunque di portare a termine la progettazione e la produzione della scheda, quale base da cui partire per progetti futuri.

Per la realizzazione del progetto, un ringraziamento particolare spetta a Marco Socal, con cui condivido le esperienze nell'ambito della Formula SAE, il quale mi ha permesso di utilizzare un motore al banco prova di sua proprietà, con cui ho potuto valutare gli effettivi segnali in gioco, testare il circuito di prova e valutare il funzionamento della scheda realizzata. Inoltre non posso fare a meno di citare Ennio Baldan, assistente di laboratorio presso l'istituto tecnico industriale statale "C. Zuccante" di Mestre (VE), che mi ha dato la possibilità di realizzare la scheda elettronica in questione in uno dei laboratori del suddetto istituto. In ultima istanza, di certo non per ordine di importanza, ringrazio il professore Andrea Neviani che mi ha seguito durante la fase di progettazione della scheda e di stesura della presente tesi.

2 L'IDEA PROGETTUALE

2.1 Il sistema

Il lavoro di progettazione della scheda elettronica non è stato certo immediato e stabilito fin dal principio in maniera definitiva. L'impegno iniziale si è articolato tra la valutazione dei segnali disponibili e le scelte inerenti la visualizzazione dei segnali. L'idea iniziale prevedeva la possibilità di avere a disposizione l'informazione della marcia innestata, non tanto per una semplice visualizzazione della stessa, ma piuttosto per elaborare il dato intrecciando i risultati con il rilevamento RPM, cioè il numero di giri del motore, per fornire una stima della velocità del veicolo in tempo reale. Sebbene generalmente l'indicazione di velocità non compare sui veicoli da competizione, è stato un altro il motivo per cui si è abbandonata una tale linea di sviluppo: il blocco motore Honda, dotato di kit HRC, non dispone, forse sorprendentemente, del sensore indicazione di marcia e l'idea di montare un potenziometro sul cambio, per estrapolarne l'informazione, non è apparsa molto affidabile.

Valutando gli indicatori presenti nella maggior parte dei display in commercio, si è deciso di procedere all'implementazione di una barra led per la visualizzazione del numero dei giri del motore, due flash di cambiata, inferiore e superiore, gli indicatori di temperatura dell'acqua di raffreddamento del motore, di pressione dell'olio motore e la spia di marcia non innestata, ovvero l'indicazione della folle. I segnali necessari sono prelevati direttamente dalla centralina, seguendo le specifiche del produttore. In particolare l'informazione RPM è prelevata dall'uscita "Tacho" della centralina, un'onda quadra di frequenza pari al numero dei giri del motore al secondo. Il segnale in questione è mostrato qualitativamente nella Fig.1 – Tacho. L'onda quadra presenta un'escursione da 0 a 12V. Notiamo la presenza di alcuni spike di tensione che seguono il fronte di discesa, ritenuti ragionevolmente un errore sistematico presente nel sistema. Al fine di eliminare i possibili effetti indesiderati dovuti alla presenza di queste commutazioni spurie, emerge la necessità di operare un opportuno filtraggio, per la successiva elaborazione del segnale.



Fig.1 – Tacho

Si è valutata, inoltre, la possibilità di implementare un sistema di cambio automatico, attivabile dal pilota, per l'innesto della sola marcia superiore. Se in funzione, qualora il regime giri superi un valore impostato, il sistema agisce sulla centralina

del cambio per procedere alla cambiata. Questo sistema può rendersi prezioso nella prova di accelerazione a cui sarà sottoposta la vettura, allo scopo di guadagnare qualche decimo di secondo, ottimizzando la cambiata per sfruttare la massima coppia del motore. Il sistema descritto è stato realizzato su una scheda a sé stante, al fine di poterne sfruttare i benefici indipendentemente dalla presenza del cruscotto realizzato.

Il segnale Tacho prelevato dalla centralina, una volta filtrato, costituisce l'input di un convertitore frequenza/tensione (F/V). Opportunamente tarato, questo componente fornisce alla propria uscita una tensione direttamente proporzionale alla frequenza del segnale di ingresso, utilizzata da due led driver, connessi in serie, per la corretta gestione della barra led, indicante i giri del motore.

I flash di cambiata, sia superiore sia inferiore, si basano sull'implementazione di un comparatore elettronico realizzato per mezzo di un amplificatore operazionale.

Stabilito dall'operatore il livello di soglia, opportunamente applicato al morsetto invertente o non invertente, all'altro ingresso viene fornito il segnale di uscita del convertitore F/V. L'accensione del flash inferiore indica un regime giri sotto coppia, avvertendo della necessità di scalare marcia, mentre quello superiore invita il pilota ad innestare la marcia superiore. Purtroppo, come già accennato, non avendo a disposizione l'indicazione della marcia inserita, non è stato possibile inibire, con una maschera elettronica, i segnali per i flash di cambiata nella situazione in cui il cambio innesta la prima o l'ultima marcia. Infatti, in queste due situazioni l'indicazione dei flash di cambiata si svuota di qualsiasi significato.

Dalla centralina sono prelevati, inoltre, i segnali relativi alla temperatura dell'acqua di raffreddamento, della pressione dell'olio e della folle. I primi due segnali sono trattati per mezzo di comparatori che, opportunamente realizzati, permettono, nel primo caso, di segnalare se la temperatura dell'acqua è compresa in un intervallo ottimale, e, nel secondo caso, di avvertire il pilota se la pressione dell'olio motore scende al di sotto di un valore critico prestabilito. Il segnale della folle, è invece applicato, tramite un'adeguata resistenza, ad un led, la cui accensione indica lo stato in cui il cambio non inserisce alcuna marcia.

Per una chiara e più dettagliata comprensione del sistema descritto, si faccia riferimento ai disegni schematici allegati e alla sezione dedicata alla progettazione dello stesso.

Definita l'ossatura del sistema, scopo della progettazione è quello di implementare le reti elettriche in grado di trattare adeguatamente i segnali descritti e di dimensionare in maniera opportuna i singoli componenti che le compongono.

3 Progettazione della scheda elettronica

3.1 Alimentazione

La scelta della tensione di alimentazione condiziona il funzionamento dell'intero sistema, per cui deve essere stabilita nella fase iniziale di progettazione. A sostegno dell'importanza che questa scelta venga effettuata tra le prime decisioni, si anticipa il fatto secondo cui il convertitore F/V fornisce un segnale di uscita proporzionale alla tensione di alimentazione, oltre che alla frequenza dell'input.

L'alimentazione della scheda elettronica avviene per mezzo dell'accumulatore del veicolo, che fornisce una tensione continua pari a 12V; si puntualizza che si tratta di un valore misurato ai suoi capi a veicolo spento. Dopo l'accensione del mezzo, infatti, la batteria è caricata da un alternatore, raggiungendo tensioni del valore di 14-14,5V. Si tratta dunque di un valore incerto e soprattutto variabile, che non consente di operare un'alimentazione diretta dalla batteria alla scheda elettronica. Ciò che viene generalmente utilizzato in queste situazioni è un regolatore di tensione. Si è deciso di adottare uno stabilizzatore a 9V, ma ciò non preclude l'utilizzo di uno stabilizzatore di tensione diverso da quello indicato, avendo però l'accortezza di ridimensionare la componentistica dell'intero sistema.

Lo stabilizzatore utilizzato richiede una differenza di potenziale di 3V tra ingresso e uscita, parametro noto con la sigla V_{DROP} . Sulla base di questo dato e stimando la massima corrente richiesta dal circuito, si può valutare la necessità di inserire o meno un dissipatore termico, sul quale posizionare lo stabilizzatore stesso. Secondo la specifica del regolatore utilizzato, LM7809 TO-220:

$$P_{\max_senza_dissipatore}=1,5W$$

$$P_{\max_con_dissipatore}=15W$$

$$R_{THjc}=5^{\circ}C/W$$

$$R_{THja}=65^{\circ}C/W$$

$$T_j=150^{\circ}C$$

$$T_a=25^{\circ}C$$

Si consideri:

$$T_j - T_a = R_{THja} * P_{\max}$$

Dove T_j è la temperatura di giunzione, T_a è la temperatura ambiente, R_{THja} è la resistenza termica giunzione-ambiente e P_{\max} è la massima potenza dissipata.

Assumiamo, per precauzione, una $T_j=125^{\circ}C$, inferiore dunque al valore riportato dal datasheet. Otteniamo:

$$P_{\max} = (T_j - T_a)/R_{THja} \cong 1.54W$$

a conferma del valore di potenza massima dissipabile riportato dal datasheet

Si dovrà valutare l'effettiva potenza in gioco, sulla base della richiesta di corrente da parte del circuito, per determinare se questa rimane inferiore al valore massimo stimato. Se questo non accade, è necessario ricorrere all'utilizzo di un dissipatore termico. Questa condizione introduce due valori di resistenza termica, case-dissipatore R_{THcd} e dissipatore-ambiente R_{THda} , il primo determinato dal tipo di contatto tra case e dissipatore stesso (ad esempio condizionato dall'utilizzo di mica isolante), il secondo dipendente dalla forma geometrica e dalle proprietà termiche del materiale di cui è composto il dissipatore. Questi valori di resistenza termica, sommati alla R_{THjc} , risultano nella pratica inferiori al solo contributo della R_{THja} , permettendo una potenza massima dissipabile maggiore.

La quasi totalità della corrente richiesta al regolatore viene assorbita dai led della barra giri motore; si presenta una corrente totale pari a:

$$I_{tot} = I_{led} * \#_{led}$$

con I_{led} la corrente su un singolo led della barra e $\#_{led}$ il numero di led della stessa

La barra RPM è costituita da ventuno led. Ognuno di questi, in base al dimensionamento della rete dei led driver trattato in seguito, è attraversato da una corrente di 10mA. Per tale ragione si ha:

$$I_{tot} = 210mA$$

Considerata una tensione di ingresso del regolatore di circa 14V e un valore stabilizzato all'uscita pari a 9V, risulta una differenza di potenziale in/out pari a $V_{DROP} = 5V$, rientrando nelle specifiche dichiarate del costruttore. La massima potenza dissipata diviene allora:

$$P_{dissipata} = I_{tot} * V_{DROP} = 1,05W$$

Secondo quanto riportato, si osservi che l'utilizzo di un dissipatore termico non risulta indispensabile. Si tenga inoltre in considerazione l'ipotesi effettuata per il calcolo della corrente massima assorbita dal circuito: si sono considerati tutti i ventuno led in funzione, cioè il motore operante al massimo numero di giri. Questa situazione difficilmente si verifica in maniera continuativa nel consueto funzionamento di un motore, anche se destinato all'ambito competitivo. Si noti che non si sono considerati gli effetti dell'assorbimento dei led per i segnali di servizio: per ciò che riguarda la temperatura dell'acqua, a livelli ottimali di funzionamento le spie saranno spente, cosa che accade anche per la spia della pressione dell'olio motore, mentre viene trascurato l'assorbimento del singolo led di folle. Per ciò che riguarda l'accensione dei flash di cambiata, questi saranno accesi per un breve periodo di tempo, in quanto indicano al pilota di effettuare la scalata o di inserire la marcia superiore, contribuendo in misura ridotta alla richiesta di corrente.

