

Mensile di elettronica applicata, attualità scientifica, novità tecnologiche.

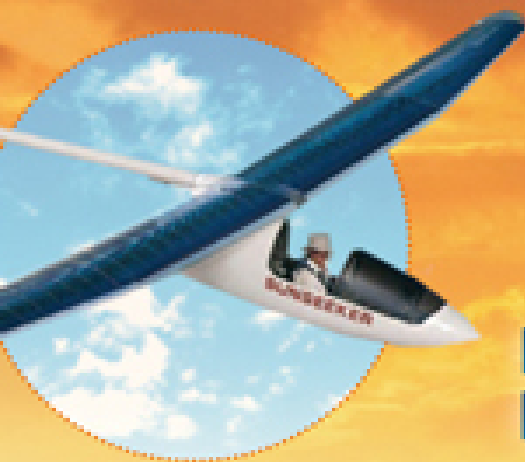
€ 5,00

Elettronica In

oltre l'elettronica

www.elettronicaonline.it

Anno XV - n. 139
Luglio / Agosto 2009

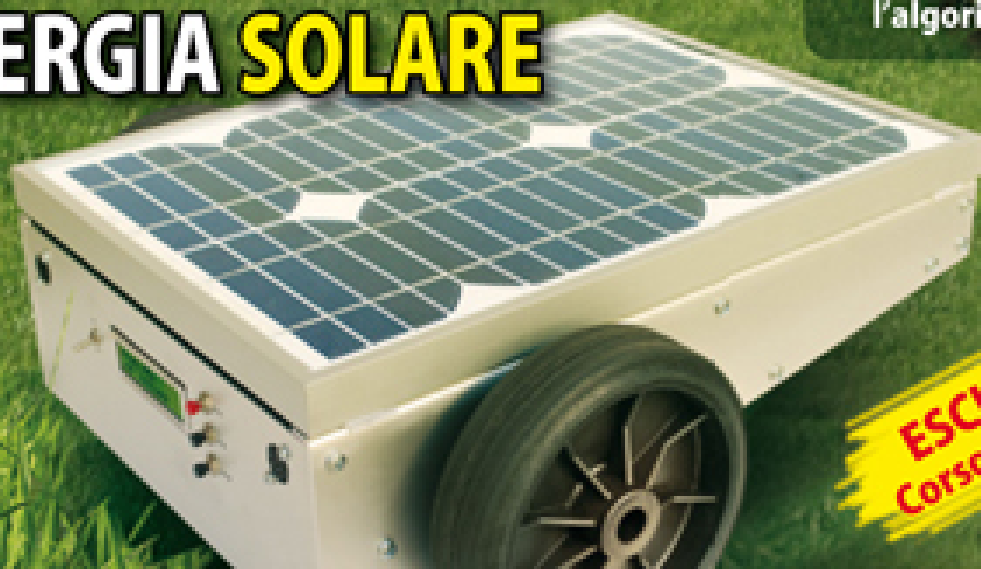


**In VOLO con
l'ENERGIA DEL SOLE**



- Lettore RFID 125 kHz low-cost
- Generatore sonoro con PIC Microchip
- Orologio digitale con termometro
- Interfaccia USB per braccio robot
- Ricevitore 4 canali per PTM200
- Corso DsPIC l'algoritmo PID

**Rasaerba automatico
a ENERGIA SOLARE**

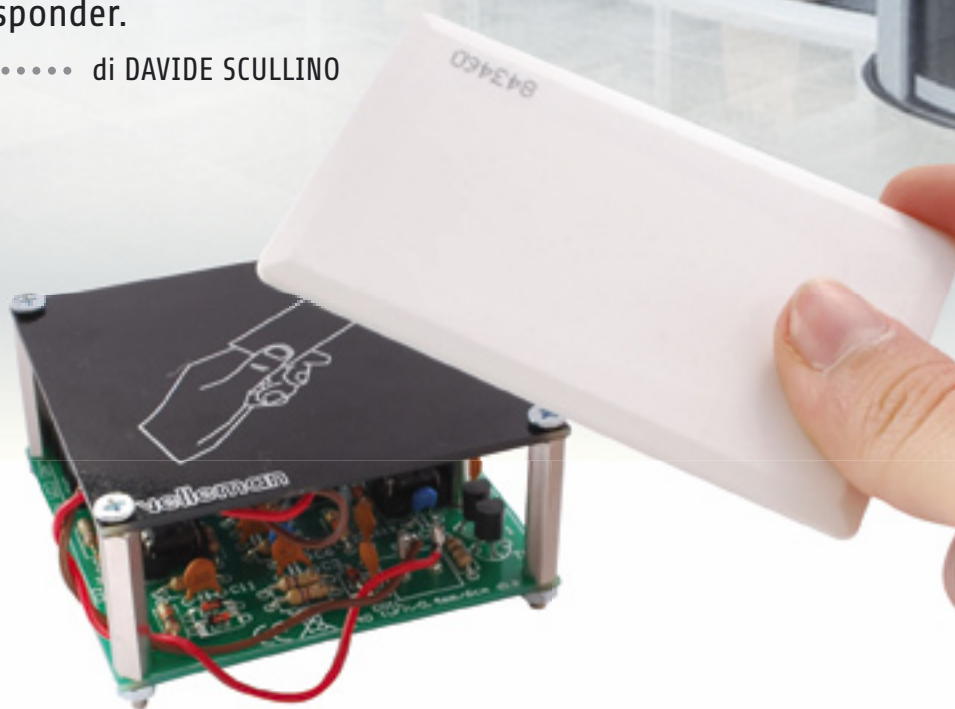


ESCLUSIVO!
Corso Wireless CPU

LETTORE RFID LOW-COST

Memorizza e riconosce fino a 25 tag standard con codifica a 64 bit e dispone di un'uscita a relé funzionante in modalità impulsiva o bistabile; il tutto senza impiegare integrati o moduli dedicati alla gestione dei transponder.

..... di DAVIDE SCULLINO



La lettura a distanza di badge e in generale di transponder per RfiD è stato un argomento che ci ha interessato fin da quando, oltre dieci anni fa, siamo riusciti a trovare in commercio integrati e moduli facilmente utilizzabili, in grado di provvedere da soli alla lettura dei dati dei tag; chi ci

segue dall'inizio sa che in questi anni di lettori per RfiD, da abbinare a computer e funzionanti autonomamente (stand-alone) ne abbiamo proposti parecchi, a partire da quello basato sull'integrato U2270 della Temic fino ad arrivare all'ultimo

nostro progetto, che sfrutta il modulo ID12 della ID Innovations (molto pratico perché incorpora la bobina eccitatrice) e che abbiamo descritto nel fascicolo n° 130 di Elettronica In. Tutti i circuiti da noi proposti sono stati accomunati dalla caratteristica di

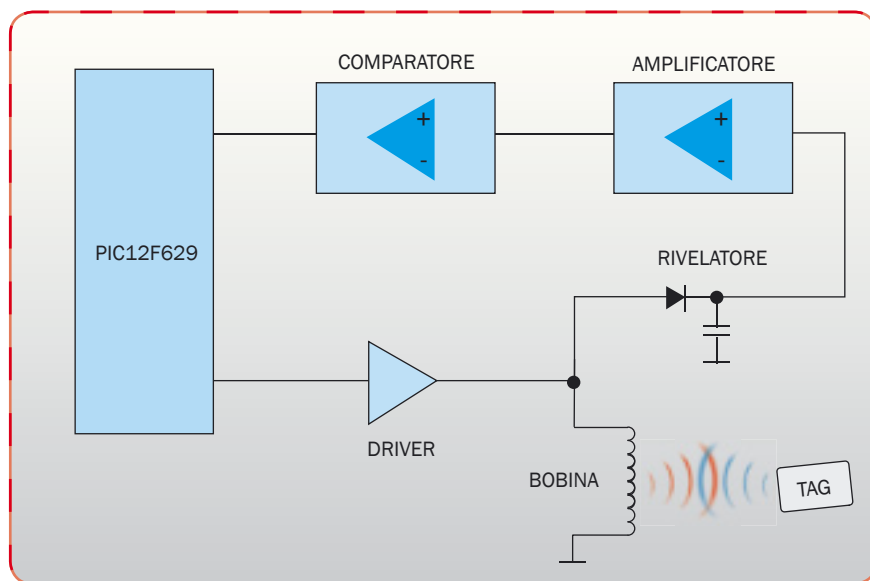
un relé a tempo o a permanenza. Si tratta perciò di un lettore di tag RfID stand-alone di basso costo (dato che la componentistica impiegata è limitata e tutta molto comune) destinato a quelle applicazioni dove un tempo era consigliabile ricorrere ad altre

matore, dove l'avvolgimento primario è quello eccitatore del lettore e il secondario è, invece, la bobina all'interno del tag. Quando l'avvolgimento a bordo del lettore emette il proprio campo elettromagnetico (tipicamente a 125 kHz) le variazioni di flusso che investono il tag inducono nella sua bobina una tensione alternata, la quale, tramite un raddrizzatore e un condensatore, viene resa continua e alimenta la logica interna al tag; la logica, una volta alimentata emette il proprio codice serialmente sotto forma di stringa di impulsi, i quali polarizzano un transistor che chiude periodicamente in cortocircuito la bobina del tag (ma non influisce sulla logica, dato che il corto avviene prima del diodo raddrizzatore) determinando un maggiore assorbimento, che si traduce in una richiesta di incremento del flusso magnetico. Questa condizione causa un maggiore assorbimento di corrente da parte della bobina del lettore, quindi è facile leggere gli impulsi e quindi il codice del tag perché basta rilevare gli impulsi dovuti ai picchi di assorbimento (che corrispondono ai livelli alti) e i cali di corrente (che corrispondono alle pause, ossia allo zero logico).

La tecnica di rilevamento degli impulsi prodotti dal transponder è simile a quella adottata nella gran parte dei metal-detector e si basa sul carico determinato da un conduttore in cortocircuito immerso in un flusso elettromagnetico variabile.

L'insieme delle operazioni, ovvero l'eccitazione dei tag e la lettura dei loro codici mediante la reazione d'indotto, viene tipicamente svolto da un integrato o modulo specializzato; invece nel progetto che vi proponiamo le realizziamo con un circuito

