

***LaurTec***

**Scheda di controllo  
Motori DC  
e  
Stepper bipolari  
con  
Microcontrollore**

**Autore :** *Mauro Laurenti*

**email:** [info.laurtec@gmail.com](mailto:info.laurtec@gmail.com)

**ID:** PJ3003-IT

## INFORMATIVA

Come prescritto dall'art. 1, comma 1, della legge 21 maggio 2004 n.128, l'autore avvisa di aver assolto, per la seguente opera dell'ingegno, a tutti gli obblighi della legge 22 Aprile del 1941 n. 633, sulla tutela del diritto d'autore.

Tutti i diritti di questa opera sono riservati. Ogni riproduzione ed ogni altra forma di diffusione al pubblico dell'opera, o parte di essa, senza un'autorizzazione scritta dell'autore, rappresenta una violazione della legge che tutela il diritto d'autore, in particolare non ne è consentito un utilizzo per trarne profitto.

La mancata osservanza della legge 22 Aprile del 1941 n. 633 è perseguibile con la reclusione o sanzione pecuniaria, come descritto al Titolo III, Capo III, Sezione II.

A norma dell'art. 70 è comunque consentito, per scopi di critica o discussione, il riassunto e la citazione, accompagnati dalla menzione del titolo dell'opera e dal nome dell'autore.

## AVVERTENZE

I progetti presentati non hanno la certificazione CE, quindi non possono essere utilizzati per scopi commerciali nella Comunità Economica Europea.

Chiunque decida di far uso delle nozioni riportate nella seguente opera o decida di realizzare i circuiti proposti, è tenuto pertanto a prestare la massima attenzione in osservanza alle normative in vigore sulla sicurezza.

L'autore declina ogni responsabilità per eventuali danni causati a persone, animali o cose derivante dall'utilizzo diretto o indiretto del materiale, dei dispositivi o del software presentati nella seguente opera.

Si fa inoltre presente che quanto riportato viene fornito così com'è, a solo scopo didattico e formativo, senza garanzia alcuna della sua correttezza.

L'autore ringrazia anticipatamente per la segnalazione di ogni errore.

Tutti i marchi citati in quest'opera sono dei rispettivi proprietari.

## Introduzione

Quando il controllo dei motori è solo parte di un sistema molto più complesso, si ha spesso la necessità di delegare gli aspetti del controllo alla scheda alla quale il motore è connesso. Per mezzo della scheda L2000-30001 è possibile grazie alla presenza di un microcontrollore delegare gli aspetti del controllo a più basso livello lasciando al sistema la possibilità di prendere le decisioni. La comunicazione tra la scheda e il sistema può avvenire per mezzo del protocollo CAN, I2C o per mezzo della USART. Le piccole dimensioni e la potenza di calcolo rendono questa scheda anche idonea per la realizzazione di piccoli robot.

## Analisi del progetto

In Figura 1 è riportato lo schema elettrico della scheda di controllo per motori DC e stepper bipolari. Il cuore del progetto è rappresentato dal microcontrollore PIC18F2480 che orchestra il resto della scheda ed in particolare l'integrato L298 che contiene al suo interno due ponti H. Ogni ponte H permette di controllare un motore DC per cui la scheda permette di pilotare due motori DC il cui assorbimento non superi i 2A l'uno. Nel caso in cui si decida di utilizzare la scheda per pilotare un motore stepper bipolare si avrà che ogni ponte H sarà collegato ad una fase del motore stepper che non dovrà superare la corrente massima di 2A per fase. I motori sono rispettivamente collegati ai connettori nominati AUX\_1 e AUX\_2. I condensatori C11 e C12 collegati in parallelo ai connettori hanno lo scopo di ridurre eventuali disturbi elettromagnetici derivanti dalle spazzole dei motori<sup>1</sup>. I diodi da D1 a D8 hanno lo scopo di proteggere L298 dai picchi di corrente che causano extra tensioni dannose alla giunzione dei transistor che costituiscono i ponti H. Per la natura induttiva dei motori e dalla rapidità dei transistori i diodi devono essere di tipo fast recovery in grado di sopportare la corrente

<sup>1</sup> I condensatori più efficaci per la riduzione dei disturbi elettromagnetici sono quelli localizzati sul motore stesso. I condensatori della scheda permettono però di limitare i disturbi che il microcontrollore potrebbe avere a causa di picchi di correnti (ai quali sono associati disturbi elettromagnetici).

massima dei motori, ovvero 2A.