La rete di adeguamento della tensione di alimentazione è riportata in Fig.2 – Alimentazione.

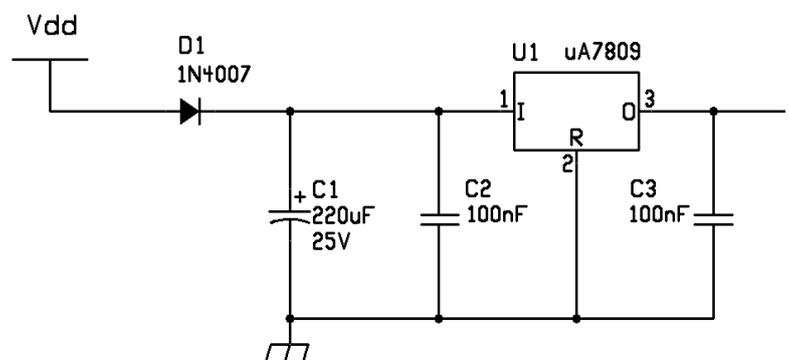


Fig.2 – Alimentazione

Con riferimento alla Fig.2 – Alimentazione, il diodo inserito tra accumulatore e regolatore di tensione ha il solo scopo di evitare scariche elettrostatiche verso la batteria stessa, rivestendo dunque un ruolo di protezione. Il condensatore elettrolitico C1 di figura è impiegato per non sovraccaricare la batteria negli istanti di maggior richiesta di corrente. La scelta del valore di questo condensatore non è effettuata in maniera rigorosa; chiaramente un valore elevato di capacità è adeguato alla situazione, con un occhio di riguardo, però, all'ingombro del componente in ottica di layout della scheda. I due condensatori C2 e C3 del valore di 100nF ai capi dell'LM7809, come riportato dal datasheet, hanno lo scopo di stabilizzare e ottimizzare il funzionamento del regolatore in frequenza. La specifica suggerisce l'inserimento degli stessi, a livello di layout, in posizione molto vicina allo stabilizzatore, in modo da ridurre la resistenza parassita che sorge con l'aumentare della lunghezza delle piste di connessione.

All'uscita dell'LM7809, pin 3 nella figura sovrastante, è presente una tensione pari a 9V stabilizzati, con un ripple residuo, indicato dal datasheet, ininfluenza per gli scopi in esame

3.2 Filtraggio del segnale di ingresso e conversione F/V

Come anticipato, la centralina fornisce all'uscita "Tacho" un segnale onda quadra di frequenza pari al numero di giri al secondo del motore. Se ad esempio il regime di funzionamento del motore si assesta a 10000 giri/minuto, equivalente a circa 167 giri/secondo, l'onda quadra presenta una frequenza di 167 Hz. Tale segnale è stato valutato direttamente al banco prova per verificarne il reale andamento temporale, al fine di ottimizzare la progettazione del circuito di filtraggio dello stesso. Si è inoltre analizzata nel paragrafo introduttivo la natura del segnale in esame, evidenziando la presenza di picchi di tensione che si presentano in maniera sistematica dopo la transizione alto-basso.

La valutazione del segnale rilevato tramite oscilloscopio non suggerisce di eseguire un filtraggio in frequenza, utile se lo scopo è quello di eliminare componenti ad elevata frequenza, ma piuttosto di inibire quei picchi di tensione di cui si è discusso, in modo tale da minimizzare ogni possibile causa di errore. Si noti che l'ampiezza del disturbo, nel peggiore dei casi, è circa metà dello swing di tensione massimo del segnale considerato, ovvero 5-6V; si ricorda che la centralina fornisce un'onda quadra di ampiezza 12V, con offset pari a 6V, quindi il segnale spazia da 0V a 12V. La situazione conduce in modo naturale a realizzare un circuito comparatore, fissando la tensione di soglia dell'amplificatore operazionale, applicata all'ingresso invertente, ad un valore di poco superiore al picco di disturbo. Riportiamo la rete descritta in Fig.3 – Filtraggio. La tensione di alimentazione Vdd è fornita dal regolatore di tensione, assumendo dunque un valore pari a 9V. In questo senso, l'uscita dell'operazionale può saturare alla tensione Vdd oppure a 0V: la tensione di uscita raggiunge i 9V se la tensione applicata al morsetto non invertente, cioè l'onda quadra di ingresso, è superiore alla tensione del morsetto invertente, portandosi a potenziale nullo in caso contrario. Il valore della tensione di soglia può essere tarato agendo opportunamente sul trimmer tr1. In particolare, volendo impostare la soglia alla tensione di 6V, si procede nel seguente modo:

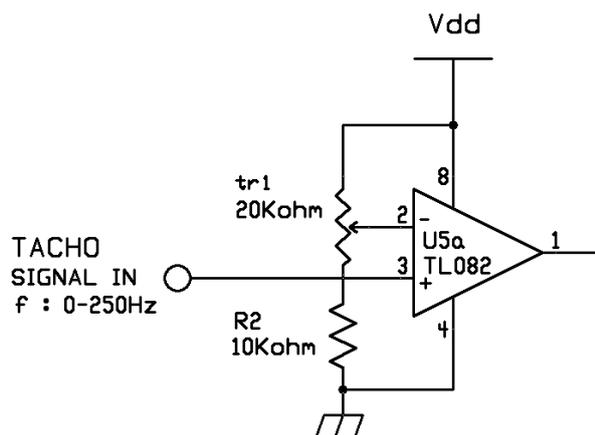


Fig.3 – Filtraggio

si ha che la corrente I sulla serie tr1-R2 è pari a

$$I = V_{dd} / (tr1' + R2) = 0,3mA$$

con tr1' il valore di resistenza ai capi del trimmer tr1

la tensione al morsetto invertente risulta

$$V_{-} = (tr1 + R2) * I$$

dove $tr1$ è la resistenza impostata regolando il trimmer

desiderando $V_o = 6V$, si ha:

$$tr1 + R2 = 20K\Omega$$

Risulta evidente la necessità di regolare a $10K\Omega$ il valore di resistenza del trimmer $tr1$.

Il segnale filtrato costituisce l'ingresso del convertitore F/V utilizzato, circuito integrato il cui funzionamento ottimale determina la buona riuscita del progetto, quindi oggetto di particolare cura progettuale. Si riporta lo schema logico dell'IC LM2917 in Fig.4 – Convertitore F/V.

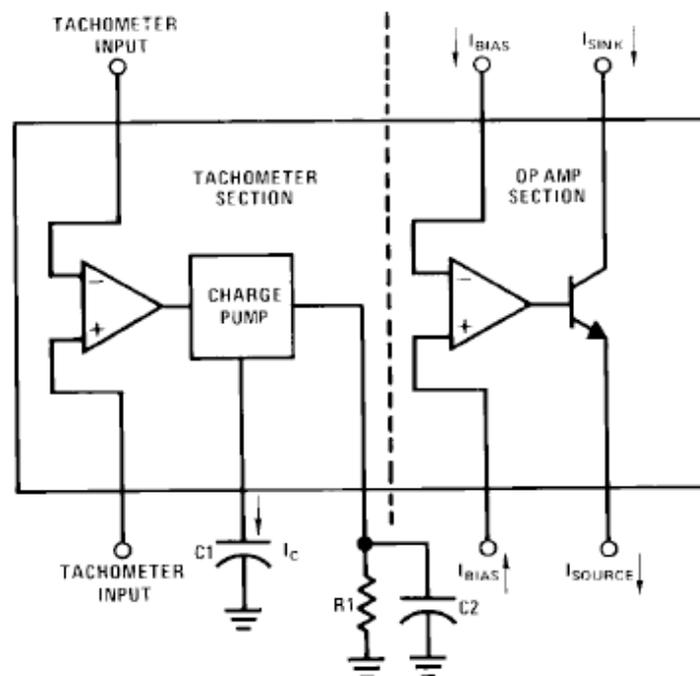


Fig.4 – Convertitore F/V

Una delle principali aree di applicazione del circuito integrato LM2917 è proprio il settore automotive, destinato alla funzione ampiamente descritta nella specifica dal produttore, quella, cioè, di generare alla propria uscita una tensione proporzionale al numero dei giri del motore. Il segnale di uscita, oltre a costituire l'informazione per l'indicazione diretta del regime giri del motore, può essere impiegato per l'attivazione di specifici sistemi oltre una certa soglia RPM.

Secondo lo schema logico riportato, la parte iniziale è destinata alla valutazione del segnale di ingresso in termini di frequenza, mentre la parte finale ha lo scopo di fornire la tensione di uscita opportuna, in base alle caratteristiche dell'input elaborate.

Il segnale oggetto della conversione è applicato al terminale non invertente dell'amplificatore di ingresso. Il morsetto invertente dello stesso viene portato ad una tensione di soglia che, in linea teorica, dovrebbe assumere un valore intermedio tra 0 e 9V, in modo tale che l'uscita dell'amplificatore commuti non appena il segnale di ingresso supera tale soglia.

In realtà, le conoscenze pregresse sul circuito integrato e la valutazione di un test effettuato, sono sufficienti per confermare la piena funzionalità del dispositivo in questione anche se il morsetto invertente dell'amplificatore viene collegato a massa. Sia chiaro, però, che la progettazione teorica richiederebbe una tensione di circa 5V. Si noti inoltre il fatto che si potrebbe operare il filtraggio del segnale di ingresso utilizzando direttamente l'amplificatore interno del convertitore F/V.

L'uscita dell'amplificatore di ingresso, la cui frequenza di commutazione dipende dal segnale in input, pilota una rete charge pump, ovvero un dispositivo in grado di immagazzinare carica elettrica attraverso dei condensatori, che converte l'informazione relativa alla frequenza dell'input in un valore di tensione continua:

$$V_O = V_{dd} * f_{in} * C1 * R1 * K$$

(si faccia riferimento alla Fig.4 – Convertitore F/V)

V_O è la tensione all'uscita del charge pump

V_{dd} è la tensione di alimentazione

f_{in} è la frequenza del segnale in ingresso

$C1$ e $R1$ costituiscono la rete di filtraggio per agire sulla natura impulsiva del segnale di uscita dalla charge pump

K è un coefficiente dipendente dalla temperatura e dalla frequenza che, secondo il grafico "Normalized Tachometer Output vs Temperature" riportato dal datasheet, a 25°C assume approssimativamente il valore 1

Il condensatore $C2$, in riferimento alla Fig.4 – Convertitore F/V, ha il solo scopo di agire sul ripple del segnale di uscita; chiaramente un valore elevato di capacità minimizza l'oscillazione residua della tensione, incidendo tuttavia negativamente sul tempo di risposta del sistema. Valori tipici di queste capacità sono indicati dal produttore del circuito integrato.