Schema a blocchi

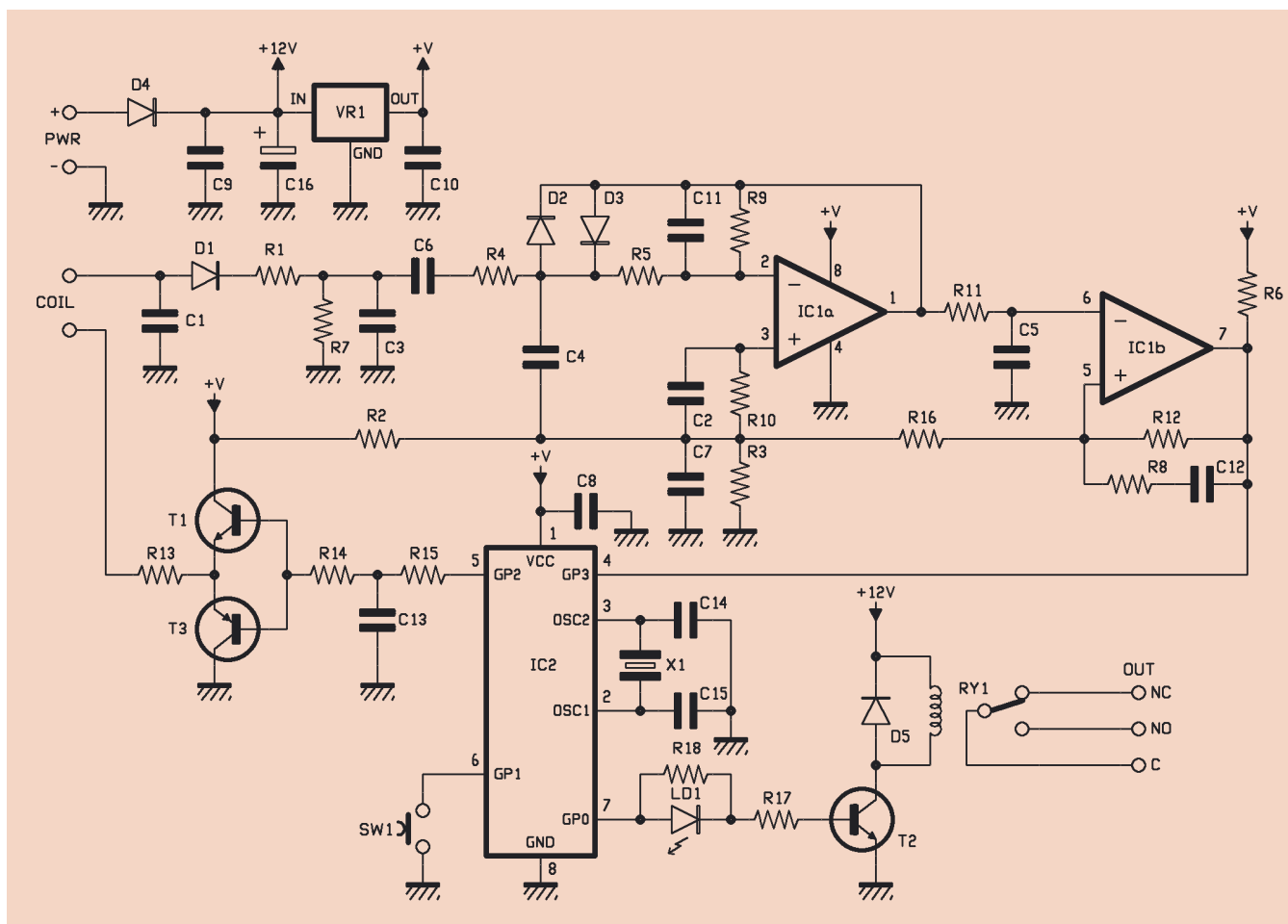


impiegare componenti dedicati allo scopo; per questa ragione non siamo mai riusciti ad offrirvi qualcosa di veramente economico, in quanto tutte le soluzioni da noi sviluppate sono state inevitabilmente condizionate dal costo degli integrati e dei moduli richiesti. Ma adesso qualcosa è cambiato, perché siamo riusciti a sviluppare un lettore di tag per RfID molto particolare e basato su un semplice doppio operazionale per generare il campo elettromagnetico eccitatore e rilevare le commutazioni del chip dei tag standard codificati a 64 bit, oltre che su un piccolo microcontrollore di casa Microchip che decifra i dati, memorizza fino a 25 diversi codici (e quindi altrettanti tag) e, riconoscendoli in lettura, attiva

soluzioni; peraltro, il progetto da noi proposto consente di realizzare interfacce per tornelli, cancelli motorizzati ed altro di simile, estremamente robuste e affidabili, precise e in grado di riconoscere tag a badge e portachiavi a una distanza di circa 8 cm, il che significa che non è indispensabile appoggiare il tag come invece è per molti lettori di transponder per RfID riservati al controllo accessi.

IL CIRCUITO

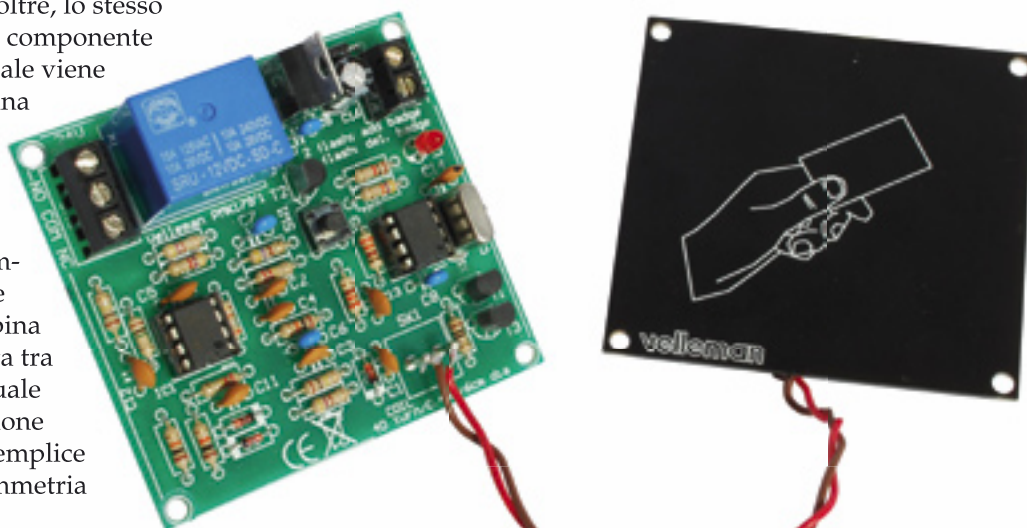
I transponder o tag per RfID si leggono eccitandoli mediante un campo elettromagnetico variabile e poi rilevando il carico che essi determinano per effetto della reazione d'indotto; praticamente la lettura avviene sfruttando un sistema assimilabile al trasfor-



molto semplice basato su due amplificatori operazionali. Al solito, un microcontrollore (un PIC12F629, in questo caso...) legge gli impulsi, esamina i codici e provvede alle operazioni sia di apprendimento, sia di identificazione; inoltre, lo stesso micro sintetizza la componente variabile con la quale viene comandata la bobina eccitatrice. Dando uno sguardo allo schema elettrico, vediamo che il campo eccitatore viene prodotto dalla bobina eccitatrice collegata tra i punti COIL, la quale riceve l'alimentazione dall'uscita di un semplice amplificatore a simmetria

complementare formato da T1 e T3, le cui basi sono unite e pilotate insieme dall'onda generata dal PIC. Più esattamente, il microcontrollore sintetizza un segnale rettangolare PWM a 125 kHz mediante l'apposita istruzio-

ne PicBasic e il filtro composto da R15 e C13 rende tale componente quasi sinusoidale. Va notato che la bobina genera un campo elettromagnetico alternato perché, a seguito dell'applicazione della polarità



positiva, la bobina tende, quando il potenziale fornito dallo stadio a simmetria complementare si abbassa, a restituire l'energia immagazzinata, la quale viene assorbita dal T3; ciò determina un flusso di corrente bidirezionale e quindi un campo effettivamente alternato.

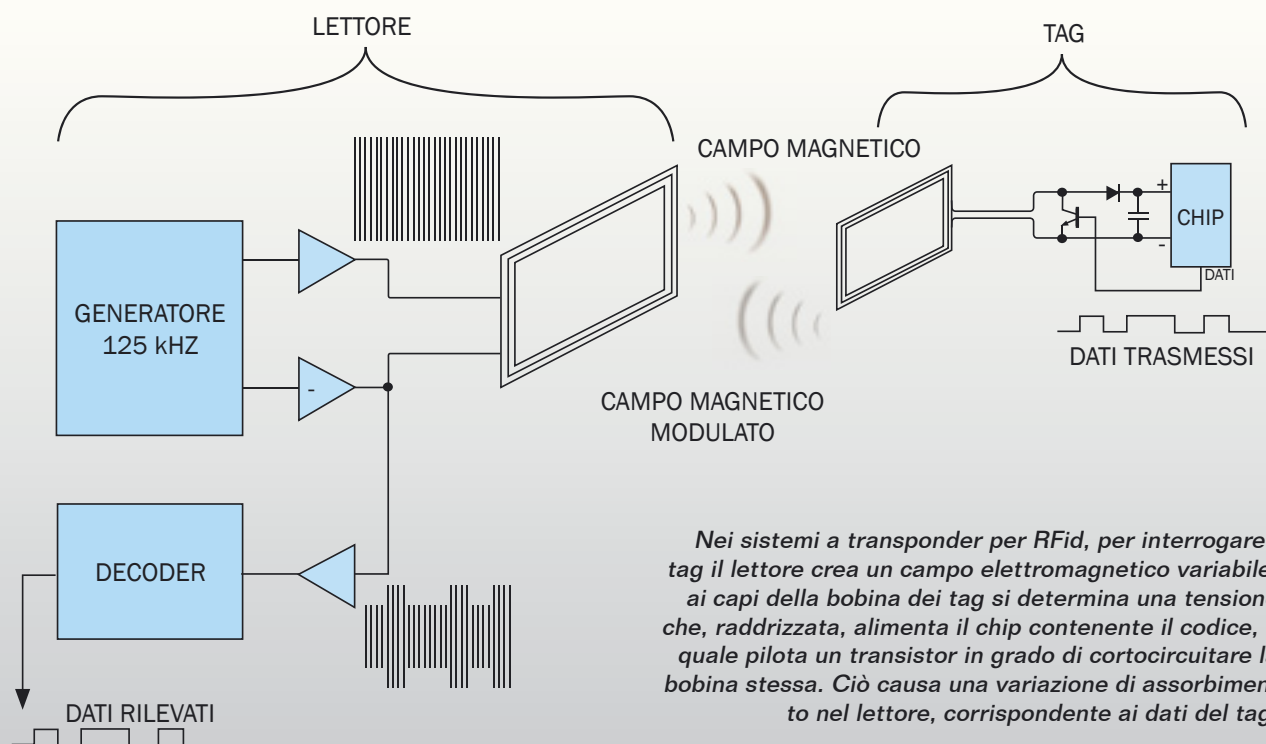
Quando un transponder rispon-

zare e livellare la tensione prodotta dalla corrente nella bobina eccitatrice, in modo da ricavare una componente unidirezionale, la cui ampiezza è funzione diretta dell'assorbimento del tag.

Lo stadio che segue è disaccoppiato in continua in modo da bloccare la componente filtrata da C3 dovuta alla corrente che

microcontrollore tramite la linea GP3.

Il partitore formato dalle resistenze R2 ed R3 determina la polarizzazione a riposo per l'operazionale IC1a e il riferimento per il comparatore; C7, C2 e C4 servono ad eliminare l'eventuale residuo dei 125 kHz con cui viene alimentata la bobina



de, la parte di circuito facente capo agli operazionali IC1a e IC1b provvede a rilevare le variazioni di corrente causate dalla commutazione nel tag, ovvero a discriminare gli impulsi distinguendoli dal segnale naturalmente prodotto dalla bobina. Per ottenere ciò si sfrutta una sorta di rivelatore di corrente che si basa sulla differenza di potenziale ai capi della resistenza di carico R7, che, insieme ad R1, chiude il circuito della bobina verso massa; il diodo D1 e il condensatore C3 servono a raddriz-

fluisce nella bobina eccitatrice in condizioni di riposo; infatti C6 si lascia attraversare dalla corrente quando c'è una variazione di tensione all'uscita del rivelatore (D1/C3) e quindi quando il tag pulsa. IC1a eleva il livello del segnale rivelato e IC2b funziona da comparatore ad isteresi (lo vedete dalla retroazione positiva realizzata dalla R12) e commuta lo stato della propria uscita in presenza degli impulsi costituenti il codice indotto dal tag che viene letto. L'uscita di tale operazione viene letta dal

eccitatrice, allo scopo di evitare che venga amplificato, mentre C12 ed R8 formano una rete che spegne eventuali picchi e sopprime ancora l'eventuale residuo dei 125 kHz indotto dalla bobina nelle piste dello stampato. Il microcontrollore è programmato in modo da inizializzare GP1 come input con pull-up interno destinato alla lettura del pulsante P1 (usato in programmazione) e GP3 come ingresso, ma senza pull-up, dedicato alla lettura degli impulsi discriminati dai due operazionali; sempre all'ini-

zializzazione, viene impostata GP0 come uscita destinata al comando del relé di uscita e GP2 ancora come output, ma assegnato al generatore PWM. Dato che la corrente fornita dalle linee di I/O del PIC non basta ad alimentare la bobina del relé, il micro si aiuta con un transistor NPN del quale pilota la base; il led in serie alla linea GP0 permetterà di verificare lo stato del RY1, ovvero sarà illuminato ad uscita attiva (relé eccitato) e spento a relé rilasciato.

COME FUNZIONA

Il firmware che gira nel micro prevede la lettura ciclica dello stato della GP1, in modo da rilevare in ogni momento la pressione del pulsante; quest'ultimo serve ad avviare la procedura di acquisizione (apprendimento) dei tag e di impostazione del tempo e della modalità di attivazione del relé: ogni volta che viene appreso un tag, il microcontrollore memorizza il codice corrispondente nella propria EEPROM.