L'integrato L298 possiede due ingressi di sens per mezzo dei quali, avendo collegato due resistori R5 e R6 da 0.1Ω è possibile misurare la corrente che scorre nei motori<sup>2</sup>.

La misura della corrente avviene per mezzo degli ingressi analogici AN0 e AN1 del microcontrollore. Tra la resistenza e gli ingressi analogici sono presenti due amplificatori a guadagno 10 che permettono di amplificare la caduta di tensione sui resistori.

I resistori R5 ed R6 sono stati scelti a basso valore resistivo in modo da limitare la caduta di tensione ai loro capi e le dimensioni fisiche degli stessi. Infatti dal momento che la corrente massima è di 2A, la potenza massima che dovranno dissipare i resistori è:

$$P_w = R \cdot I^2$$

ovvero :

$$0.4W = 0.1 \cdot 2^2$$

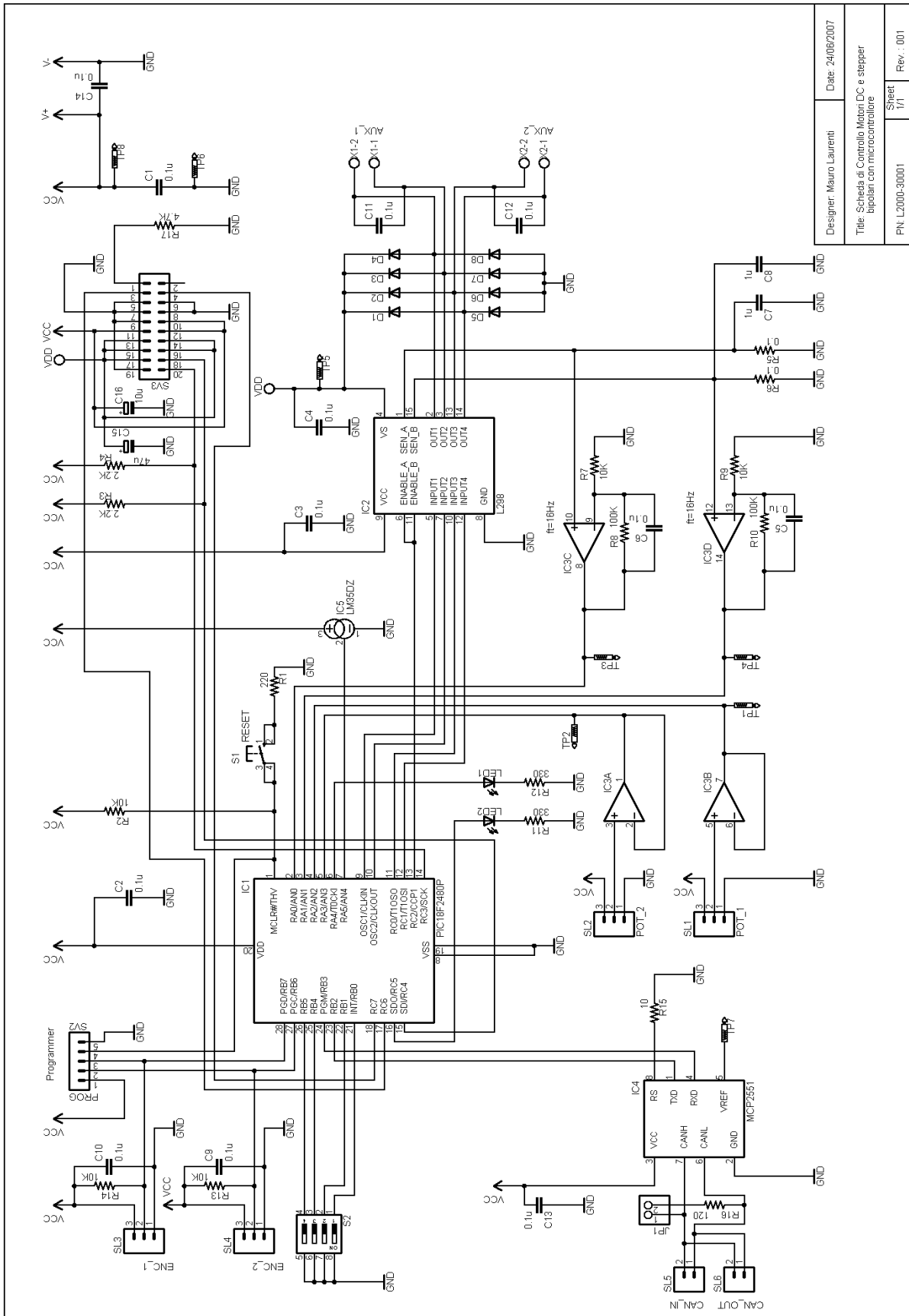
per cui resistenze da 1W saranno sufficienti. I condensatori C7 e C8 hanno lo scopo di costituire assieme alle resistenze R5 ed R6 un filtro passa basso per mezzo del quale limitare eventuali disturbi derivanti dalla modulazione PWM o dalle spazzole dei motori<sup>3</sup>. La frequenza di taglio di questo filtro è circa 1,6MHz il che non garantisce un reale ostacolo per disturbi derivanti dal PWM. Per tale ragione l'amplificatore a guadagno 10 è in realtà anche un filtro a 16Hz<sup>4</sup>. Questo secondo filtro permette di filtrare in maniera opportuna il segnale in tensione proporzionale alla corrente dei motori.