Considerando sempre la figura sovrastante, la seconda area logica del circuito presenta un amplificatore in configurazione "buffer di tensione" ed un bjt per pilotare l'uscita in corrente. L'emettitore del transistor, oltre ad essere connesso a massa attraverso una resistenza opportuna, costituisce un segnale di retroazione che viene applicato al morsetto invertente dell'amplificatore stesso, realizzando la configurazione di buffer di tensione. In questo modo la tensione di uscita è riportata all'ingresso invertente dell'operazionale, mentre l'ingresso non invertente presenta la tensione di uscita del charge pump. Si riportano, in Fig.5 – Taratura Convertitore F/V, le scelte dimensionali effettuate.

Si noti l'inserimento di una resistenza $R1$, del valore di 470Ω, necessaria per la stabilizzazione interna del sistema, come descritto nella specifica del componente.

Si presti attenzione, inoltre, alla scelta progettuale di adottare per la rete integratrice del charge pump una resistenza fissa in serie ad un trimmer.

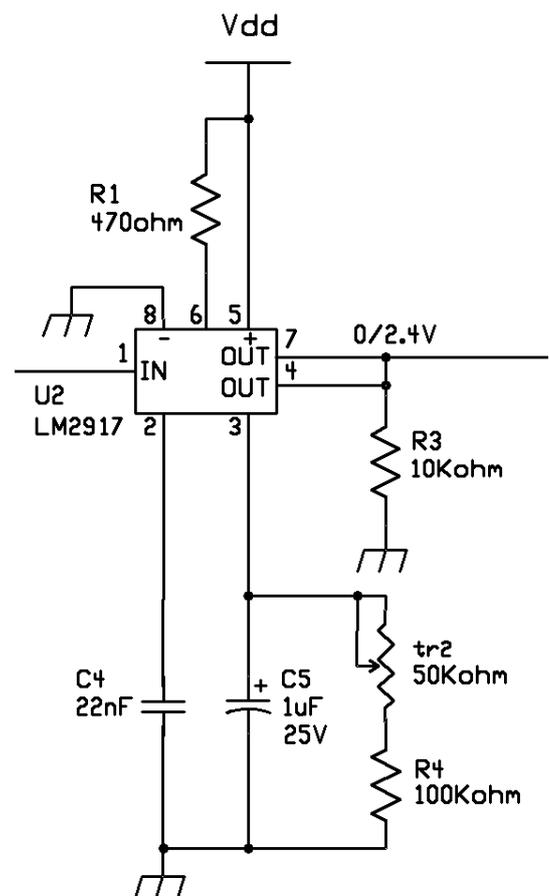


Fig.5 – Taratura convertitore F/V

Questa implementazione consente in fase di testing del circuito di impostare il valore di resistenza più opportuno per le specifiche richieste.

Con riferimento alla figura sopra riportata, all'uscita del convertitore si desidera una tensione variabile da 0 a 2.4V. Questa richiesta è motivata nel paragrafo successivo, attraverso l'analisi progettuale dei led driver.

A tal fine, si consideri la tensione di uscita del convertitore F/V, secondo la nomenclatura della figura citata:

$$V_O = V_{dd} * f_{in} * C4 * (R4 + tr2) * K$$

con K=1, da cui

$$R4 + tr2 = V_O / (V_{cc} * f_{in} * C4)$$

Considerato un regime massimo di funzionamento del motore di 10000 giri/minuto, in relazione al quale si rileva dalla centralina un segnale di frequenza pari a 167Hz, e tenuto in considerazione che a tal valore di frequenza si vuole associare la tensione massima di uscita, nel qual caso 2,4V, risulta:

$$tr2 + R4 \cong 73K\Omega$$

Tuttavia un approccio sperimentale, come si vedrà in seguito, tenderà, per le condizioni specifiche del circuito, a stimare un valore di resistenza di qualche decina di KΩ maggiore rispetto a quello calcolato. Può in effetti sembrare a prima vista uno scarto abbastanza ampio, ma in realtà rientra in una variazione del 30-35% rispetto alle stime, valori comunque accettati in questo ambito.

3.3 Led driver

Il segnale in uscita dall'LM2917 presenta una tensione proporzionale al numero dei giri del motore. Si desidera dunque visualizzare attraverso una barra led l'andamento del segnale in questione, realizzando quindi un dispositivo qualitativo di visualizzazione RPM.

La realizzazione della rete discussa prevede l'utilizzo del bar display driver LM3914, più precisamente di due driver connessi in serie.

L'LM3914 è un circuito integrato in grado di pilotare 10 led in modalità di display a barra oppure punto a punto, ovvero provvedendo all'accensione di un solo led alla volta, corrispondente in modo proporzionale al valore di tensione raggiunta. Si consideri la Fig.6 – LM3914 riportata di seguito.

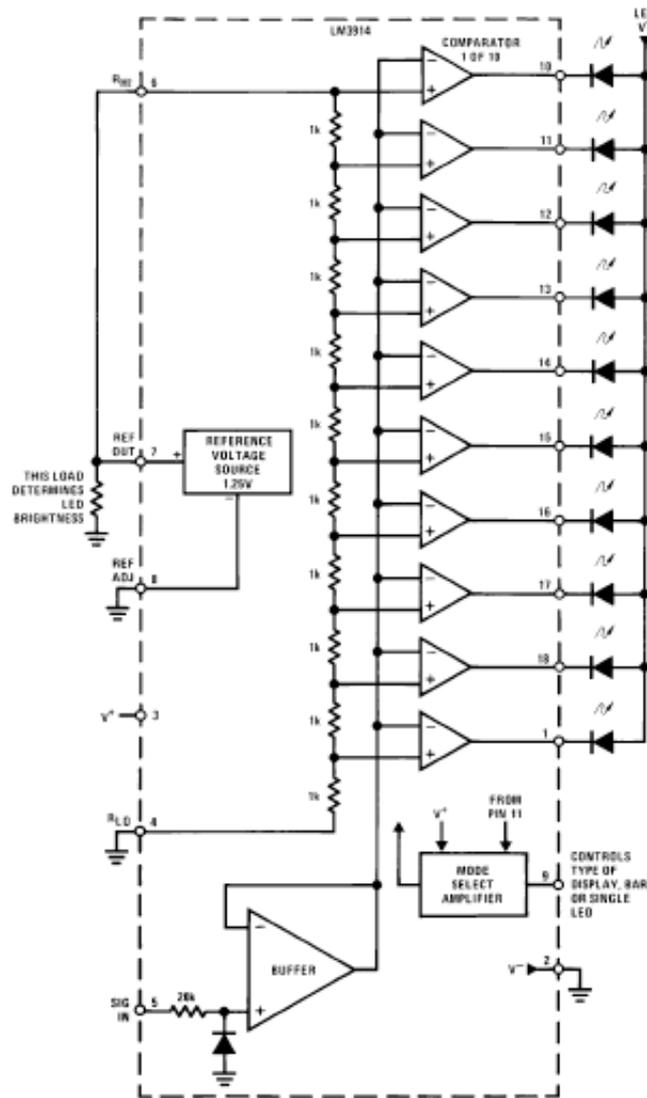


Fig.6 – LM3914

La rete logica interna all'integrato fornisce un'idea generale sul principio di funzionamento dello stesso. L'ingresso è caratterizzato da un buffer ad alta impedenza con un circuito di protezione per evitare l'applicazione di tensioni maggiori a 12V. Il segnale è quindi applicato a una serie di 10 comparatori, ognuno dei quali presenta una tensione di riferimento al morsetto non invertente diversa per la presenza della particolare rete resistiva interna.

Questa serie di resistenze viene connessa ad una tensione di riferimento generata internamente, pari a 1.25V. Si noti che, se non si agisce sul pin 8 di aggiustamento della tensione di riferimento, alle serie delle resistenze la tensione applicata è proprio 1,25V, avendo portato il pin 4, RL0, a massa. In questo caso per ogni incremento del segnale di ingresso di 125mV, un comparatore determina l'attivazione di un nuovo led.

La tensione di riferimento interna di 1,25V si presenta tra il pin 7 REF OUT e il pin 8 REF ADJ, potendo dunque andare ad agire sul pin 8 per aumentare quella che è la tensione al pin 7.

Il funzionamento che permette di determinare la corrente che attraversa ogni led non è riportato dallo schema a blocchi del produttore, il quale indica che tale valore di corrente è approssimativamente 10 volte quello sulla resistenza connessa esternamente al pin 7.

L'integrato è alimentato attraverso i pin 2 e 3, mentre portare al valore dell'alimentazione positiva il pin 9 consente un utilizzo dello stesso in funzionalità di display a barra.

Descritto il funzionamento del singolo led driver, si vuole progettare il modo di connettere in serie due LM3914 per pilotare 20 led. La soluzione consiste nel connettere opportunamente i pin 4 e 8 (RL0 e REF ADJ) del secondo led driver al primo.

Il primo led driver viene settato come discusso in precedenza. Valori del segnale di ingresso compresi tra 0 e 1,25V determinano l'accensione o meno dei primi 10 led. Fornendo al pin 8 del secondo driver la tensione di riferimento del primo (1,25V), è facile verificare che la tensione al piedino REF OUT del secondo driver diviene 2,5V (pin7). Avendo connesso anche il pin RL0 alla tensione di riferimento del primo integrato, si applica ai capi della rete resistiva interna una differenza di potenziale pari a 1,25V. L'escursione del segnale di ingresso tra 1,25V e 2,5V provoca l'accensione di tutti i primi 10 led, riferiti al primo driver, e l'attivazione di un numero opportuno di led tra i 10 controllati dal secondo driver.

In Fig.7 – Connessione led driver, si riporta la soluzione tecnica adottata.

Si noti che la scelta di $R6=1,2K\Omega$ comporta una corrente su ogni led attivato di circa 10mA. Chiaramente per avere lo stesso valore di corrente sui led del secondo driver è necessario raddoppiare la resistenza connessa al pin 7 dello stesso integrato, in quanto la tensione di riferimento è doppia rispetto a quella del primo led driver. Si presti attenzione anche alla scelta di inserire un led di accensione, DL0 nella figura, il cui scopo è quello di segnalare l'accensione del quadro strumenti.