Inizialmente il programma cancella il contenuto della EEPROM per rimuovere eventuali dati casuali presenti dopo l'accensione, quindi il circuito è pronto all'apprendimento; inutile dire che l'uscita resta a riposo e con essa il led, fin quando non è stato appreso il codice di almeno un tag per RFid.

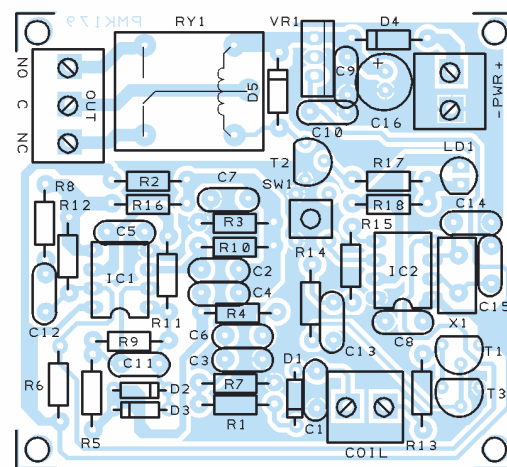
Per avviare l'apprendimento bisogna premere il pulsante del circuito e, mantenendolo premuto, avvicinare il tag stesso alla bobina: di solito il rilevamento avviene anche a 7÷8 cm di distanza dalla sezione orizzontale dell'avvolgimento; quando il micro riconosce il codice corrispondente e lo memorizza, fa pulsare il relé e il led due volte consecutive, quindi si predispone all'impostazione

Elenco Componenti:

R1 ÷ R3: 470 ohm
 R4 ÷ R6, R13: 10 kohm
 R7, R8: 100 kohm
 R9, R10: 220 kohm
 R11: 39 kohm
 R12: 1 Mohm
 R13: 10 ohm
 R14, R15: 330 ohm
 R16: 4,7 kohm
 R17: 1 kohm
 R18: 47 kohm
 C1, C2: 10 nF multistrato
 C3 ÷ C5: 4,7 nF multistrato
 C6 ÷ C10: 100 nF multistrato
 C11, C12: 100 pF ceramico
 C13: 470 pF ceramico
 C14, C15: 22 pF ceramico
 C16: 100 µF 25 VL elettrolitico
 D1 ÷ D3: 1N4148
 D4, D5: 1N4007
 IC1: LM358
 IC2: PIC12F629-I/P (VMK179)
 VR1: 7805
 X1: Quarzo 20 MHz
 LD1: Led 3 mm rosso
 T1, T2: BC547
 T3: BC557
 SW1: Microswitch
 RY1: Relé 12 V 125Vac/15A

Varie

- Morsetto 2 poli
- Morsetto 3 poli
- Zoccolo 4+4 (2 pz.)
- Bobina irradiante (vedi testo)
- Circuito stampato



zione del modo e del tempo di attivazione dell'uscita nel normale funzionamento (intervallo di attivazione impulsiva del relé a seguito del riconoscimento di un tag di quelli già memorizzati). Notate che il circuito si predispone per l'impostazione del tempo solo quando gli fate apprendere il primo tag; per i successivi questa impostazione non è prevista, in quanto il tempo e la modalità di attivazione del relé possono essere impostati un'unica volta e ugualmente per tutti i tag memorizzabili. Questo vuol dire che se

decidete un tempo di tre secondi, vale per il primo tag, il secondo, il terzo ecc.

Se rilasciate il pulsante non appena il circuito ha dato la conferma dell'apprendimento del primo tag (doppio battito del relé) e senza dare il tempo al relé di pulsare un'ulteriore volta, il tempo assunto è il minimo: 0,5 secondi. Dunque, torniamo alla procedura di apprendimento e vediamo come si imposta l'uscita: dopo la memorizzazione del tag e la conferma che il micro dà facendo pulsare due volte il relé, lo stesso



RFID nei caschi da football

La possibilità che un atleta sia vittima di colpi di sole anche mortali esiste (è successo a Korey Stringer, giocatore dei Minnesota Vikings, nel 2001) specialmente per i giocatori di football, che indossano spesse protezioni. Per questa ragione, Hothead Sports, ha inventato dei caschi da football americano con sistema RFID integrato, pensati per tenere sotto controllo la temperatura corporea degli atleti. Il sistema è stato sviluppato da Identec Solutions, società statunitense specializzata in soluzioni RFID a lungo raggio, e si basa su chip ad RF estremamente leggeri e resistenti agli urti che, inseriti nei caschi, sono in grado di monitorare le condizioni dei giocatori e di trasmetterle in tempo reale, per esempio, al portatile o al palmare dell'allenatore; se la temperatura corporea oltrepassa i limiti impostati, l'anomalia viene segnalata allo staff medico, che può intervenire tempestivamente.

Ma questa non è la prima volta che l'RFID viene scelto per monitorare la temperatura corporea in ambito sportivo: l'ultimo esempio è della scorsa estate, quando chip RFID, inseriti in capsule da ingerire, erano stati impiegati per controllare dall'interno le condizioni dei maratoneti durante la corsa e trasmettere i dati a distanza. Proprio il raggio d'azione molto ampio, che consente di inviare i dati fino a 500 metri di distanza, è una delle caratteristiche più interessanti del progetto RFID di Hothead Sports, esportabile in altri settori dove è necessario un controllo delle condizioni fisiche delle persone.

RY1 inizia a pulsare e il led ripete tale condizione; ogni attivazione del relé (ovvero ciascun lampeggio del led) corrisponde al tempo di un secondo. Per impostare il tempo desiderato, rilasciate SW1 dopo che il relé ha battuto per il numero di volte pari ai secondi per cui volete che, nel normale funzionamento, il relé resti attivo ogniquale volta il circuito riconosce uno dei transponder memorizzati: ad

esempio, se desiderate un'attivazione (impulsiva) per tre secondi, lasciate che RY1 pulsi tre volte, poi rilasciate il pulsante. Tenete comunque presente che il tempo più lungo impostabile è 4 minuti (240 secondi, corrispondenti a 240 pulsazioni del relé) ragion per cui in fase di impostazione il relé batterà non più di 240 volte (escluse le due della conferma di apprendimento del tag, s'intende); oltre, il circuito imposta

per l'uscita la modalità bistabile. In ogni caso, la conferma della memorizzazione dell'impostazione del tempo di attivazione del relé viene data dal circuito con un doppio battito del relé e due pulsazioni del led.

Per impostare tempi lunghi o la modalità bistabile senza dover stare lì a tenere premuto il pulsante, consigliamo di cortocircuitare i capi del pulsante stesso con un cavetto provvisto di cocodrilli, oppure di stagnare un interruttore in parallelo all'SW1; in tal caso, dopo esservi accertati di aver aperto detto interruttore alimentate il circuito, quindi dopo qualche secondo chiudete lo stesso e procedete prima con l'apprendimento del tag e poi con l'impostazione dell'intervallo voluto.

Dopo che il relé ha battuto per il numero di volte pari ai secondi desiderati per l'attivazione impulsiva o passati i 240 impulsi, corrispondenti al tempo massimo, quando il relé non batte più (ciò indica che è stata impostata la modalità bistabile) aprite pure l'interruttore.

Per apprendere un nuovo transponder, bisogna ripetere l'operazione, ossia premere e mantenere premuto SW1, quindi avvicinare il tag e attendere la conferma dell'acquisizione, data dai soliti due lampeggi consecutivi del led e dal doppio battito del relé; poi bisogna rilasciare il pulsante. Notate che già dall'apprendimento del secondo tag il circuito non effettua più la procedura di impostazione dell'intervallo di attivazione del relé, il quale si imposta solo la prima volta. Per modificare il tempo occorre cancellare completamente la memoria e quindi rimuovere anche i codici dei tag già appresi, quindi far apprendere un tag e, durante la fase di apprendimen-

to, definire un nuovo intervallo o una nuova modalità per l'attivazione dell'uscita.

Notate ancora che se il codice appreso è il venticinquesimo e quindi dopo l'apprendimento del tag corrispondente la memoria è piena, il circuito lo segnala facendo lampeggiare il led e pulsare il relé per cinque volte.

Osservate inoltre che non è possibile cancellare un tag singolo, ma per disattivarlo occorre ancora cancellare l'intera memoria.

L'operazione di cancellazione si compie premendo e mantenendo premuto SW1 mentre si alimenta il circuito; l'avvenuta cancellazione viene segnalata da tre lampeggi del led e altrettante pulsazioni del relé in rapida sequenza.

Dopo questa segnalazione potete rilasciare il pulsante ed eventualmente ripremere per iniziare un nuovo apprendimento.

A seguito della cancellazione totale, il circuito riconosce tutti i transponder standard con codifica a 64 bit (modalità "low-security"); il tempo e la modalità di attivazione del relé rimangono, invece, quelli impostati l'ultima volta, quindi se avevate impostato un tempo di 10 s, qualsiasi transponder avvicinato alla bobina di lettura fa eccitare il relé in modo impulsivo per dieci secondi.

Per modificare i tempi occorre apprendere un tag e procedere all'impostazione già descritta; in ogni caso, dopo una cancellazione totale bisogna per forza impostare nuovamente il tempo e la modalità di attivazione del relé, altrimenti entrambi questi parametri vengono impostati in base a come vi comportate durante l'apprendimento, nel senso che se dopo la conferma dell'acquisizione del codice del primo tag data dalle due pulsazioni del relé, attendete una sola pulsazio-

Le procedure di utilizzo

Una volta appreso almeno un tag e impostato il tempo, il lettore di transponder è pronto per l'uso: basta passare davanti alla sua bobina un tag a una distanza massima di 8 centimetri e il relé si attiva, per poi tornare a riposo scaduto il tempo impostato.

Nel caso per l'uscita sia impostata la modalità bistabile, ogni volta che viene riconosciuto un transponder il relé inverte la propria condizione, eccitandosi se a riposo e tornando a riposo se eccitato.

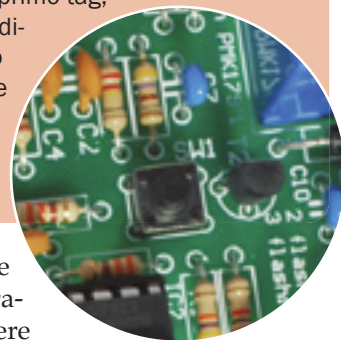
Per apprendere il primo tag RFID bisogna compiere le seguenti operazioni:

1. premere il pulsante a circuito alimentato;
2. avvicinare il tag alla bobina;
3. dopo che il relé ha battuto due volte e il led ha emesso due lampeggi in rapida sequenza, allontanare il tag e rilasciare SW1.

Se il tag in apprendimento è il primo dopo un reset (cancellazione della memoria) il circuito propone l'impostazione del tempo e della modalità di comando dell'uscita; quindi, dopo che il relé e il led hanno pulsato due volte dovete:

1. attendere che il relé venga eccitato e ricada per il numero di volte corrispondenti ai secondi che desiderate resti eccitato nel normale funzionamento al riconoscimento di un transponder, ovvero attendere più di 240 pulsazioni se desiderate che nel normale utilizzo il relé funzioni in bistabile;
2. rilasciare subito dopo il pulsante e verificare che il circuito confermi l'impostazione con due rapide pulsazioni del relé e del led.

Notate che se nella fase di apprendimento del primo tag, dopo le due pulsazioni di conferma dell'apprendimento rilasciate il pulsante senza dare il tempo al relé di battere nuovamente, per l'uscita viene attivata la modalità impulsiva con il minimo tempo di attivazione, ossia mezzo secondo.