In particolare poiché la resistenza R5 e R6 sono da 0.1Ω, si ha che per ogni Amper che scorre

<sup>2</sup> Il controllo della corrente assorbita dal motore può essere utile per verificare il corretto funzionamento dello stesso e la verifica dello sforzo a cui è sottoposto. In caso di eccessiva corrente o malfunzionamenti il motore può essere disabilitato.

<sup>3</sup> Si ricorda che durante la modulazione PWM la corrente nei motori rimane più o meno costante per la natura induttiva dei motori stessi.

<sup>4</sup> Si fa osservare che è presente un altro polo a 100KHz dovuto al fatto il la banda a guadagno unitario del LM324 è 1MHz e il guadagno degli amplificatori è posto a 10.



Designer: Mauro Laurenti	Date: 24/08/2007
Title: Scheda di Controllo Motori DC e stepper bipolari con microcontrollore	
Sheet: 1/1	Rev.: 001
PN: L2000-30001	

Figura 1: Schema Elettrico

nei motori si ha una caduta di tensione pari a 0.1V che poi venendo moltiplicati per 10 saranno 1 V/A. Quindi nel caso di corrente massima la tensione massima sarà di 2V.

Quanto detto sembrerebbe in contrasto con le possibilità del convertitore analogico digitale che accetterebbe 5V in ingresso; infatti non si riesce a sfruttare interamente la dinamica dell'ADC<sup>5</sup>.

La ragione dietro questo apparente spreco di dinamica è legato al fatto che l'amplificatore operativo LM324 è alimentato a 5V. La tensione massima che possono raggiungere gli LM324 è pari a 5V-1.5V ovvero 3.5V. Questo limite garantisce indirettamente una certa protezione per l'ingresso analogico che non si troverà mai a più di 5V.

Le uscite degli amplificatori sono prelevabili anche dai test point TP6 e TP7 grazie ai quali è possibile effettuare diagnosi sul circuito per mezzo di strumentazioni esterne.

I restanti due amplificatori dell'LM324 sono utilizzati in configurazione buffer. Il loro scopo è quello disaccoppiare i potenziometri esterni che possono essere utilizzati, come avviene per i servi<sup>6</sup>, a localizzare la posizione del motore. La presenza dell'amplificatore permette l'utilizzo di potenziometri di resistenza molto maggiore di 10KΩ; questo valore sarebbe stato il limite massimo per un corretto funzionamento del convertitore analogico digitale del PIC. Le uscite dei buffer sono collegate agli ingressi analogici AN2 e AN3.

La posizione dei motori può essere individuata anche sfruttando l'eventuale encoder presente sugli stessi<sup>7</sup>. Eventuali encoder possono essere collegati ai connettori ENC\_1 e ENC\_2 dai quali l'encoder può prelevare

l'eventuale alimentazione da 5V. La presenza di R13 e R14 è legata al fatto che in generale gli encoder hanno uscite open drain o open collector<sup>8</sup>.

Oltre alla corrente per determinare lo stress dei motori ed in particolare dell'integrato L298 è presente l'integrato LM35 (IC5) che permette di misurare la temperatura dell'aletta di raffreddamento dove è collegato L298. La risoluzione che si riesce ad ottenere è di circa 1°C<sup>9</sup>.