Desiderando una corrente di 10mA anche su questo led, si ha che:

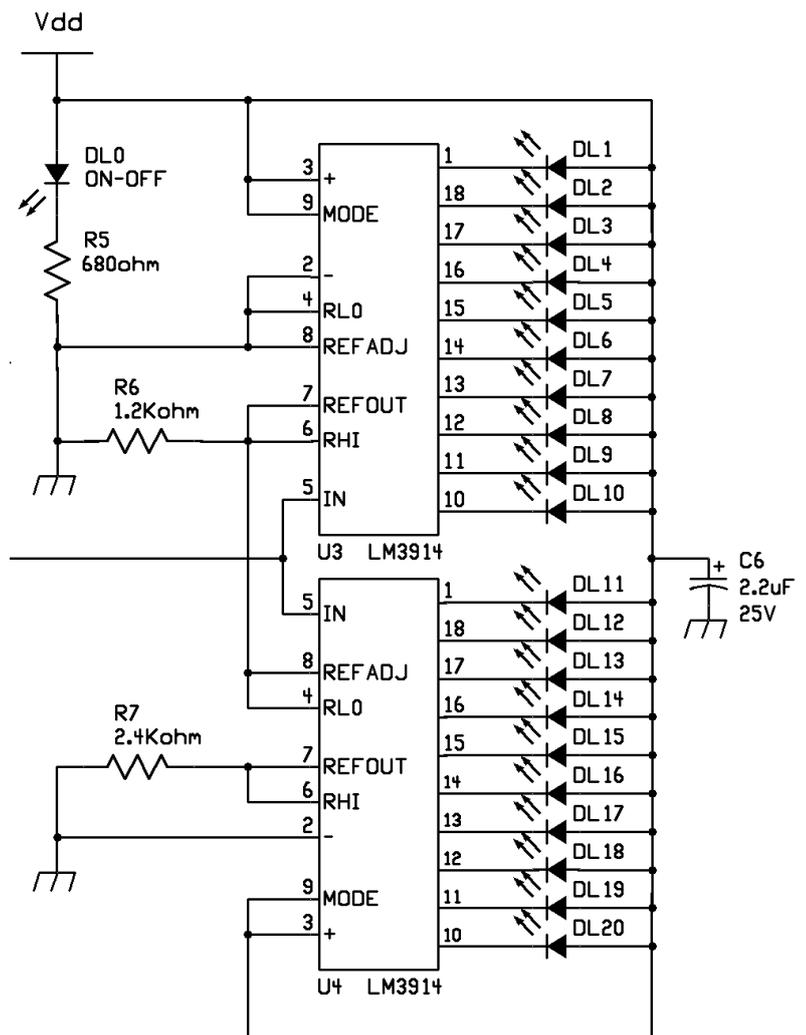


Fig.7 – Connessione led driver

$$R5 = (V_{dd} - V_{\gamma}) / I_{led}$$

con $V_{dd} = 9V$, $V_{\gamma} = 2V$ per un led verde, $I_{led}=10mA$ si ha:

$$R = 700\Omega$$

Il cui valore normalizzato diviene 680Ω , dunque la corrente effettiva è

$$I_{led} = 10,3mA$$

Definito il funzionamento dei led driver, si può intuire facilmente il motivo per cui si è richiesta una tensione massima di uscita dal convertitore F/V pari a $2,4V$. Il valore teorico effettivo richiesto sarebbe di $2,5V$, ma i test del circuito di prova hanno rivelato una tensione di riferimento del secondo driver di circa $2,4V$, suggerendo la scelta progettuale effettuata. Si tratta comunque di uno scarto minimo, che potrebbe comunque essere ignorato.

3.4 Circuiti per la visualizzazione dei segnali di servizio

3.4.1 Indicatori di cambiata

La scheda è stata dotata di due flash di cambiata, ovvero di due led di segnalazione per il pilota al fine di indicare allo stesso il momento più opportuno per agire sulle palette del cambio, sfruttando la massima coppia offerta dal veicolo. Il led di cambiata inferiore ha lo scopo di segnalare il funzionamento del motore al di sotto del regime giri ottimale. Se il cambio è innestato in prima marcia o in folle, non assume rilevanza l'indicazione del flash. Purtroppo, però, non si è potuto inibirne l'accensione in queste situazioni, in quanto non si ha a disposizione l'informazione relativa alla marcia inserita. In modo duale a quanto visto, il flash di cambiata superiore invita ad agire sul cambio, innestando la marcia superiore. Anche in questo caso, se inserita la sesta marcia l'indicazione del led è fittizia.

Per poter realizzare quanto esposto dal punto di vista elettronico, si utilizza il segnale in tensione presente all'uscita del convertitore F/V. Attraverso dei comparatori, con cui l'operatore può impostare le soglie di tensione oltre le quali far accendere i flash, si pilotano i due led bianchi ad alta luminosità.

In Fig.8 – Shift light, è presentata la soluzione tecnica adottata.

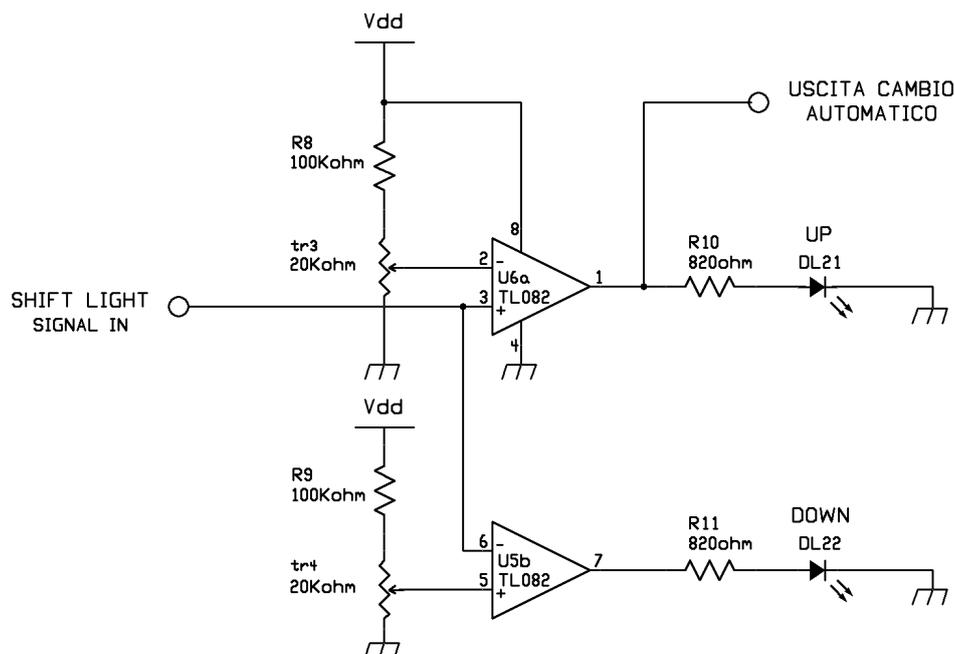


Fig.8 – Shift light

In riferimento alla figura sovrastante, si noti che il segnale in tensione proveniente dal convertitore F/V è applicato al morsetto invertente dell'operazionale U5b TL082, che pilota il flash di cambiata inferiore, e a quello non invertente dell'operazionale U6a TL082 relativo al flash superiore. Nel primo caso, tramite la regolazione di un trimmer, è possibile fissare una soglia al morsetto non invertente e, fin tanto che questa si mantiene superiore alla tensione che reca l'informazione relativa al regime giri motore, il led DL22 resta acceso, segnalando il funzionamento sotto coppia.

La situazione è duale nel secondo caso: la tensione di soglia è applicata al morsetto invertente dell'operazionale, per cui solamente quando il segnale in uscita dal convertitore F/V supera il livello fissato si attiva il led DL21.

Poiché l'attivazione del flash inferiore avviene ad un regime giri generalmente basso, si valuti che la scelta di un trimmer da 20KΩ risulta adeguata, potendo impostare al massimo una soglia pari a:

$$V_+ = [V_{DD} / (R9 + tr4)] * tr4$$

sostituendo i valori indicati

$$V_+ = 1,5V$$

Tenuto conto che al regime massimo di 10000 giri/minuto è associato il valore di 2,5V, almeno teoricamente, la tensione di soglia massima è posta, nella scelta della componentistica indicata, a 6000 giri/minuto. Si tratta chiaramente di un calcolo approssimativo che deve essere riconsiderato una volta tarato opportunamente il convertitore F/V. Comunque sia, è plausibile utilizzare il flash di cambiata inferiore per indicare un funzionamento del motore a regimi più bassi, dunque si può intuire la correttezza della scelta del valore del trimmer impiegato.

Lo stesso ragionamento si ripete per il flash superiore, ricordando però che la tensione di soglia è applicata al morsetto invertente, dunque può essere segnalato il funzionamento del motore a partire da un regime di 6000 giri/minuto. Generalmente il led è comunque utilizzato per invitare il pilota all'inserimento della marcia superiore in prossimità del massimo regime giri. Tuttavia, si possono impostare valori opportuni delle soglie di tensione secondo la specifica curva di coppia del motore, massimizzando la risposta in termini di prestazioni, assumendo che il pilota rispetti l'indicazione dei flash.

Sulla base dell'implementazione di questo circuito, come precedentemente accennato, è possibile realizzare un sistema di cambio automatico per l'inserimento della marcia superiore, collegando l'uscita dell'amplificatore operativo relativo al flash superiore alla centralina del cambio. Un tale sistema si rivela utile nella prova di accelerazione a cui sarà sottoposto il veicolo.

L'idea generale è quella di collegare il circuito trattato in parallelo con la paletta del cambio al volante, in modo tale che la cambiata possa avvenire in modalità automatica, ma allo stesso tempo il pilota può sempre decidere di gestire il cambio autonomamente.

Lo studio e l'ottimizzazione del sistema discusso, indipendentemente dall'elettronica relativa alla strumentazione del cruscotto, hanno permesso la realizzazione di una scheda dedicata, di cui si sono verificati gli effetti positivi durante l'accelerazione del mezzo.

Per quanto riguarda le resistenze in serie ai due led bianchi ad alta luminosità, si tenga conto che la tensione V_o in uscita dagli operazionali è pari a 9V (se l'uscita assume un valore alto), la tensione di ginocchio V_γ dei led è di circa 2,5-3V, dunque imponendo una corrente I di 8mA, si ha:

$$R = (V_o - V_\gamma) / I = 813\Omega$$

Il valore più vicino della serie E12 è $R = 820\Omega$, dunque

$$I = (V_o - V_\gamma) / R \approx 8mA$$

Si tratta comunque di un valore approssimativo che può essere regolato scegliendo un'opportuna resistenza.