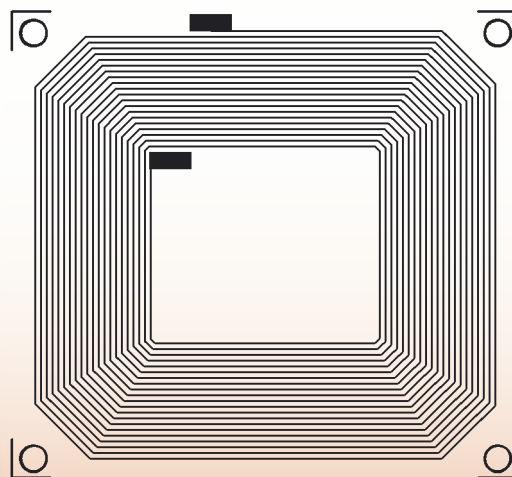
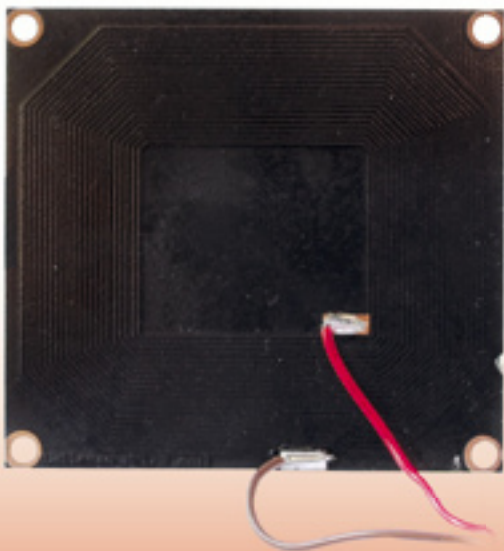
ne, impostate il modo bistabile e un tempo di 1 secondo.

REALIZZAZIONE PRATICA

Bene, spiegato com'è fatto e in che modo funziona il nostro lettore, vediamo le note costruttive; il tutto è realizzato su un piccolo circuito stampato monofaccia e quindi di facile realizzazione anche senza ricorrere alla fotoincisione; una seconda basetta, comunque opzionale, permette di realizzare la bobina irradiante. Il vantaggio di costruire la bobina mediante uno stampato è che la stessa basetta, dal lato opposto a

quello delle piste a spirale, può essere esposta all'esterno senza il rischio che venga danneggiata, neppure dall'urto dei tag.

Per realizzare i due c.s. seguite le tracce lato rame scaricabili dal nostro sito internet www.elettronica.in.it; incise le basette, forate quella base e iniziate a disporvi i componenti, dando la precedenza alle resistenze e ai diodi al silicio (per i quali dovete ricordare che la fascetta colorata sul corpo indica il catodo) quindi



La bobina irradiante (antenna) del nostro dispositivo è realizzata su circuito stampato, del quale qui accanto vedete la traccia lato rame a grandezza naturale.

procedendo con gli zoccoli per microcontrollore ed LM358, il pulsante, i condensatori (fate attenzione alla polarità degli elettrolitici) e i transistor, da orientare tutti come indicato nell'apposito disegno. Completate il circuito inserendo e saldando il regolatore integrato 7805 (che deve avere l'aletta metallica rivolta a C9) le morsettiere a passo 5 mm per l'alimentazione e l'uscita, il quarzo da 20 MHz ed il relé.

A questo punto potete sistemare la bobina eccitatrice (o antenna irradiante, se preferite) realizzata su circuito stampato, che consigliamo di sovrapporre allo stampato di base e distanziare mediante colonnine esagonali (preferibilmente in plastica, per non disturbare il rilevamento dei transponder) alte almeno 25 mm; il c.s. dell'antenna va collegato ai contatti siglati COIL di quello base, mediante due corti spezzi di filo in rame da saldare uno nella piazzola interna ed uno in quella esterna (estremi della spirale).

In alternativa alla realizzazione su basetta ramata, la bobina potete costruirla tradizionalmente, ovvero avvolgendo in aria

(su diametro di 40 mm) 20÷25 spire di filo in rame smaltato del diametro di 0,2 mm; finito l'avvolgimento, per collegarlo al circuito stampato base raschiate bene le estremità del filo, allo scopo di rimuoverne lo smalto e consentire la stagnatura. Se avete bisogno di collocare lo stampato in un luogo diverso e distante da quello dove verranno letti i tag, sappiate che la bobina può essere sistemata senza troppi problemi: in linea teorica, i fili di collegamento con lo stampato base possono essere lunghi fino a 5 metri, quindi regolatevi di conseguenza. Ad ogni modo, per quel che riguarda la collocazio-

ne della bobina considerate che può stare praticamente ovunque: l'unica condizione è che non deve essere appoggiata a piani di metallo e che il pannello di copertura che serve a proteggerla dall'esterno deve essere anch'esso in materiale non metallico ed elettricamente isolante, quale ad esempio plastica, bachelite, vetro o vetroresina, legno. Quindi la bobina può essere sistemata dietro un vetro o del plexiglass sul quale disegnare un cerchio che indichi la zona dove avvicinare i tag per farli leggere. Per l'alimentazione dell'insieme utilizzate un alimentatore da rete che fornisca 12 V e 100 mA. ■



per il MATERIALE

Il progetto descritto in queste pagine è disponibile in scatola di montaggio (cod. MK179) al prezzo di 25,00 Euro. Il kit, prodotto dalla Velleman, comprende tutti i componenti, la basetta forata e serigrafata, il micro già programmato, la bobina stampata e due tag. Questi ultimi possono essere acquistati anche separatamente (versione a portachiavi, TAG1 a 3,00 Euro oppure versione carta di credito, TAG2, a 3,00 Euro). Tutti i prezzi si intendono IVA compresa.

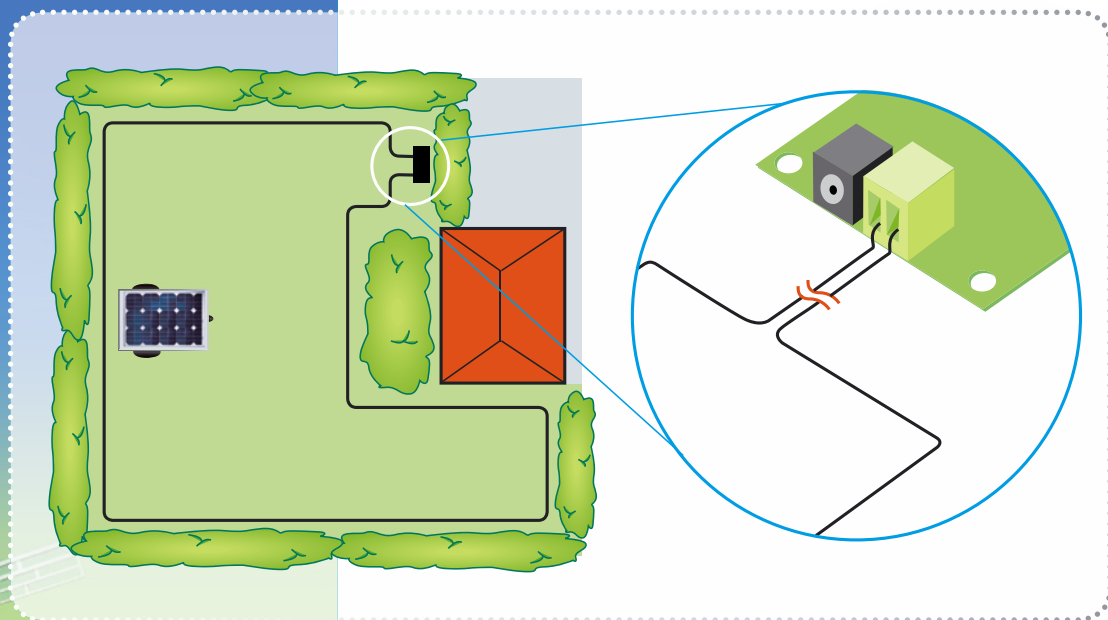
Il materiale va richiesto a: Futura Elettronica, Via Adige 11, 21013 Gallarate (VA)
Tel: 0331-799775 • Fax: 0331-792287 - <http://www.futurashop.it>

RASAERBA AUTOMATICO A ENERGIA SOLARE

dell' Ing. MIRCO SEGATELLO

È in grado di tagliare l'erba del vostro giardino seguendo un perimetro che potete definire a piacere ed evitando gli ostacoli che può incontrare; funziona con una batteria ricaricata mediante un pannello fotovoltaico e dispone di un sistema di sicurezza in grado di fermare la lama se si rovescia o viene sollevato da un bambino. Prima puntata.

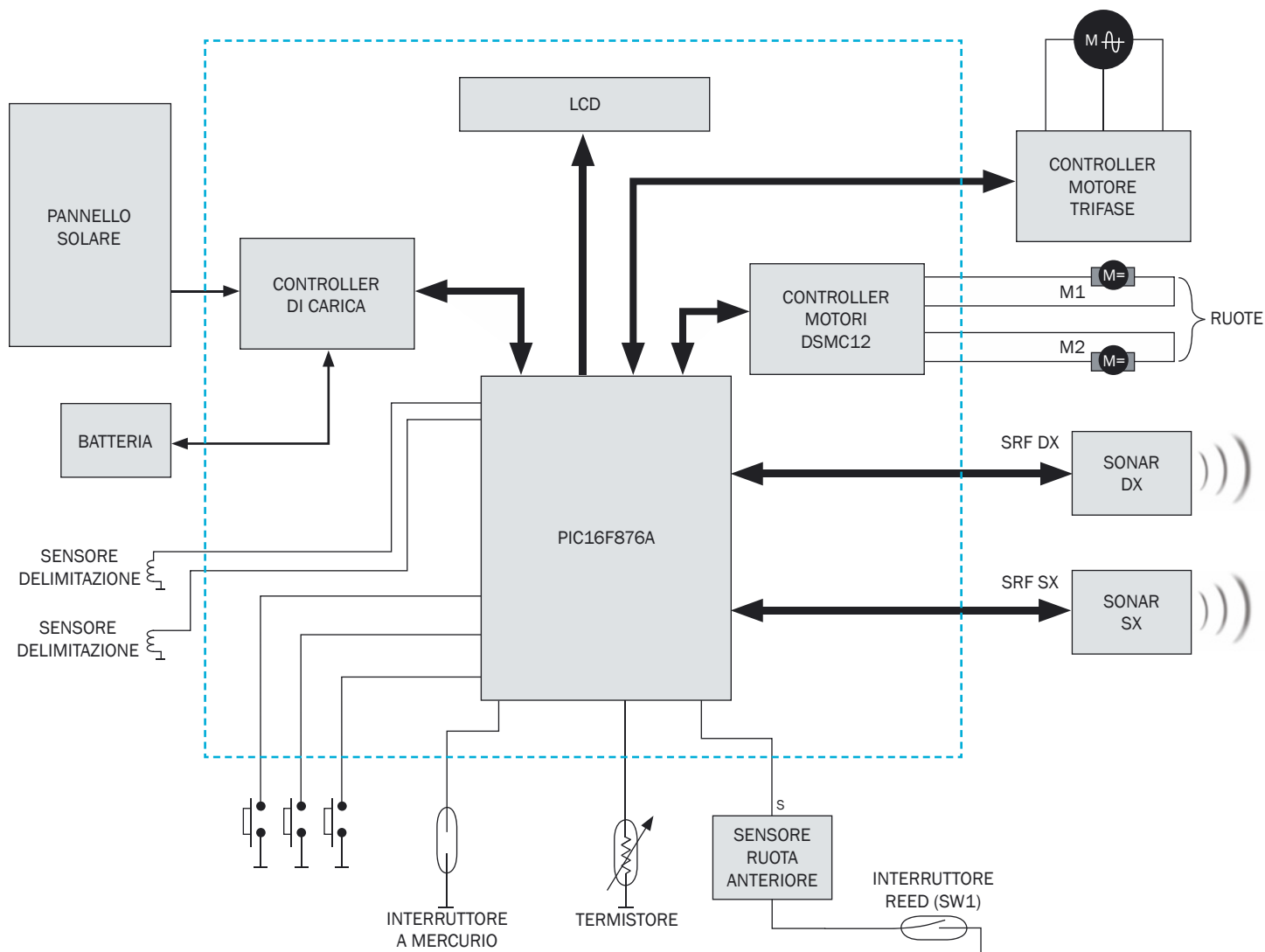




Non è passato neanche un anno da quando vi abbiamo presentato il nostro primo modello di rasaerba automatico per giardino; nulla di raffinato, ma è stata l'occasione per interagire con le problematiche relative al taglio automatico dell'erba di un prato, un primo timido approccio alla materia. La realizzazione alquanto artigianale ed il circuito di controllo molto semplice non permettevano grandi prestazioni, però si trattava pur sempre di un apparecchio utile e dalle grandi possibilità di sviluppo. Adesso che l'esperienza fatta con quel primo prototipo ci ha resi più maturi, siamo pronti per presentare la versione migliorata (e di molto) del nostro primo robot rasaerba. Un passo in avanti è

stato rappresentato dalla realizzazione di una struttura meccanica in alluminio di grande qualità e facilissima da assemblare; questo ha permesso di ottenere un prodotto decisamente più professionale, dato che l'impiego dell'alluminio ci mette al riparo dalla temuta ruggine che comprometteva la durata della scocca nella prima versione, realizzata con semplice lamiera. Altra importante novità è l'utilizzo, come vedremo in seguito, di materiale tutto facilmente reperibile presso la ditta Futura Elettronica, il che vi permetterà di trovare tutto da un solo rivenditore senza dover impazzire a recuperare qua e là motori ed altro materiale nei rottamai. Ma la vera novità che il nostro nuovo rasaerba porta con sé consiste nell'utilizzare,

Schema a blocchi



quale fonte di alimentazione, oltre ad una batteria un pannello fotovoltaico: ciò permette al nostro robot di lavorare per un tempo indefinito (eccezion fatta per le pause necessarie all'autoricarica) senza bisogno che qualcuno lo colleghi al caricabatteria. Anche la parte di controllo è stata alquanto migliorata dall'aggiunta di parecchie nuove funzionalità, a partire dalla possibilità di delimitare l'area di lavoro mediante uno stratagemma che consiste nell'interare un filo in grado di generare un campo elettromagnetico facilmente percepibile dal robot. Ma procediamo per ordine e partiamo con la descrizione dei vari componenti costituenti questo nuovo tagliaerba.