Il controllo del L298 avviene per mezzo delle 4 linee INPUT1-INPUT4 per le quali è dedicata una linea per ogni input. In questo modo è possibile implementare anche la frenatura elettromeccanica che si ottiene attivando i due rami alti o bassi del ponte H<sup>10</sup>. Gli enable dei due motori sono collegati assieme in modo da risparmiare una linea del PIC. Gli enable sono collegati al pin RC2 che può essere utilizzato per la modulazione PWM. Si fa notare che le linee INPUT sono controllate dagli ingressi che sono supposti essere per il quarzo esterno. Questo significa che il PIC deve essere utilizzato facendo uso del quarzo interno e rendendo disponibili le linee del quarzo esterno come normali linee di Input/Output (I/O).

Tra le altre caratteristiche della scheda si ha:

- La presenza del pulsante S1 per mezzo del quale è possibile resettare manualmente il PIC in caso di stallo.
- Led verde LED1 e il led rosso LED2 per mezzo del quale è possibile segnalare particolari stati del sistema<sup>11</sup>.
- 4 miniswitch per mezzo dei quali è possibile impostare l'indirizzo della

<sup>5</sup> Per maggiori chiarimenti sull'argomento si rimanda al Tutorial "Misure elettriche e tecniche di condizionamento dei segnali".

<sup>6</sup> Il potenziometro è collegato a partitore di tensione tra Vcc e GND. Dunque la tensione al suo terminale centrale sarà proporzionale alla posizione del suo perno centrale che deve essere collegato direttamente o indirettamente al rotore del motore. Si capisce che nel caso in cui si faccia uso di un potenziometro per la localizzazione della posizione del motore, questo non potrà ruotare liberamente ma sarà vincolato in una rotazione di circa 270°.

<sup>7</sup> La soluzione con encoder potrebbe essere utilizzata in combinazione con il potenziometro in modo da migliorare la localizzazione del rotore del motore.

<sup>8</sup> Per ulteriori informazioni sugli encoder si rimanda al Tutorial "Sensori di campo magnetico ad effetto Hall e magnetoresistivi".

<sup>9</sup> Questa risoluzione è stata ritenuta sufficiente e si è evitato un ulteriore amplificatore operativo, risparmiando un integrato.

<sup>10</sup> In questa configurazione il motore si comporta come un generatore di tensione cortocircuitato.

<sup>11</sup> Personalmente uso il led verde per creare lampeggi che segnalano il corretto funzionamento della scheda mentre il led rosso per segnalare eventuali errori. Il lampeggio del led per segnalare il funzionamento della scheda, nonché la presenza dell'alimentazione, permette di risparmiare energia rispetto ad un led collegato direttamente all'alimentazione.

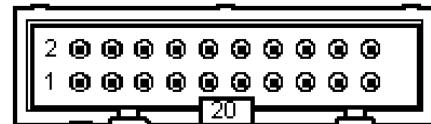
scheda. Tale funzione risulta particolarmente utile in caso di sistemi complessi in cui sia richiesta più di una scheda di controllo. Potenzialmente senza cambiare firmware è possibile controllare fino a 16 schede. Si fa notare che non sono presenti resistori di pull-up poiché si presume che si faccia uso di quelli interni alla PORTB del PIC.

La scheda L2000-30001 è progettata in maniera da permettere l'esecuzione di comandi trasmessi da una scheda di sistema che potrebbe essere un computer<sup>12</sup>. Per agevolare la scrittura del programma si sono resi disponibili vari canali di trasmissione.

Dal momento che la scheda è nata per supportare sistemi robotici complessi e professionali si è reso disponibile un High speed CAN transceiver.

La resistenza R15 da 10Ω permette di regolare la ripidità dei fronti di salita dei bit trasmessi dal transceiver. Questa resistenza potrebbe essere variata a seconda delle esigenze del progetto. La resistenza R16 permette di terminare la linea di trasmissione secondo le specifiche richieste dal protocollo. La resistenza può essere inserita e disinserita per mezzo del jumper JP1<sup>13</sup>. La connessione della scheda al BUS CAN avviene per mezzo dei connettori SL5 e SL6 nominati CAN\_IN e CAN\_OUT<sup>14</sup>. Oltre al protocollo CAN si potrebbe utilizzare il BUS I2C o EUSART. Le linee dedicate a questo protocollo, a differenza del CAN BUS, vanno al connettore SV3 per mezzo del quale la scheda preleva anche tutte le tensioni necessarie per il suo corretto funzionamento. Il connettore è compatibile con la scheda Power Control Unit L2000-30003. Le resistenze R3, R4 non devono essere saldate alla scheda qualora nel BUS qualche altra scheda abbia già questi resistori di pull-up<sup>15</sup>. Si fa notare che tra la linea SDA e SCL che vanno al connettore SV3 è presente