Si tenga presente che i led ad alta luminosità richiedono una corrente di circa 20mA per sfruttare a pieno le loro caratteristiche. Una tale corrente, in realtà, porta ad un'illuminazione del dispositivo che può abbagliare il pilota. Per questo si è deciso di dimezzare la corrente allo scopo di attenuare la luminosità dei led.

3.4.2 Temperatura acqua motore

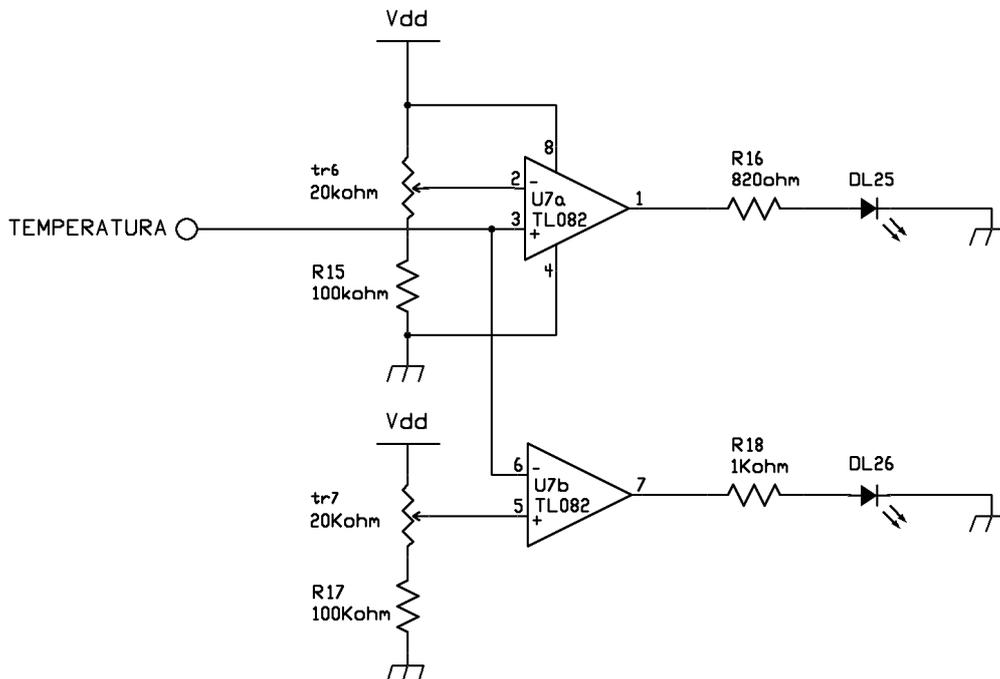


Fig.9 – Indicatori di temperatura dell'acqua di raffreddamento

Il funzionamento delle spie dedicate alla segnalazione della temperatura dell'acqua di raffreddamento del motore si basa sullo stesso tipo di circuito discusso per i flash di cambiata ed è riportato in Fig.9 – Indicatori di temperatura dell'acqua di raffreddamento. Il segnale in tensione relativo alla temperatura dell'acqua, proveniente dalla centralina e a sua volta prodotto dal sensore di temperatura, costituisce l'ingresso applicato ai due operazionali di figura. Con particolare riferimento al U7a, una soglia di tensione è applicata al morsetto invertente ed è regolabile da parte dell'operatore tramite la taratura di un trimmer. Se la tensione al morsetto non invertente supera il valore di soglia, l'operazionale determina l'accensione del led rosso. Questa situazione avverte di un surriscaldamento dell'acqua di raffreddamento. La progettazione della rete relativa al led blu, DL26 in figura, la cui accensione indica la necessità di far entrare in temperatura il motore, risulta analoga. Si noti però che la soglia è applicata al morsetto non invertente del U7b, in modo tale che finché la tensione al morsetto invertente rimane inferiore a quest'ultima, il led rimane attivo. Per questioni di reperimento della componentistica, è stato utilizzato un led blu ad alta luminosità. Considerata una tensione di ginocchio pari a 2,5-3V ed imponendo una corrente di 8mA, si ha:

$$R = (V_o - V_\gamma) / I = 813\Omega$$

normalizzando il valore a $R=820\Omega$

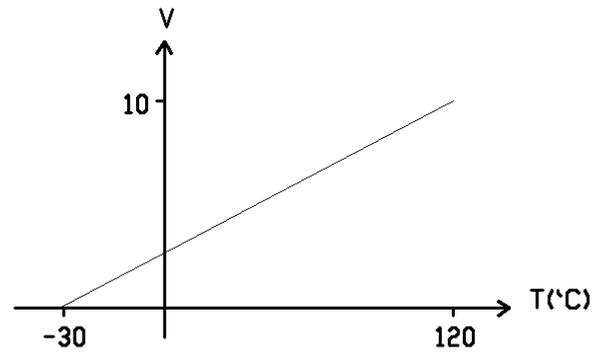
$$I \approx 8\text{mA}$$

si può ricorrere, considerati gli scopi, ad una $R=1\text{K}\Omega$, ottenendo

$$I = 6,5\text{mA}$$

Si tenga presente la volontà di diminuire leggermente la luminosità del led blu di indicazione della temperatura rispetto a quella dei flash di cambiata, motivando in tal senso la scelta del valore di resistenza. Lo spegnimento di entrambi i led indica uno stato ottimale di temperatura di esercizio dell'acqua di raffreddamento e del motore stesso.

Per quanto riguarda la regolazione dei valori di soglia da impostare, bisogna tenere conto della risposta in tensione del sensore utilizzato rispetto alla temperatura. Si riporta in Fig.10 – Sensore temperatura, la caratteristica tensione/temperatura del sensore in questione.



CARATTERISTICA SENSORE
TEMPERATURA ACQUA

Fig.10 – Sensore temperatura

Volendo impostare la soglia inferiore a 85°C, a cui corrisponde un segnale in tensione pari a 7,6V, con riferimento alla Fig.10 - Indicatori di temperatura dell'acqua di raffreddamento, si ha:

$$V_+ = [V_{DD} / (R17 + tr7')] * (R17 + tr7) = 7,6V$$

dove $tr7'$ è il valore di resistenza complessivo del trimmer e $tr7$ il valore ottenuto tramite la sua regolazione. Ne risulta:

$$R17 + tr7 = 101,33K\Omega$$

Da cui sorge la necessità di impostare il valore di $tr7$ a 1,33KΩ

Analogamente si vuole fissare la tensione di soglia superiore al valore relativo a 100°C, ovvero 8,6V:

$$V_+ = [V_{DD} / (R15 + tr6')] * (R15 + tr6) = 8,6V$$

dove $tr6'$ è il valore di resistenza complessivo del trimmer e $tr6$ il valore ottenuto tramite la sua regolazione. Ne risulta:

$$R15 + tr6 = 114,67K\Omega$$

da cui

$$tr6 = 14,67K\Omega$$

Le soglie impostate possono essere modificate, in base alle esigenze, dall'operatore, che nell'eventualità può ricorrere a diversi valori dei trimmer per aumentare l'intervallo dei valori di temperatura ritenuti ottimali per l'esercizio del motore.

3.4.3 Pressione olio motore

L'informazione relativa alla pressione dell'olio motore è fornita dalla centralina attraverso un segnale in tensione che rispetta la caratteristica tensione/pressione del sensore utilizzato a tale scopo. Si riporta nella figura sottostante, Fig.11 – Sensore pressione olio, la caratteristica in esame.

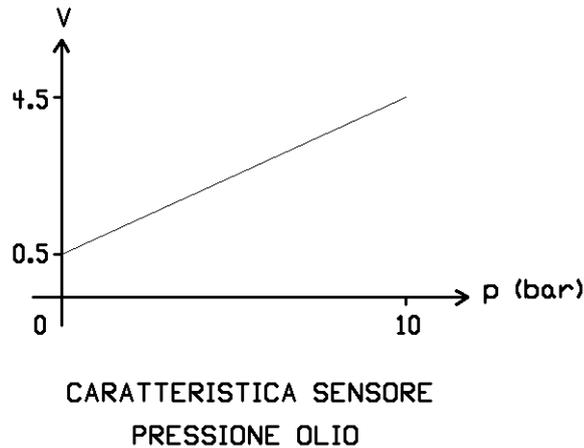


Fig.11 – Sensore pressione olio

Ancora una volta, si ricorre all'utilizzo di un comparatore, in modo tale da poter regolare il valore di tensione, relativo ad una certa pressione dell'olio motore, a cui far attivare il led di segnalazione. Il sistema è dunque in grado di indicare al pilota se la pressione dell'olio motore scende al di sotto di una massima soglia consentita, che potrebbe compromettere prestazioni e funzionamento del veicolo.

La rete realizzata è riportata in Fig.12 – Indicazione pressione olio.

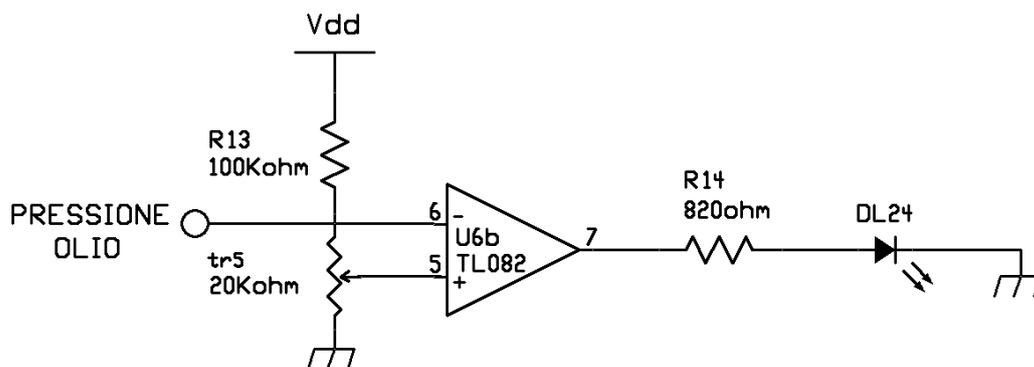


Fig.12 – Indicazione pressione olio

A motore freddo, l'olio risulta molto denso, dunque la pressione è inizialmente piuttosto elevata, potendo raggiungere i 7-8bar. Con l'aumentare della temperatura, la viscosità dell'olio motore diminuisce, come la pressione dello stesso. Generalmente, a livelli ottimali la pressione non deve scendere sotto i 2bar.

Considerata dunque la caratteristica del sensore, riportata in precedenza, la tensione fornita dalla centralina per il valore di soglia 2bar è di 1,3V.