STRUTTURA MECCANICA

Come già detto, la scocca usata per il nostro prototipo è realizzata in alluminio; potete replicarla anche voi seguendo i disegni meccanici delle parti che la compongono, che piegherete e forerete o che farete preparare da una ditta specializzata o da un artigiano.

L'alimentazione è affidata ad una batteria al piombo ed integrata con un pannello solare, che rappresenta il coperchio della scocca e può fornire, in pieno sole, quasi tutta l'energia necessaria al funzionamento del rasaerba. Per limitare al minimo i consumi è stato necessario ottimizzare tutti i componenti, in modo da ridurre la corrente assorbita di dieci vol-

te rispetto alla prima versione del rasaerba. Ovviamente una piccola nuvola o il ramo di un albero non fermeranno il nostro robot, che grazie alla batteria dispone di quasi due ore di autonomia in mancanza di luce. Se la batteria dovesse scaricarsi, il robot si fermerà, attenderà la ricarica completa e poi ripartirà.

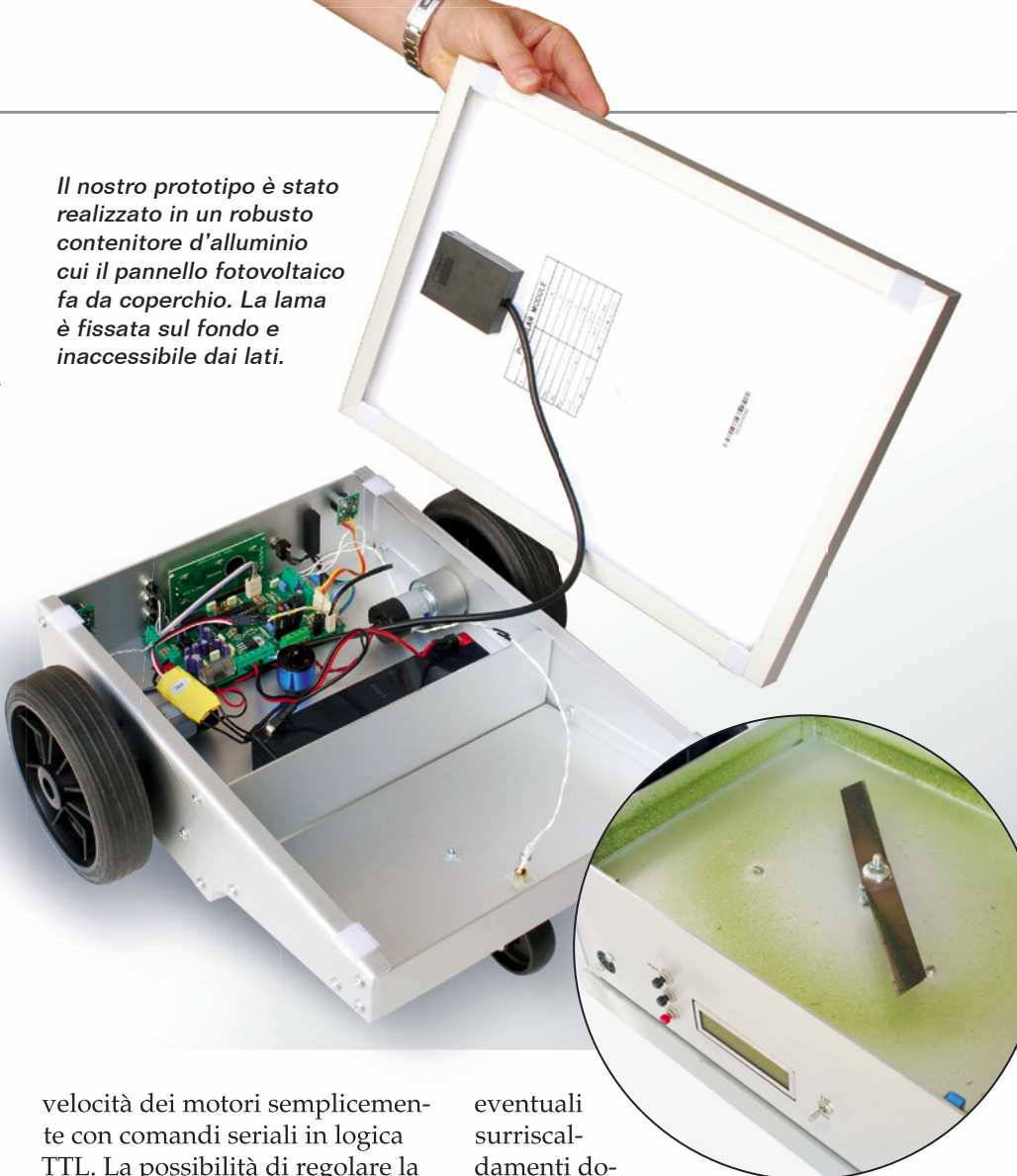
Per quanto riguarda il taglio vero e proprio, punto assai critico, la soluzione è stata molto brillante e prevede l'utilizzo di due lame per taglierino, avvitate per le estremità, facilmente reperibili come ricambi in quasi tutti i centri commerciali, nelle ferramenta e nei centri del "fai da te": sono in acciaio, assai robuste, già forate e assolutamente ben

affilate. Il motore per far girare le lame è del tipo per l'impiego in aeromodellistica, il quale, visto che è nato per far girare un'elica, ben si adatta a far girare la nostra coppia di lame. Si tratta di un motore tipo brushless (cioè senza spazzole...) ad altissima efficienza, montato su cuscinetti a sfere, quindi caratterizzato da una minima usura. È inoltre molto economico.

Essendo un motore trifase senza spazzole, per farlo girare dobbiamo fornirgli tre tensioni opportunamente sfasate; per non complicare il circuito, lasciamo il compito ad un apposito modulo pensato proprio per controllarlo, facilmente gestibile da microcontrollore.

Per la trazione ci siamo affidati a due motoriduttori della Micro-motors, che con consumi assai ridotti riescono a sviluppare una coppia molto elevata e sono capaci di trainare senza difficoltà il nostro rasaerba. Anche per essi abbiamo utilizzato un modulo di controllo seriale esistente in commercio, che consente il controllo della direzione e della

Il nostro prototipo è stato realizzato in un robusto contenitore d'alluminio cui il pannello fotovoltaico fa da coperchio. La lama è fissata sul fondo e inaccessibile dai lati.

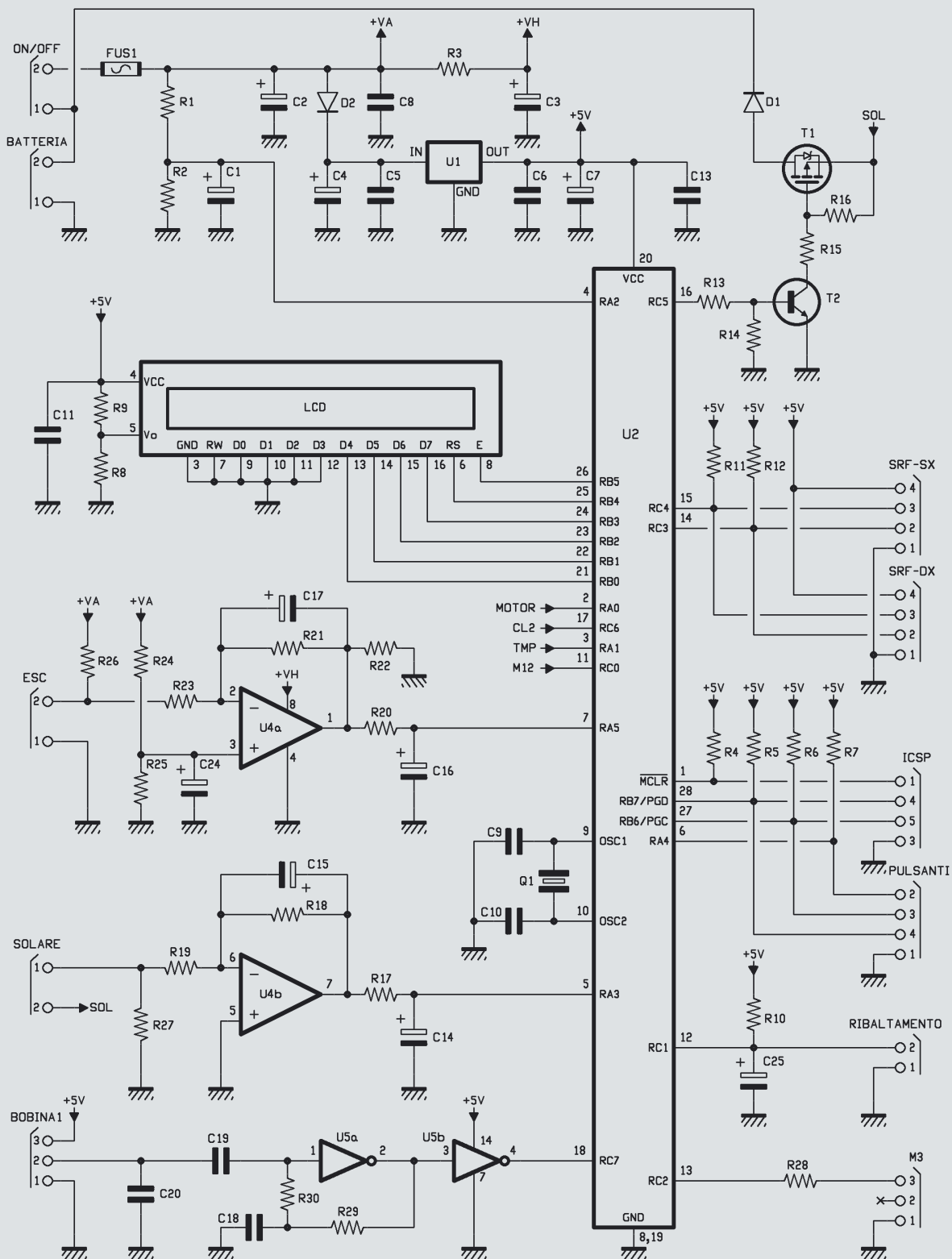


CARATTERISTICHE TECNICHE

- Dimensioni: 40 x 40 cm;
- Peso: 5 Kg;
- Diametro taglio: 20 cm;
- Alimentazione: batteria al litio e pannello solare;
- Sensori ostacoli ad ultrasuoni;
- Possibilità di delimitare l'area di taglio;
- Motore taglio ad alto rendimento di tipo brushless;
- Regolazione automatica velocità avanzamento;
- Possibilità di personalizzare parecchi parametri di funzionamento.

velocità dei motori semplicemente con comandi seriali in logica TTL. La possibilità di regolare la velocità di avanzamento (cosa ottenuta utilizzando delle rampe di accelerazione e decelerazione) è molto importante, soprattutto per evitare manovre brusche e per poter modulare la velocità di avanzamento a seconda dell'altezza dell'erba, così come avviene quando siamo noi a dover tagliare il prato. Se l'erba è alta si avanza lentamente, viceversa, si avanza più spediti. Nel nostro caso è la lettura della corrente assorbita dal motore che aziona le lame ad indicare al circuito di controllo quale sforzo sta compiendo, quindi a consentire di valutare l'altezza dell'erba e di conseguenza a regolare la velocità di avanzamento. Ad uno dei motori di trazione sono collegati due sensori di temperatura, impiegati per rilevare