una linea di massa. Questo permette di ridurre i disturbi tra le due linee che viaggiano parallele. La resistenza R17 collegata apparentemente senza funzione al connettore SV3 ha lo scopo di identificare il tipo di scheda. Dal valore di questa resistenza la scheda Power Control Unit (L2000-30003) determina il numero e il tipo di schede connesse ad ogni connettore. Il pin-out del connettore SV3 è riportato in Tabella 1.



PIN	Funzione
1	Resistore d'identificazione da 4.7KΩ
2	Disponibile per espansioni
3	Pin RC6 (Linea TX EUSART)
4	Pin RC7 (Linea RX EUSART)
5	GND
6	GND
7	GND
8	GND
9	GND
10	+5V
11	+5V
12	+5V
13	Vdd
14	Vdd
15	Vdd
16	Vdd
17	Vdd
18	Pin RC4 (linea SDA I2C)
19	GND
20	Pin RC3 (linea SCL I2C)

Tabella 1: pin-out del connettore SV3

In Tabella 2 sono riportate le connessioni di tutti i pin del PIC presente sulla scheda. Questa tabella risulta particolarmente utile durante la progettazione di una nuova applicazione.

<sup>12</sup> Il firmware, non descritto in questo articolo, può comunque essere variato a seconda delle esigenze.

<sup>13</sup> Solo la prima e l'ultima scheda devono avere il jumper J1 chiuso. In questo modo si ottiene l'impedenza di linea da 60Ω.

<sup>14</sup> I due connettori possono essere in realtà utilizzati senza distinzione tra ingresso o uscita.

<sup>15</sup> Si rimanda al Tutorial "Il BUS I2C" per ulteriori informazioni sui resistori R3 ed R4.

PIN	PORT	Funzione/Connessione
1	#MCLR	Reset di sistema
2	RA0/AN0	Corrente SENS_A
3	RA1/AN1	Corrente SENS_B
4	RA2/AN2	Tensione POT_1
5	RA3/AN3	Tensione POT_2
6	RA4	Led verde LED1
7	RA5/AN4	Temperatura LM35Z
8	Vss	GND
9	RA7	L298 INPUT1
10	RA6	L298 INPUT2
11	RC0	L298 INPUT3
12	RC1	L298 INPUT4
13	RC2	L298 ENABLE_A e_B
14	RC3	Linea SCL per I2C
15	RC4	Linea SDA per I2C
16	RC5	Led rosso LED2
17	RC6	Linea EUSART TX
18	RC7	Linea EUSART RX
19	Vss	GND
20	Vdd	+5V
21	RB0	Bit0 switch S2
22	RB1	Bit1 switch S2
23	RB2	Linea TX CAN
24	RB3	Linea RX CAN
25	RB4	Bit2 switch S2
26	RB5	Bit3 switch S2
27	RB6	Encoder 2
28	RB7	Encoder 1

**Tabella 2: Connessioni dei pin del PIC**

Da quanto esposto si capisce che la scheda L2000-30001 può essere utilizzata anche per la realizzazione di piccoli robot. Sarà infatti il firmware interno al PIC a determinare il suo funzionamento.

### Specifiche tecniche

Carichi = induttivi e resistivi  
 Tensione alimentazione max = 24V  
 Corrente max. per ponte H= 2A  
 Ingressi di controllo = TTL compatibili

### Istruzioni per il montaggio

La scheda L2000-30001 è un sistema realizzato su PCB a doppia faccia. Il suo assemblaggio non risulta particolarmente complicato ma necessita certamente di una certa attenzione.

Per semplificare il montaggio della scheda, il PCB è realizzato con serigrafia dei componenti e relativo nome.