Si proceda come segue, con riferimento alla Fig.12 – Indicazione pressione olio:

desiderando una tensione di soglia pari a 1,3V, si ha

$$V_+ = [V_{DD} / (R_{13} + tr_{5'})] * (tr_5) = 1,3V$$

dove $tr_{5'}$ è il valore di resistenza complessivo del trimmer e tr_5 il valore ottenuto tramite la sua regolazione. Ne risulta:

$$tr_5 = 17,33K\Omega$$

Si noti inoltre che, imponendo un corrente I sul led DL24 di 10mA, si ottiene una resistenza R_{14} pari a:

$$R_{14} = (V_o - V_\gamma) / I$$

con $V_o=9V$ e $V_\gamma=1,5V$, per cui

$$R_{14} = 750\Omega$$

normalizzando la resistenza R_{14} al valore di 820Ω

$$I = (V_o - V_\gamma) / R_{14} = 9mA$$

3.4.4 Indicatore della folle

Per ciò che riguarda la segnalazione di marcia non inserita, ovvero della folle, la centralina fornisce un segnale in tensione pari a 12V quando il cambio non innesta alcuna marcia, 0V se la marcia è inserita. Si ricorre all'utilizzo di un led di segnalazione.

In Fig.13 – Led folle, si riporta la semplice rete di segnalazione.

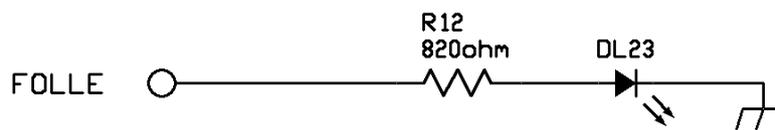


Fig.13 – Led folle

In riferimento alla figura sovrastante, impostando una resistenza R12 pari a 820Ω , considerato il segnale proveniente dalla centralina di 12V e una tensione di soglia del led di 1,5V, la corrente I sul led risulta pari a:

$$I = 12,8\text{mA}$$

4 Realizzazione e test del circuito di prova

4.1 Impiego della breadboard

Un usuale metodo impiegato nella progettazione e successiva produzione di una scheda elettronica è quello di testare il circuito mediante l'uso di una breadboard prima della costruzione della scheda stessa. In questo modo è possibile apportare le opportune modifiche che la sola trattazione teorica del sistema non può tenere in considerazione.

Nel caso particolare, si è potuto comprovare il funzionamento del circuito e, nonostante la modesta affidabilità dovuta alla bassa qualità dei collegamenti, questa tecnica ha permesso di regolare opportunamente i trimmer impiegati e valutare le scelte sugli altri valori della componentistica.

Inizialmente i test sono stati effettuati direttamente al banco prova, interfacciando il circuito alla centralina motore. Una tale soluzione è risultata, però, poco efficiente, poiché le prove potevano durare solamente qualche minuto e dovevano essere intervallate da una decina di minuti l'una dall'altra, a causa di problematiche relative al surriscaldamento del motore sprovvisto del completo circuito di raffreddamento.

La questione più delicata, che merita di essere trattata con maggior precisione, è rappresentata dalla scelta dei valori di resistenza e capacità della rete RC del convertitore F/V, che determinano il valore della tensione di uscita. Dunque, la possibilità di usufruire di un generatore di funzioni, con cui sia possibile impostare con precisione la frequenza del segnale in ingresso al convertitore F/V, risulta preziosa per gli scopi in esame. In tal modo è possibile, cioè, valutare l'esatta risposta del sistema per una nota frequenza del segnale di ingresso.

Per questi motivi, la fase di test si è svolta preventivamente in un laboratorio attrezzato di oscilloscopio e generatore di funzioni, di cui mi è stato gentilmente concesso l'utilizzo. Solamente in un secondo momento, quindi, si è passati alla verifica della funzionalità della scheda operando i

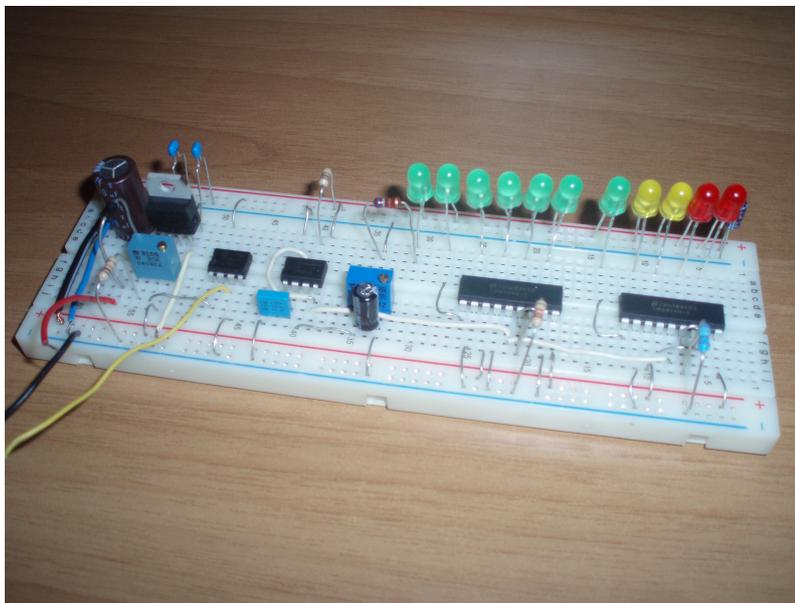


Fig.14 – Circuito di prova_01

collegamenti alla centralina motore. Dal punto di vista della realizzazione del circuito sulla breadboard, è buona norma ridurre il più possibile la lunghezza dei collegamenti, realizzando una rete ordinata e chiara, in cui sia possibile individuare facilmente i diversi punti seguendo le indicazioni del disegno schematico. Adottando questa accortezza si semplifica notevolmente la risoluzione dei problemi qualora questi si presentassero nella fase di test. Si riporta, in Fig.14 – Circuito di prova_01, l'immagine relativa al montaggio del circuito sulla breadboard.

Dalla figura di fianco, si può notare l'impiego di soli undici led, su

ventuno previsti, per il testing del circuito. Per ragioni legate allo spazio sulla breadboard, si è utilizzata, infatti, un'uscita dell'LM3914 ogni due disponibili, collegando la metà dei led previsti per la barra RPM. Si tenga in considerazione che il primo led verde a sinistra segnala l'accensione dell'intero quadro strumenti, la cui attivazione non è gestita dai driver.

La figura sottostante, Fig.15 – Circuito di prova_02, riporta un'ulteriore immagine del circuito realizzato.

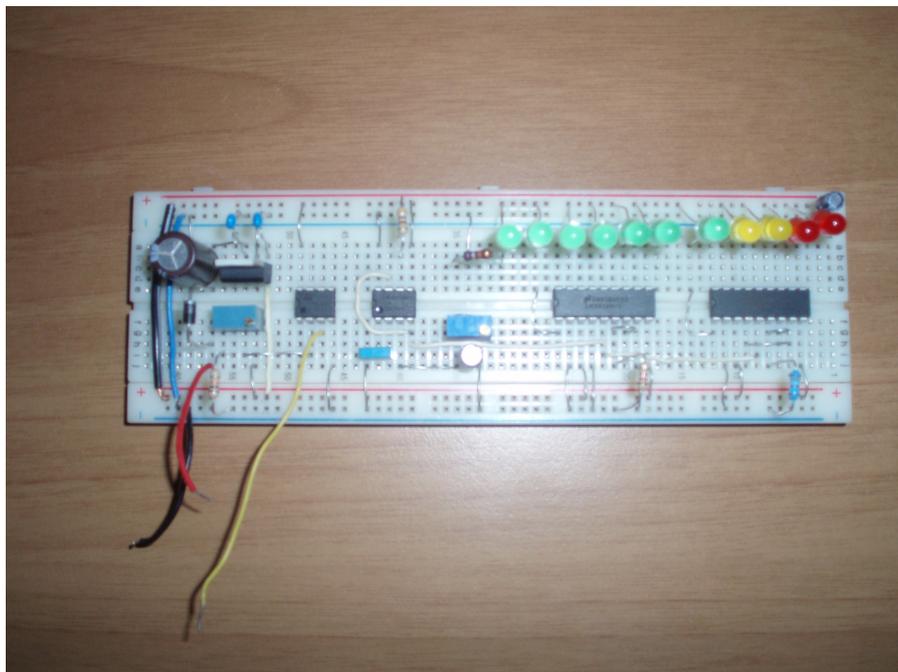


Fig.15 – Circuito di prova_02

4.2 Taratura del convertitore frequenza/tensione

Il montaggio del circuito sulla breadboard ha permesso la verifica della funzionalità dello stesso. In particolare è stato possibile testare in modo specifico le diverse parti di cui si costituisce il sistema, passando solamente in un secondo momento alla valutazione del comportamento generale.

La verifica del corretto funzionamento della rete di filtraggio del segnale di ingresso è stata effettuata fornendo come input un'onda quadra di ampiezza superiore a 9V, massima tensione di uscita, riscontrando il comportamento teorizzato in fase di progettazione. Inoltre, impostando adeguatamente la soglia del comparatore, è stato possibile accertare il taglio delle tensioni inferiori a questa, scopo per cui è stato introdotto un tale circuito.

I test sono proseguiti con la rete di pilotaggio dei led della barra RPM. Usufruendo di un alimentatore variabile, si è riscontrato qualitativamente lo spegnimento di tutti i led per una tensione di ingresso pari a 0V, l'accensione dei led pilotati dal primo driver per una tensione in input di circa 1,2V, e la completa attivazione della barra per una tensione di 2,4V. Questa prova è stata eseguita fornendo direttamente agli ingressi opportuni degli LM3914 il segnale in tensione dell'alimentatore, by-passando quindi il convertitore F/V. Si tenga presente che è stata misurata una tensione di riferimento del secondo led driver di circa 2,4V contro le attese di un valore teorico pari a 2,5V. Questa situazione, comunque del tutto accettabile, suggerisce di impostare una tensione massima in uscita del convertitore F/V pari a 2,4V.

La questione certamente di maggior importanza nella fase di test del sistema, come già accennato, è la regolazione del convertitore F/V LM2917. Dalla sua calibratura dipende, infatti, il corretto funzionamento della barra led per l'indicazione dei giri del motore e dei flash di cambiata.

Impostando tramite il generatore di funzioni una determinata frequenza per l'onda quadra di ingresso al convertitore F/V, la tensione in uscita, almeno a livello teorico, secondo la Fig.4 – Convertitore F/V risulta pari a:

$$V_O = V_{dd} * f_{in} * C1 * R1$$

si noti non essere considerato il contributo del coefficiente K, precedentemente trattato, per l'assunzione K=1

Se condensiamo i contributi delle varie grandezze in gioco con il termine k, ad eccezione della frequenza f_{in} , si ha un coefficiente $k = V_{dd} * C1 * R1$. Quindi il valore della tensione di uscita risulta:

$$V_O = k * f_{in}$$

Secondo i valori determinati in fase progettuale

$$\begin{aligned} V_{dd} &= 9V \\ C1 &= 22nF \\ R1 &= 73K\Omega \end{aligned}$$

risulta un k complessivo pari a

$$k = 0.014$$

La regolazione procede con la taratura del trimmer tr2 (si faccia riferimento allo schematico allegato) in modo tale che per una frequenza di ingresso pari a 167HZ, ovvero un regime giri di 10000 giri/min, tutti i led siano attivi.