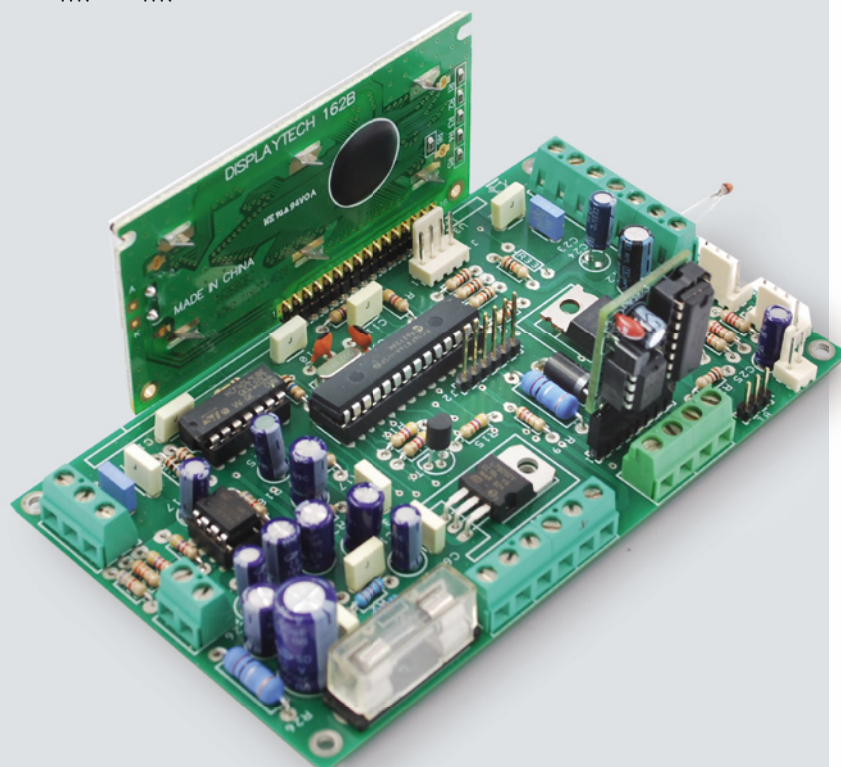
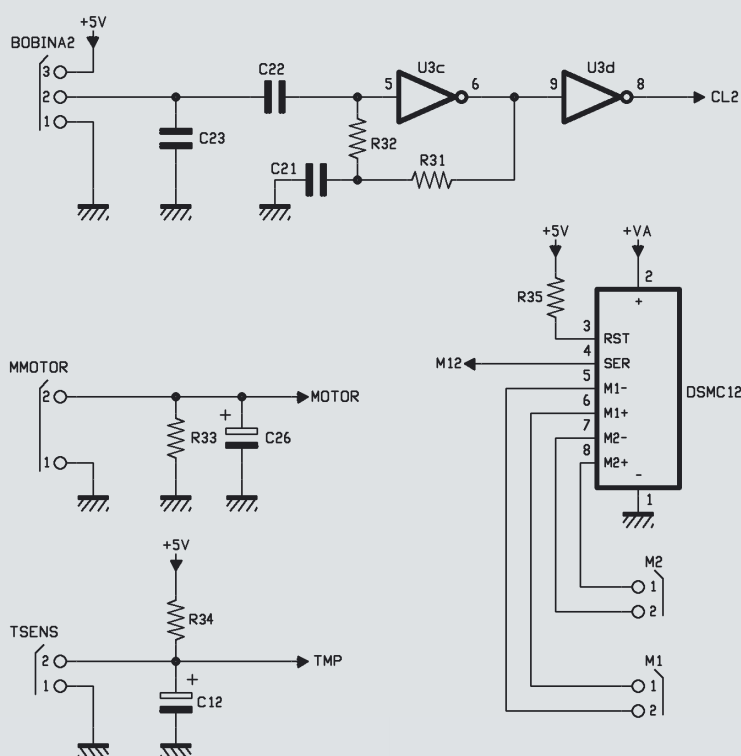
eventuali surriscaldamenti dovuti ad un'eventuale sforzo eccessivo. Per il rilevamento e la valutazione degli ostacoli fuori erba abbiamo utilizzato due sensori ad ultrasuoni in grado di rilevare la presenza di oggetti in un range che va da un minimo di 15 cm a svariati metri. Il fatto di averne utilizzati due, uno sulla destra e uno sulla sinistra del robot, ci permette di determinare, oltre alla distanza, anche la posizione dell'ostacolo e quindi di prevedere una manovra per evitare l'ostacolo stesso nel migliore dei modi. Comunque, utilizzando solo questo sistema ci sarebbero state difficoltà nel rilevare ad esempio alberi con tronco molto fine, reti di confine, laghetti ed altro; è stato quindi necessario integrare i sensori ad ultrasuoni



con qualcosa in grado di meglio delimitare la zona di lavoro. Il sistema che abbiamo impiegato, già abbastanza collaudato,

è lo stesso utilizzato dai prodotti commerciali e consiste nel posizionare nel terreno, a pochi centimetri di profondità (quanto

basta perché il rasaerba non lo calpesti e non lo recida) un filo di delimitazione che sia facilmente rintracciabile dal nostro robot,



ma nello stesso tempo invisibile. Questa tecnica viene comunemente chiamata Buried Wire Fence (abbreviato BWF) ovvero

recinto delimitato da un cavo sepolto ed è anche usato in altro ambito per circoscrivere i movimenti degli animali.

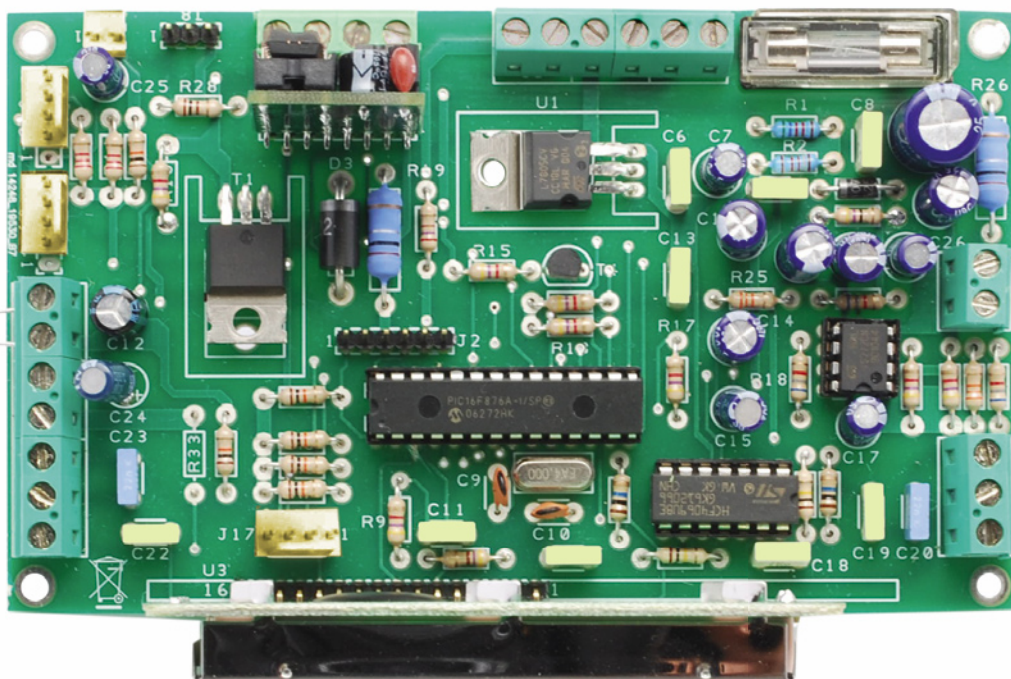
Occorre dire che il rasaerba non riconosce la presenza del filo, bensì il campo magnetico che esso produce; ciò perché il conduttore viene connesso ad un apposito circuito elettronico che lo alimenta con un segnale variabile alla frequenza di circa 34 kHz, cosicché diventa origine di un campo magnetico variabile alla stessa frequenza. Non resta che applicare al robot una bobina che sia in grado di captare questo campo magnetico ed il gioco è fatto.

IL CIRCUITO

L'elettronica di controllo del rasaerba è contenuta in uno stampato e nei moduli che ad esso sono collegati mediante numerosi connettori. Iniziamo la descrizione dall'alimentazione primaria, quella fornita dalla batteria che alimenta il circuito tramite l'interruttore di accensione ed un fusibile di protezione: noterete che l'interruttore scollega completamente l'elettronica sia dalla batteria che dal pannello solare, assicurando che nessun componente si metta in moto. La tensione di alimentazione, di circa 12 volt, servirà ad alimentare tutti i componenti di potenza, mentre i 5 volt stabilizzati da U1 verranno usati per il microcontrollore ed i sensori. Le due resistenze R1 ed R2 formano un partitore che verrà utilizzato per la misura della tensione ai capi della batteria.

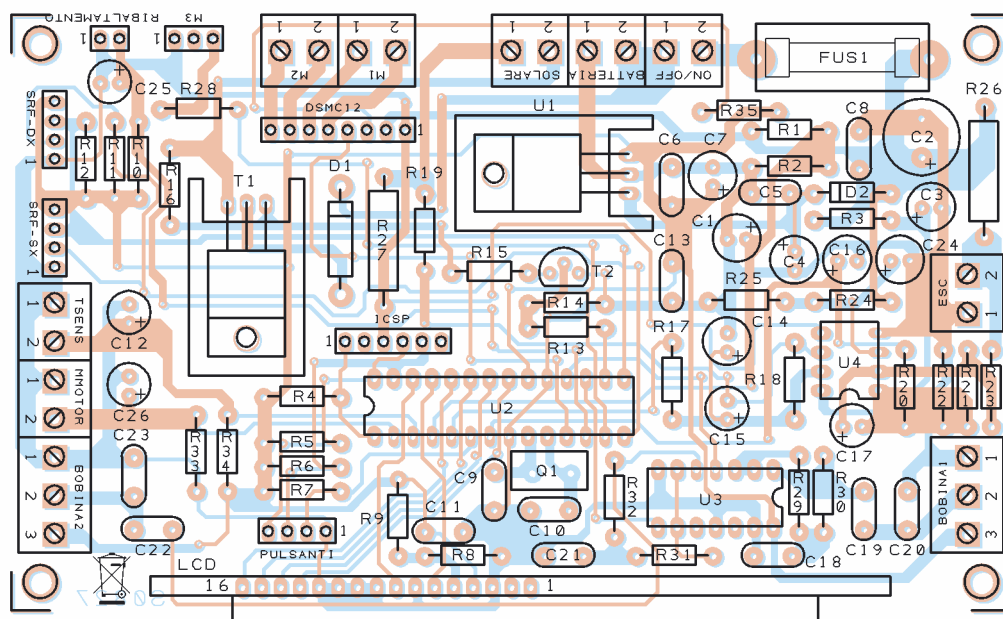
Il mosfet Q1, comandato dal transistor Q4, viene usato per connettere o sconnettere il pannello solare dalla batteria. La resistenza R27 rappresenta uno shunt ed assieme all'amplificatore operazionale U4b permette la lettura del valore della corrente fornita dal pannello da parte del microcontrollore; sarà questo valore ad indicarci di quanto si sta

[piano di montaggio **SCHEDA BASE**]



Elenco Componenti:

- R1: 56 kohm 1%
- R2: 18 kohm 1%
- R3: 47 ohm
- R4÷R7: 10 kohm
- R8: 470 ohm
- R9: 4,7 kohm
- R10: 10 kohm
- R11, R12: 2,2 kohm
- R13÷R17: 4,7 kohm
- R18: 6,8 kohm
- R19: 270 ohm
- R20: 4,7 kohm
- R21: 33 kohm
- R22: 4,7 kohm
- R23, R24: 6,8 kohm
- R25: 33 kohm
- R26: 0,1 ohm 2 W
- R27: 0,1 ohm 2 W
- R28, R29: 100 ohm
- R30: 10 Mohm
- R31, R33: 100 kohm
- R32: 10 Mohm
- R34: 10 kohm
- R35: 4,7 kohm
- C1: 10 µF 35 VL elettrolitico
- C2: 1000 µF 25 VL elettrolitico
- C3, C4: 100 µF 25 VL elettrolitico
- C5, C8: 100 nF multistrato
- C6: 100 nF multistrato
- C7: 10 µF 63 VL elettrolitico
- C9: 22 pF ceramico
- C10: 22 pF ceramico
- C11, C13: 100 nF multistrato
- C12, C14: 100 µF 25 VL elettrolitico
- C15: 10 µF 63 VL elettrolitico
- C16: 100 µF 25 VL elettrolitico
- C17: 10 µF 63 VL elettrolitico
- C18, C19: 1 nF 63 VL poliestere
- C20: 22 nF 63 VL poliestere
- C21÷C23: 1 nF 63 VL poliestere
- C23: 22 nF 63 VL poliestere
- C24÷C26: 10 µF 63 VL elettrolitico
- Q1: Quarzo 4 MHz
- U1: 7805



caricando la batteria ed a fornirci indicazioni anche sul livello di irraggiamento che sta ricevendo il pannello, informazione, questa, molto importante per ottimizzare i tempi di ricarica.