Lo schema di montaggio è riportato in Figura 2. I componenti necessari sono:

### Componenti

R1 = 220Ω 5% 1/4W  
 R2 = 10KΩ 5% 1/4W  
 R3 = 2.2KΩ 5% 1/4W  
 R4 = 2.2KΩ 5% 1/4W  
 R5 = 0.1Ω 5% 1W  
 R6 = 0.1Ω 5% 1W  
 R7 = 10KΩ 5% 1/4W  
 R8 = 100KΩ 5% 1/4W  
 R9 = 10KΩ 5% 1/4W  
 R10 = 100KΩ 5% 1/4W  
 R11 = 330Ω 5% 1/4W  
 R12 = 330Ω 5% 1/4W  
 R13 = 10KΩ 5% 1/4W  
 R14 = 10KΩ 5% 1/4W  
 R15 = 10Ω 5% 1/4W  
 R16 = 120Ω 5% 1/4W  
 R17 = 4.7KΩ 5% 1/4W

C1 = 0.1uF poliestere 100V  
 C2 = 0.1uF poliestere 100V  
 C3 = 0.1uF poliestere 100V  
 C4 = 0.1uF poliestere 100V  
 C5 = 0.1uF poliestere 100V  
 C6 = 0.1uF poliestere 100V  
 C7 = 1uF poliestere 100V  
 C8 = 1uF poliestere 100V  
 C9 = 0.1uF poliestere 100V  
 C10 = 0.1uF poliestere 100V  
 C11 = 0.1uF poliestere 100V  
 C12 = 0.1uF poliestere 100V  
 C13 = 0.1uF poliestere 100V  
 C14 = 0.1uF poliestere 100V  
 C15 = 47uF elettrolitico 50V  
 C16 = 10uF elettrolitico 25V

D1 = fast recovery 2A  
 D2 = fast recovery 2A

D3 = fast recovery 2A  
 D4 = fast recovery 2A  
 D5 = fast recovery 2A  
 D7 = fast recovery 2A  
 D8 = fast recovery 2A  
 LED1 = led verde 3mm  
 LED2 = led rosso 3mm

IC1 = PIC18F2480P o PIC18F2580P  
 IC2 = L298  
 IC3 = LM324N  
 IC4 = MCP2551  
 IC5 = LM35DZ

S1 = micro-switch  
 S2 = switch-dil 4

SL1 = con-amp-quick MO3  
 SL2 = con-amp-quick MO3  
 SL3 = con-amp-quick MO3  
 SL4 = con-amp-quick MO3  
 SL5 = con-amp-quick MO2  
 SL6 = con-amp-quick MO2  
 SV2 = MA05-1  
 SV3 = ML20

X1 = con-wago-500  
 X2 = con-wago-500  
 JP1 = jumper

Per il montaggio dei componenti è consigliabile seguire la regola legata all'altezza dei componenti stessi; dunque è bene iniziare dai resistori per poi passare ai diodi.

Per i primi componenti è bene accertarsi che il codice dei colori sia corretto mentre per i secondi è necessario che il verso d'inserzione sia rispettato secondo la serigrafia riportata in Figura 2.

In particolare i diodi hanno un anello colorato che segnala la posizione del catodo, questo anello è riportato anche sulla serigrafia<sup>16</sup>.

Successivamente si può procedere al montaggio delle capacità di filtro da 0.1uF e dei led per i quali è necessario rispettare il verso d'inserzione.

L'ordine fin qui proposto non è obbligatorio ma può risultare pratico per il montaggio.

I circuiti integrati è bene montarli su appositi zocchetti in modo da poterli cambiare in possibili aggiornamenti della scheda ed evitarne comunque il danneggiamento in fase di saldatura.

Ulteriore accorgimento va riservato alle capacità polarizzate, per le quali bisogna rispettare il verso legato alla polarizzazione. Sulla serigrafia del PCB di Figura 2 è facilmente individuabile il terminale positivo delle capacità indicato con un +.