Eseguita la suddetta operazione, indispensabile per il corretto effetto visivo della barra led, si può valutare l'esatto valore di resistenza impostato.

Considerato il circuito riportato nel disegno schematico allegato, utilizzata una resistenza R4 da 100KΩ, per la regolazione descritta sorge la necessità di impostare il trimmer tr2, in serie a R4, ad un valore di 14KΩ.

Appare chiaro, dunque, come un valore teorico di resistenza pari a 73KΩ sia divenuto di 114KΩ per il corretto funzionamento del convertitore F/V.

Secondo questa impostazione, se consideriamo il coefficiente k precedentemente introdotto, si calcola immediatamente:

$$k = 0.022$$

Si tratta però di un valore teorico da verificare, al fine di riscontrare la validità della formula della tensione di uscita del convertitore F/V riportata.

A questo scopo si sono rilevati alcuni valori relativi alla tensione di uscita V_O del convertitore F/V, ottenuti in corrispondenza di frequenze del segnale di ingresso impostate. Si riportano nella seguente tabella i risultati ottenuti.

RPM (giri/minuto)	Frequenza f_{in} (Hz)	Periodo T (ms)	Tensione V_O (V)
2000	42	24	0,65
5000	83	12	1,22
7500	125	8	1,83
10000	167	6	2,4

Il periodo T dell'onda quadra del segnale di ingresso è stato rilevato dall'osservazione del segnale tramite oscilloscopio.

Secondo i parametri osservati, la caratteristica tensione/frequenza reale è riportata in Fig.16 – Caratteristica tensione/frequenza.

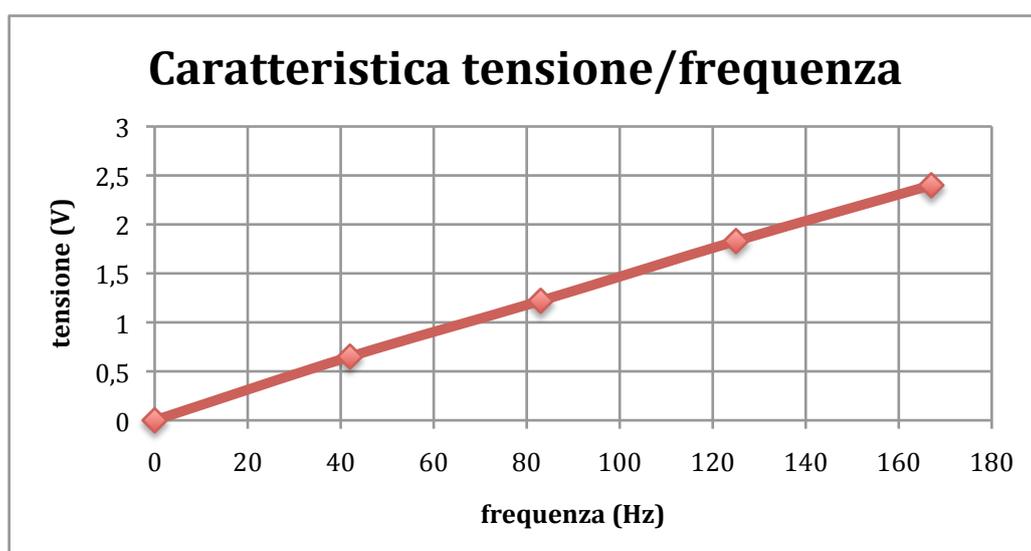


Fig.16 – Caratteristica tensione/frequenza

Si può agevolmente calcolare il coefficiente moltiplicativo k considerando due valori di frequenza, ad esempio $f_1=83\text{Hz}$ e $f_2=125\text{Hz}$, a cui corrispondono $V_{O1}=1,22\text{V}$ e $V_{O2}=1,83\text{V}$.

$$k = (V_{O2} - V_{O1}) / (f_2 - f_1) = 0,61\text{V} / 42\text{Hz} = 0,014$$

Si ritrova, quindi, il valore del coefficiente k che era stato previsto inizialmente a livello teorico. La motivazione di un valore moltiplicativo diverso, pari a 0,022, nel passaggio all'implementazione fisica del circuito è dovuto a contributi che la sola trattazione teorica non ha potuto prendere in considerazione.

Nell'analisi effettuata si è ritenuta la caratteristica tensione/frequenza lineare. In effetti, il produttore fornisce nella specifica l'errore percentuale sulla linearità, che dipende dal valore della resistenza $R1$ in Fig.4 – Convertitore F/V. Si tratta tuttavia di un errore che rimane sotto all'1% per frequenze di test dichiarate dal produttore. Anche se queste frequenze risultano maggiori a quelle d'interesse del progetto, non si ritiene che la non linearità degradi in modo significativo i risultati sperimentali. Comunque sia, lo scopo del progetto non è tanto cercare di capire le cause di questa variazione legata al coefficiente k , certamente prevedibile, ma più che altro operare la giusta taratura del trimmer in modo tale da rendere corretto il funzionamento della barra led per l'indicazione dei giri del motore.

Si osservi, in ultima istanza, che la variazione della tensione di uscita rispetto alla variazione della frequenza di ingresso dell'LM2917 è pari ad $1\text{V}/70\text{Hz}$.

5 Progettazione del layout e fabbricazione della scheda

5.1 Realizzazione dei master

La realizzazione del circuito stampato, effettuata tramite fotoincisione, ha richiesto la realizzazione dei master necessari.

I disegni PCB, come d'altra parte gli schematici, sono stati eseguiti utilizzando il software Circad98. La loro realizzazione si è articolata in due file distinti. Se inizialmente si è cercato di ridurre al minimo la complessità emersa dallo sbroglio delle piste, in seguito si sono preventivamente disposti tutti i componenti, al fine di ottenere un layout quanto più simmetrico ed equilibrato. In realtà, nel secondo caso, si è prodotto un master del tutto simile, a livello di piste, alla prima realizzazione. Per questo motivo è stato utilizzato questo secondo disegno per la realizzazione della scheda.

Comunque sia, appare chiaro che la disposizione della barra led riveste un ruolo principale nel layout della scheda. Dunque risulta naturale cominciare col disporre i led della suddetta barra, per passare all'allineamento dei led driver e del convertitore LM2917.

La complessità del circuito è tale da richiedere l'utilizzo di entrambi i lati della scheda per le piste di collegamento. Tuttavia, per il loro numero esiguo, si è deciso di ricorrere comunque all'utilizzo di una basetta a singola faccia, effettuando i collegamenti necessari sul lato componenti.

Le regole seguite per la realizzazione del layout, in parte già discusse durante la trattazione teorica, prendono in considerazione l'ingombro dei componenti e la necessità di piste di collegamento quanto più corte possibile, soprattutto per particolari segnali. Ad esempio, l'LM2917 è stato disposto in posizione ravvicinata ai led driver, al fine di ridurre la lunghezza della pista di collegamento e, conseguentemente, il rumore che potrebbe presentarsi al segnale in tensione che pilota la barra led RPM. Nonostante ciò, seppur con un occhio di riguardo anche all'ingombro della componentistica, la rete non presenta particolare sensibilità dovuta ai collegamenti tra i dispositivi.

Consultando i master allegati, si può osservare che i trimmer necessari all'impostazione personalizzata dei parametri fondamentali della scheda sono accompagnati, sul lato piste, da una sigla che ne indica la funzione. Tale accortezza permette il settaggio della scheda senza ricorrere necessariamente alla consultazione degli schemi cartacei.

Il master utilizzato per la fotoincisione, lato piste, è allegato assieme al layout piste del lato componenti e al disegno della disposizione spaziale dei componenti stessi.

5.2 Fotoincisione e montaggio della componentistica

La fotoincisione è stata eseguita ricorrendo alla stampa del disegno PCB su carta trasparente, al fine di ridurre il tempo di esposizione alle lampade del bromografo a soli 3 minuti. Il processo chimico seguito alla fotoincisione, da un certo punto di vista molto delicato, non ha causato problemi di interruzione del collegamento tra le piste.

Una problematica si è invece presentata in fase di foratura dei pad di cambio pista tra lato componenti e lato piste. Avendo realizzato delle piazzole più piccole per lo specifico scopo, è indicato l'utilizzo di una punta di larghezza inferiore agli 0,8mm, dimensione impiegata per le altre forature. Non disponendo di punte di dimensione inferiore, sono stati eseguiti dei fori che hanno eliminato gran parte del rame delle piazzole in questione, rendendo la successiva saldatura più complessa. Per il motivo esposto, è necessario ricorrere ad una punta di dimensioni adeguate o aumentare il diametro dei pad specifici.

Le saldature sono state ultimate con il collegamento del cavo di connessione dei segnali di ingresso necessari alla scheda: le due linee di alimentazione, il segnale "Tacho", e i tre segnali relativi alla temperatura dell'acqua di raffreddamento, alla pressione dell'olio motore e alla folle. E' stato impiegato un flat cable che presenta la colorazione rossa per la linea relativa ai 12V.

Se l'obiettivo del progetto è il posizionamento definitivo della scheda nella monoposto, risulta conveniente l'utilizzo di un connettore per lo sganciamento rapido della stessa.

Si riporta nel seguito una sequenza di immagini che illustrano la scheda realizzata.

La figura sottostante, Fig.17 – Lato piste, raffigura il lato piste della scheda.