Al connettore siglato PULSANTI fanno capo i tre pulsanti che utilizzeremo per la programmazione ed il funzionamento, mentre ICSP è il connettore di programmazione compatibile con il

programmatore PICKIT2 della microchip. Un display LCD 16x2 caratteri servirà per visualizzare tutti i parametri di funzionamento e le impostazioni del programma. Al connettore chiamato

U2: PIC16F876A-I/P (MF827)
 U3: 4069
 U4: TS272
 LDC: Display LCD 16x2
 D1: 1N5822
 D2: 1N4007
 T1: IRF9530
 T2: BC337
 F1: Fusibile 2 A
 BATTERIA: Batteria al piombo 12V/2Ah
 ICSP: Strip maschio 6 poli
 SOLARE: Pannello solare 10 W (STP10M)
 M1: Motoriduttore (RH15812200)
 M2: Motoriduttore (RH15812200)
 M3: Motore brushless (BMA20-22L)
 DSMC12: Driver motori (DSMC12)
 ESC: Controllo motore brushless (A18A)
 SRF-SX: Sensore ultrasuoni (SRF02)
 SRF-DX: Sensore ultrasuoni (SRF02)
 BOBINA1: Induttanza 1 mH
 BOBINA2: Induttanza 1 mH
 MMOTOR: Modulo Sensore REED (vedi testo)
 TSENS: NTC 10 kohm
 RIBALTAMENTO: Interruttore a mercurio (6710-978)
 ON/OFF: Interruttore da pannello
 PULSANTI: Pulsanti da pannello (3 pz.)

Varie:

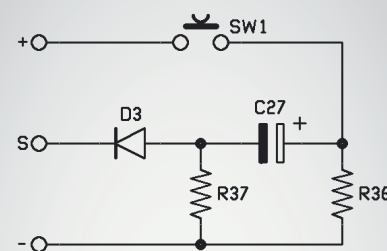
- Morsettiera 2 poli (8 pz.)
- Morsettiera 3 poli (2 pz.)
- Zoccolo 4+4
- Zoccolo 7+7
- Zoccolo 14+14
- Mozzo Pololu mod. HUB6MM (2 pz.)
- Strip maschio 16 poli 90°
- Strip femmina 16 poli
- Strip maschio 4 poli (2 pz.)
- Strip femmina 4 poli (2 pz.)
- Strip maschio 2 poli
- Strip femmina 2 poli
- Vite 10 mm 3 MA (2 pz.)
- Dado 3 MA (2 pz.)
- Dissipatore (2 pz.)
- Circuito stampato

RIBALTAMENTO sarà connesso un sensore di ribaltamento, che è un'ampolla (usata negli impianti di allarme per auto e moto) contenente due contatti uniti da una goccia di mercurio solamen-

te quando viene inclinata oltre un certo angolo. A noi serve per verificare se il tagliaerba rimane in piano oppure se viene rovesciato; non rileva piccole inclinazioni in quanto fanno parte del normale spostamento in un giardino.

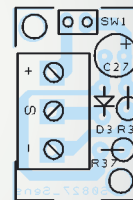
Ai connettori SRF-SX ed SRF-DX sono connessi i due sensori ad ultrasuoni, posti, rispettivamente, a sinistra e a destra del frontale del tagliaerba; il modello da noi scelto si chiama SRF02 ed è un vero e proprio metro ad ultrasuoni utilizzato per determinare la distanza di un oggetto posto di fronte. Questo sensore è composto da un'unica capsula ad ultrasuoni utilizzata sia per generare gli ultrasuoni, sia per ricevere l'eco di ritorno; è quindi un sonar monostatico. Dalla misura del tempo trascorso tra i due eventi si risale alla distanza dell'oggetto posto di fronte. Il sensore contiene una logica programmata in grado di eseguire tutte le operazioni del caso in autonomia e di fornire la distanza misurata in automatico direttamente sulle sue linee di comunicazione di un bus I²C. I due sensori utilizzati sono connessi sullo stesso bus, ma saranno programmati con indirizzi diversi, come spiegheremo più avanti. Il connettore ESC viene usato per leggere i dati sulla corrente erogata dal controller del motore di taglio (normalmente denominato ESC, acronimo dell'inglese Electronic Speed Controller); anche in questo caso viene usata una resistenza di shunt per creare una lieve caduta di tensione proporzionale alla corrente assorbita. La caduta di tensione su questa resistenza è amplificata da un amplificatore differenziale e resa disponibile all'ingresso analogico del PIC. Notate che si è reso necessario posizionare lo shunt verso il positivo dell'alimentazione per non interferire con il segnale di comando che deve giungere al controller, il quale è riferito a massa. La misura della corrente assorbita dal controller ci fornirà preziose indicazioni sull'entità dello sforzo al quale è sottoposto il motore; da ciò potremo valutare anche grossolanamente il tipo di erba che stiamo tagliando, ossia se alta, bassa, tenera o robusta. Questa indicazione a sua volta sarà usata per determinare la giusta velocità di avanzamento, ottimizzando consumi e tempi di taglio. Al connettore M3 è connesso l'ingresso di comando dell'ESC, che serve al microcontrollore per impostare la velocità di rotazione del motore. Prima di proseguire ci soffermiamo un attimo su questo segnale, dicendo che essenzialmente è simile al segnale di comando dei classici servocomandi, ovvero un impulso di ampiezza di 5 volt della durata compresa tra 1 e 2 ms che

Sensore arresto ruota anteriore



Elenco Componenti:

R36: 1 kohm
 R37: 10 kohm
 C27: 10 μ F 63 VL elettrolitico
 D3: 1N4148
 SW1: Contatto Reed

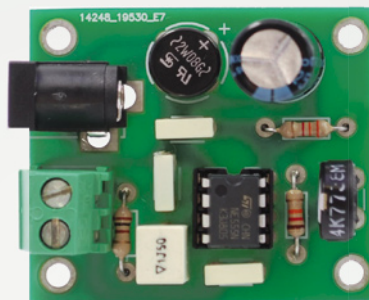
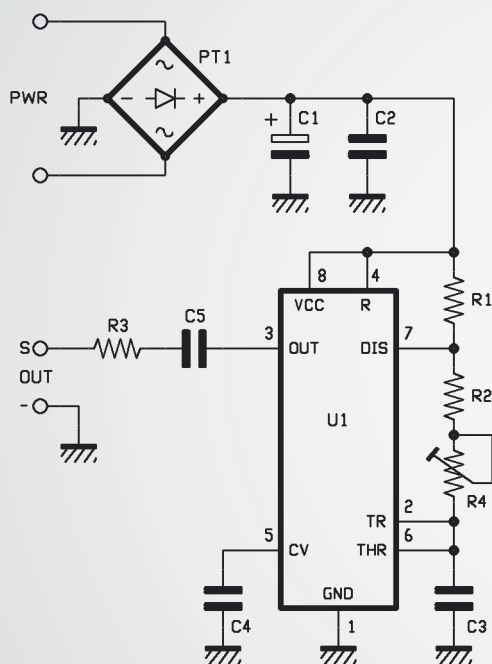


Varie:

- Morsettiera 3 poli
- Strip maschio 2 poli
- Strip femmina 2 poli
- Circuito stampato

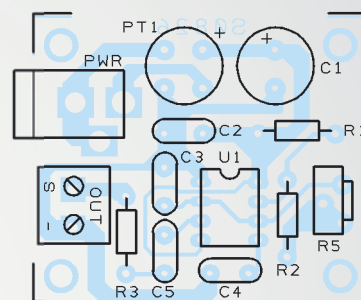
mentazione per non interferire con il segnale di comando che deve giungere al controller, il quale è riferito a massa. La misura della corrente assorbita dal controller ci fornirà preziose indicazioni sull'entità dello sforzo al quale è sottoposto il motore; da ciò potremo valutare anche grossolanamente il tipo di erba che stiamo tagliando, ossia se alta, bassa, tenera o robusta. Questa indicazione a sua volta sarà usata per determinare la giusta velocità di avanzamento, ottimizzando consumi e tempi di taglio. Al connettore M3 è connesso l'ingresso di comando dell'ESC, che serve al microcontrollore per impostare la velocità di rotazione del motore. Prima di proseguire ci soffermiamo un attimo su questo segnale, dicendo che essenzialmente è simile al segnale di comando dei classici servocomandi, ovvero un impulso di ampiezza di 5 volt della durata compresa tra 1 e 2 ms che

Il generatore del segnale delimitatore



Elenco Componenti:

R1: 3,3 kohm
 R2: 12 kohm
 R3: 100 ohm
 R4: Trimmer 4,7 kohm MV
 C1: 1000 μ F 35 VL elettrolitico
 C2: 100 nF multistrato
 C3: 1,2 nF 63 VL poliestere
 C4: 100 nF multistrato
 C5: 1 μ F 63 VL poliestere



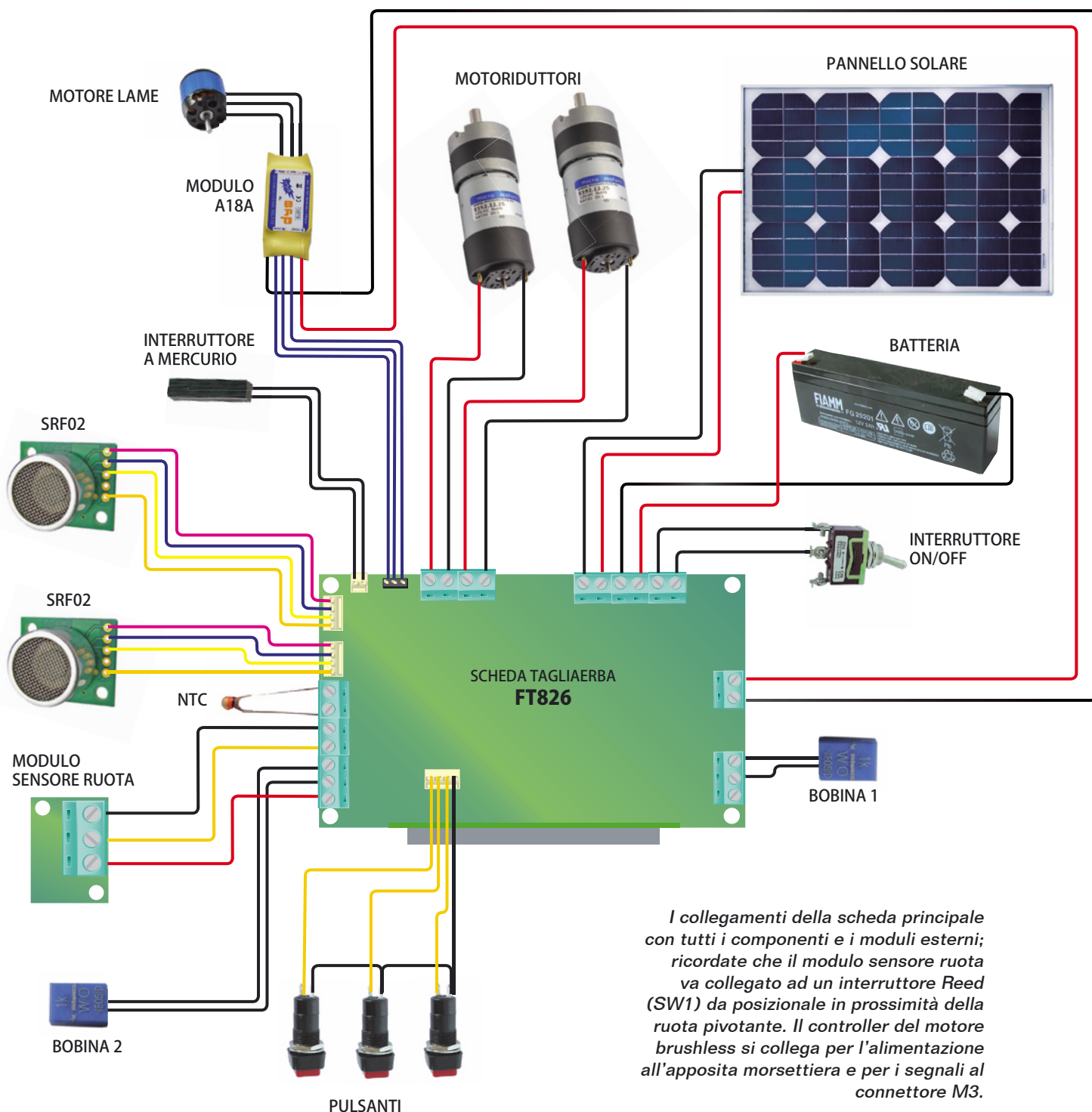
PT1: Ponte diodi W06M
 U1: NE555

Varie:
 - Plug alimentazione
 - Morsettiera 2 poli
 - Zoccolo 4+4
 - Circuito stampato