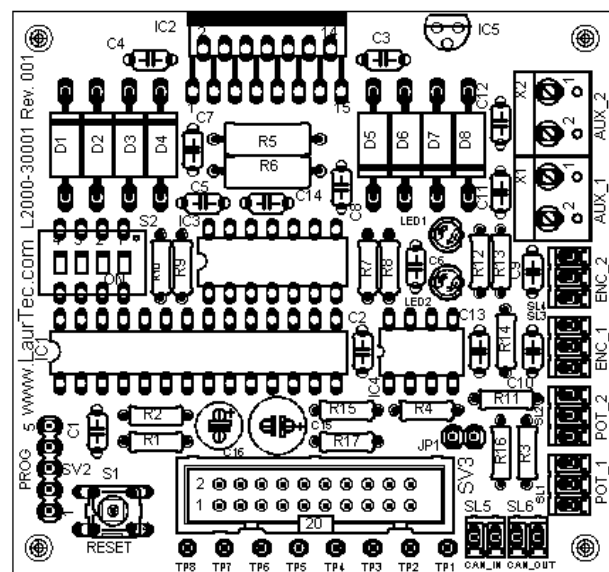


Figura 2: Serigrafia dei componenti

A montaggio completato la scheda apparirà simile a Figura 3; infatti si possono avere differenze da montaggio a montaggio a seconda dei componenti che si vuole montare o dalla versione del circuito stampato stesso<sup>17</sup>. Si fa notare che in Figura 3 non è riportata l'aletta di raffreddamento richiesta per la maggior parte delle applicazioni. Le dimensioni dell'aletta di raffreddamento verranno a dipendere dalla potenza dissipata dall'integrato L298.

<sup>16</sup> I diodi LED hanno il catodo segnalato da una smussatura sulla capsula del diodo stesso. Un altro modo per individuare l'anodo e il catodo è controllare la lunghezza dei terminali. L'anodo risulta il terminale più lungo.

<sup>17</sup> Il circuito stampato può subire variazioni senza che il seguente articolo venga aggiornato.

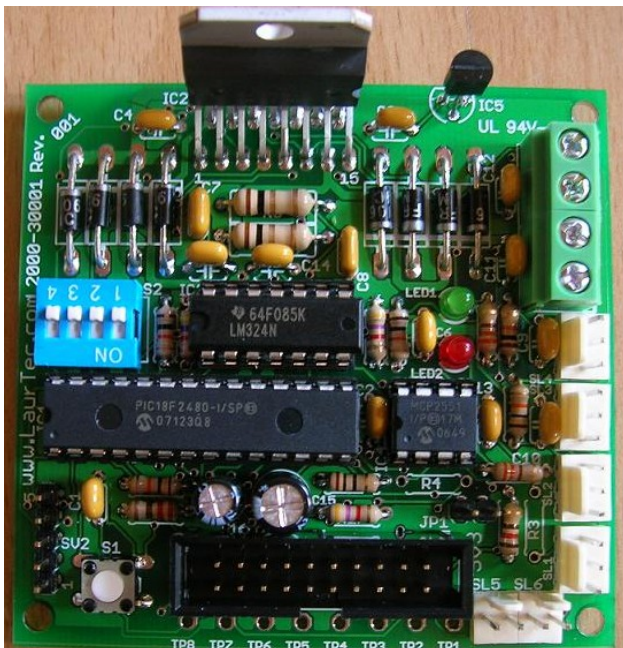


Figura 3: Scheda a montaggio ultimato

Una volta realizzato il montaggio e durante la fase di realizzazione del firmware può risultare utile testare i test points TP1-TP8 presenti di fronte al connettore SV3. In Tabella 3 è riportato il significato di ogni test point.

Test Point	Funzione
TP1	Tensione POT_1
TP2	Tensione POT_2
TP3	Tensione SENS_A
TP4	Tensione SENS_B
TP5	Vdd
TP6	GND
TP7	Vref di MC2551 (+2.5V)
TP8	Vcc (+5V)

Tabella 3: Significato dei Test points

Una piccola nota va riservata ai connettori che vanno realizzati per collegare la scheda al resto del sistema. Al fine di mantenere la corretta corrispondenza tra i pin dei vari connettori il cavo<sup>18</sup> deve essere collegato come riportato in Figura 4.

<sup>18</sup> Il cavo è di tipo piatto come quello usato all'interno dei PC per connettere il lettore CD o il Floppy disk alla scheda madre.



Figura 4: Cavo per la connessione della scheda al sistema a montaggio ultimato

Come riferimento per il montaggio è bene usare le linguette d'inserzione presenti sui connettori. Se non si dispone del Tool specifico per questi connettori si può usare un paio di tenaglie larghe almeno come il connettore o una morsa. La pressione del cavo deve essere fatta in maniera uniforme in modo da non inclinare e danneggiare il connettore stesso.

Per garantire la connessione dei cavi al connettore è bene applicare la pressione sulla prima striscia di fissaggio e non sulla seconda, da applicarsi solo dopo il fissaggio della prima.

## Bibliografia

[www.LaurTec.com](http://www.LaurTec.com) : sito di elettronica dove poter scaricare gli altri articoli menzionati, aggiornamenti e progetti.