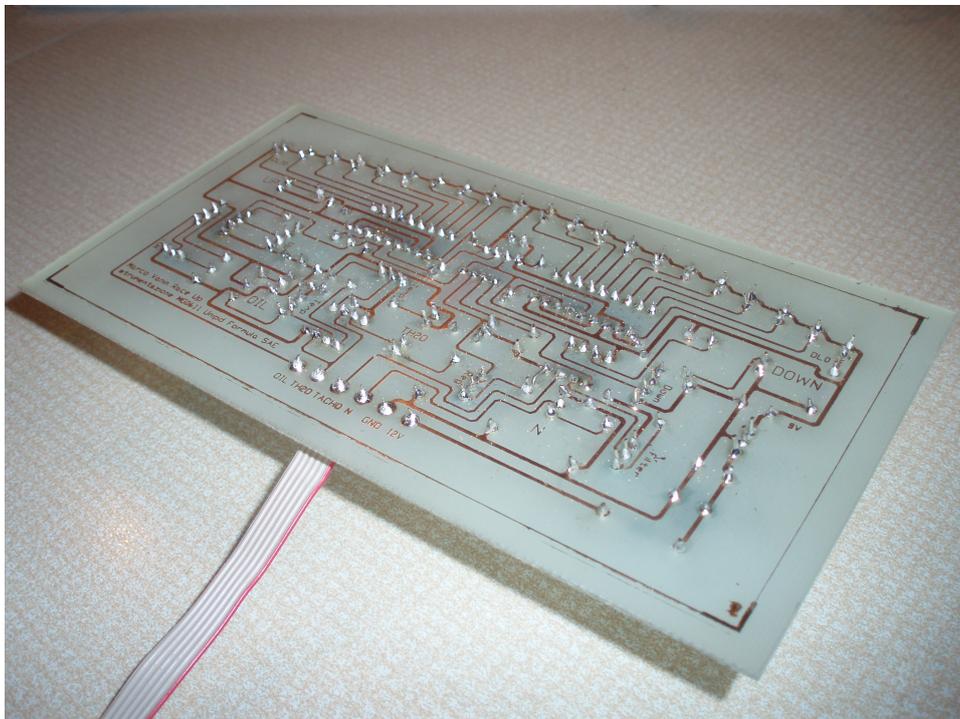


Fig.17 – Lato piste

La Fig.18 – Flat cable, illustra, come discusso, il metodo di interfacciamento della scheda con i segnali di ingresso.

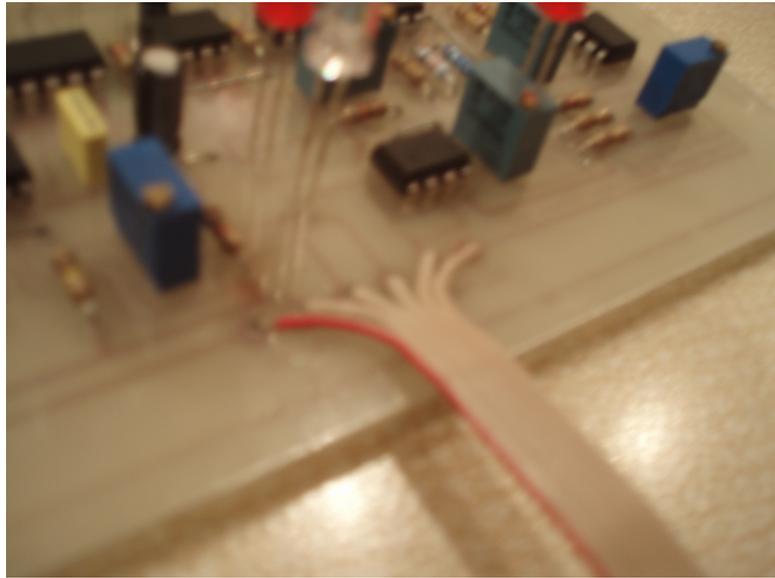


Fig.18 – Flat cable

Per concludere, le Fig.19 – Lato componenti_01 e Fig.20 – Lato componenti_02, rappresentano il lavoro concluso nel complesso.

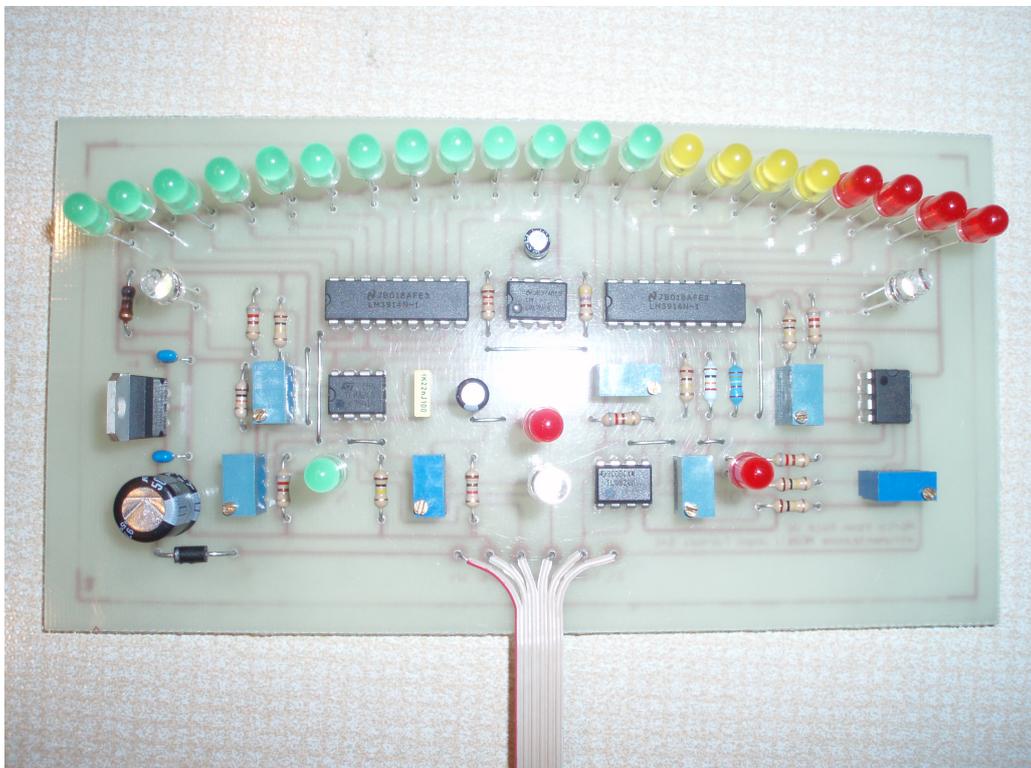


Fig.19 – Lato componenti_01

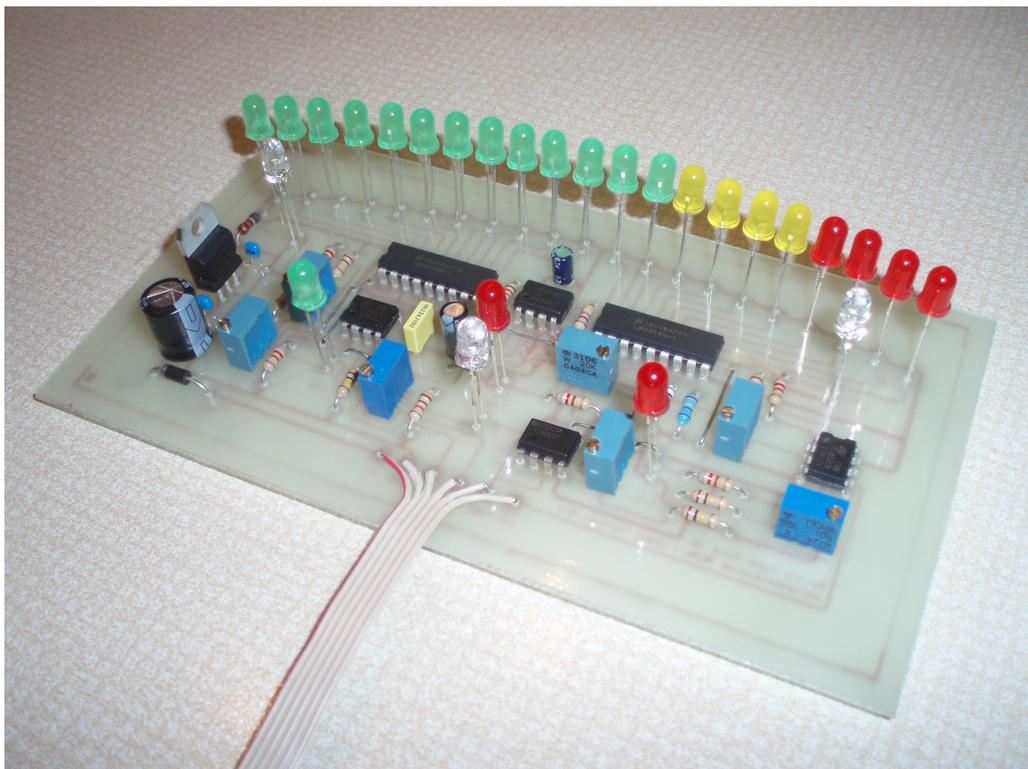


Fig.20 – Lato componenti_02

6 Verifica del funzionamento e possibili sviluppi futuri

Una volta conclusa la fase di assemblaggio della scheda, si è passati al test della stessa direttamente al banco prova, connettendola alla centralina motore. La regolazione del convertitore F/V si è rivelata analoga a quella effettuata per il test mediante breadboard. Non si sono presentati quindi problemi specifici relativi al funzionamento della barra led e dei flash di cambiata. In particolare è stato possibile verificare la funzionalità dei suddetti indicatori di cambiata, agendo opportunamente sui trimmer ad essi relativi, verificando gli effetti attesi.

Le prove relative al funzionamento dei segnalatori della temperatura dell'acqua di raffreddamento, della pressione dell'olio e dell'inserimento della folle, sono state effettuate solo in un secondo momento, una volta disponibili i sensori opportuni. Comunque sia, anche queste ultime verifiche hanno fornito esiti positivi.

Sicuramente il progetto può aprire la strada per idee e sviluppi da implementare per le prossime stagioni della Formula SAE.

Il primo naturale miglioramento, come accennato inizialmente, è quello di adottare un'elaborazione del segnale tramite microcontroller. La possibilità di poter gestire la situazione tramite software permette la veloce e robusta impostazione delle specifiche, che possono essere modificate in modo agevole in base alle esigenze del caso. Inoltre, tale soluzione permetterebbe l'ampliamento delle funzionalità della scheda, pur mantenendo modesta l'area occupata. Per questi motivi, la soluzione indicata sarà certamente perseguita in un'eventuale prossima stagione.

Uno sviluppo altrettanto ambizioso, ma più complesso dal punto di vista realizzativo, è quello di interfacciare il cruscotto con la centralina tramite protocollo CAN (Control Area Network), un protocollo seriale di comunicazione digitale largamente utilizzato nel settore automotive, realizzabile con l'utilizzo di un PIC. Il suo successo è dovuto a tempi di risposta rigidi, semplicità, flessibilità del cablaggio e alta immunità ai disturbi. Questa soluzione consentirebbe dunque il veloce e sicuro dialogo con la centralina, che a sua volta utilizza tale protocollo per lo scambio di informazioni con i sensori presenti sul veicolo.

Sotto questo punto di vista, con un occhio di riguardo alle possibilità di sviluppo, si ritiene il progetto realizzato un punto di partenza verso lo studio e l'implementazione di sistemi più complessi in grado operare in modo più ampio, ma allo stesso tempo in modo più agevole, per la gestione di prototipi destinati al mondo delle competizioni.