si ripete ogni 20 ms: per gli ESC non è importante ogni quanto si ripete l'impulso ma quanto esso dura, ovvero è la durata del segnale che determina la velocità di rotazione del motore. Altra cosa importante è che gli ESC si programmano da loro ogni volta che vengono accesi; è quindi importante, durante la fase di warm-UP, comandarli con un segnale appropriato. Con l'ESC da noi utilizzato, la fase di avviamento dura circa 7 secondi ed il segnale da fornire corrisponde ad un impulso di 1 ms. Dopo questa fase è possibile aumentare l'ampiezza di questo impulso sino ai 2 ms che corrispondono alla massima rotazione del motore. Il controller utilizzato gestisce correnti sino a 18 A, ma faremo assorbire al nostro motore non più di 1 ampere; anche il motore utilizzato, capace di consumare sino a 150 W, in realtà sarà utilizzato a non più di 12 watt, allo scopo di evitare condizioni di funzionamento critiche. I due motoriduttori utilizzati per la trazione (Micromotors)

presentano un'elevata riduzione di giri che permette di ottenere la giusta velocità di trazione con una considerevole coppia ad una tensione di alimentazione di 12 V. Per gestirli abbiamo scelto un controller seriale duale di facilissimo utilizzo, dato che è sufficiente inviargli dei comandi seriali per impostare velocità e senso di rotazione con una precisione più che sufficiente; potremo in questo moto gestire accelerazione e decelerazione del robot, evitando movimenti bruschi. Ovviamente la parte più interessante è la possibilità di modulare la velocità di avanzamento come precedentemente descritto. Un sensore di temperatura può essere utilizzato per determinare una eventuale sovratemperatura interna al rasoio. E' possibile posizionarlo sia direttamente sull'apposito contenitore (come nel prototipo della foto) oppure fissato ad uno dei motori per trazione. I connettori siglati BOBINA1 e BOBINA2 sono utilizzati per collegare al circuito le due

bobine utilizzate per captare il campo magnetico prodotto dal filo interrato; notate che dei tre contatti previsti usiamo solo i pin 1 e 2. Le bobine sono in realtà induttanze del valore di 1 mH, in parallelo alle quali si trovano i condensatori C20 e C23, che compongono un circuito antirisonante la cui frequenza di risonanza è calcolabile tramite la formula $f = 1/2\pi\sqrt{L \cdot C}$ e nel nostro caso vale 34 kHz. Non è importante che la frequenza di risonanza sia esattamente questa; ciò che conta è che entrambe le sezioni destra e sinistra siano accordate alla stessa frequenza. Vedremo più avanti come verificare ciò. Il segnale captato dal circuito risonante viene amplificato dalle porte logiche U5A e U5C e successivamente squadrati da altre due porte NOT; ne deriva che in presenza del filo interrato in uscita da queste porte logiche sarà presente un segnale ad onda quadra con frequenza f_0 altrimenti non ci sarà alcun segnale. Il PIC dovrà semplicemente rilevare



la presenza di questo segnale per poter determinare quando il tosaerba ha raggiunto il margine dell'area di lavoro. Al connettore TSENS deve essere collegato un termistore NTC del valore di 10 kohm (@25 °C) che useremo per valutare la tempe-

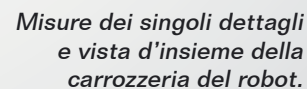
ratura interna al rasaerba; per come è scritto il software, quando viene rilevato un valore di 50°C si blocca il funzionamento dell'insieme. Il connettore NMOTOR è invece di libero utilizzo e corrisponde ad un ingresso analogico del PIC

(per la precisione, RA0/AN0); tra le sue possibili applicazioni vi è l'inserimento di un sensore di pioggia oppure di movimento.

IL SEGNALE DELIMITATORE

Come abbiamo già detto, è possibile delimitare la zona di lavoro

La meccanica



Per l'alimentazione è sufficiente utilizzare un piccolo alimentatore non stabilizzato da 7÷12 volt, ma nulla vieta di ricorrere a un semplice trasformatore da rete con secondario da 6÷9 volt, dato che il circuito ha, sul ramo di ali-

mentazione, un ponte raddrizzatore. Se prendete l'alimentazione da un alimentatore in continua assicuratevi che sia galvanicamente isolato dalla rete, perché altrimenti potreste determinare situazioni di pericolo per le creature che circolano nel vostro giardino.

Dato che il tagliaerba funziona indipendentemente dalle vicende della rete, per essere certi che non sfugga dall'area delimitata converrebbe alimentare il generatore che alimenta il filo con un alimentatore dotato di batteria tampone; così facendo, anche in caso di blackout siamo certi che il robot non vada per la sua strada. Questo accorgimento non è necessario se l'area dove rasare il prato è delimitata da ostacoli sporgenti dal terreno, quali muri o paletti fitti. In alternativa all'alimentazione da rete, potete anche pensare di impiegare una batteria a 12 volt e un piccolo pannello solare, per rendere anche il circuito generatore del campo magnetico delimitatore completamente indipendente.

REALIZZAZIONE DEI CIRCUITI

Procuratevi le tracce degli stampati dal nostro sito www.elettronica.in.it, in modo da procedere alla realizzazione mediante fotoincisione. Iniziate a saldare i componenti a più basso profilo e via-via quelli più alti, seguendo per entrambi i circuiti, i piani di montaggio corrispondenti, dato che per la buona riuscita del progetto è importante rispettare tutte le polarità indicate. Prestate particolare attenzione al fissaggio del display LCD, che dovrà risultare perfettamente ortogonale allo stampato e, una volta fissato alla meccanica, bisognerà che si affacci perfettamente dal foro rettangolare presente sul frontale in alluminio. Usando



Sta arrivando il GPS

Dopo i robot rasaerba in grado di evitare gli ostacoli, limitare i movimenti in un'area, ricaricarsi col sole o andare a cercare da soli la stazione di ricarica, ci mancava solo quello guidato dal GPS. Pare ci abbia pensato BelRobotics, che ha realizzato *Bigmow*, il robot per la manutenzione dei grandi parchi che può operare in superfici fino a 20.000 m² (quindi su campi da calcio e da golf o grandi giardini) muovendosi alla velocità di 1 m/s (3,6 km/h) grazie a due ruote da 45 cm di diametro con battistrada antiscivolo, azionate ciascuna da un motore a 24 Vcc. Il robot va a batterie ed è fornito con una stazione di ricarica che raggiunge automaticamente mediante un segnale radio e, nella versione con opzione GPS, guidato da satellite, cosa utilissima perché, potendo operare in spazi molto grandi e quindi anche lontano dalla stazione di ricarica, il GPS può aiutarlo ad avvicinarsi al raggio di copertura del segnale di avvicinamento. Come tutti i robot rasaerba, dispone di sensori per rilevare gli ostacoli e può muoversi in un'area delimitata dal solito filo interrato.

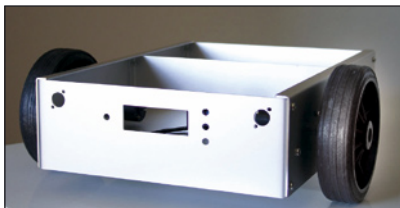
Bigmow è disponibile in due versioni: una elettrica in cui le batterie vengono ricaricate dalla stazione base ed una autonoma con a bordo un gruppo elettrogeno che carica le batterie, basato su un motore Honda a 4 tempi da 3 CV che consuma appena 0,4 litri/ora di benzina e un generatore Bosch da 24 V, 35 A.

uno strip maschio a 90° e saldando direttamente il tutto, il display rimarrà in posizione senza ulteriori fissaggi.

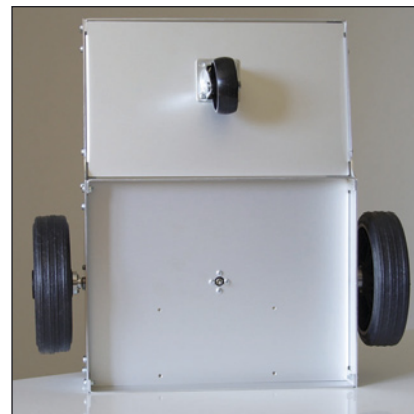
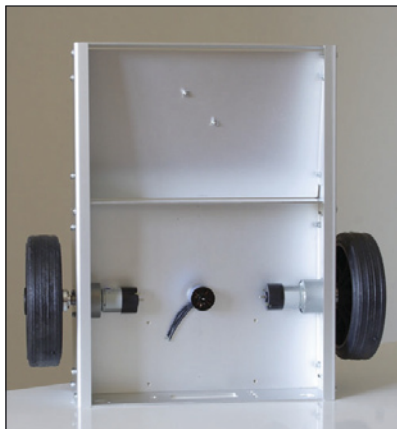
Notate che il modulo driver DSMC12 dovete realizzarlo da voi; comunque, nessun problema, perché tutte le istruzioni del caso sono contenute nella confezione. Terminato di montarlo, inseritelo nel circuito come indicato (il contatto 1 dovrà trovarsi rivolto al regolatore U1).

COSTRUZIONE MECCANICA

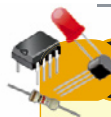
Nel nostro sito internet, tra i file di questo progetto troverete quello relativo alla parte meccanica, da realizzare utilizzando lamiera di alluminio spessa almeno 1,5 mm; consigliamo di affidare i disegni meccanici a un artigiano dotato delle macchine per lavorare le varie parti, ma nulla vi vieta, se siete attrezzati e ve la sentite, di realizzare da voi la carcassa. Una volta in possesso



La struttura meccanica spoglia, con montati i motoriduttori per le ruote di trazione ed il motore senza spazzole per le lame.



Le lame nel vano inferiore vanno inserite dopo il collaudo e dopo aver staccato la batteria.



per il MATERIALE

Tutti i componenti utilizzati in questo progetto sono facilmente reperibili in commercio. Il master del circuito stampato ed il firmware col quale programmare il microcontrollore sono scaricabili gratuitamente dal sito della rivista (www.elettronica.in.it) dal quale è anche possibile prelevare i disegni per realizzare lo chassis meccanico. Il microcontrollore PIC 18F876A-I/P già programmato (cod. MF827) è disponibile al prezzo di 15,00 Euro.

I componenti elettromeccanici utilizzati nel progetto del tagliaerba solare sono tutti reperibili presso la ditta Futura Elettronica: Pannello solare STP10M Euro 82,00; Motoriduttore RH15812200 Euro 51,00 (2pz); Motore brushless BMA20-22L Euro 33,50; Driver motori DSMC12 Euro 28,00; Driver motore brushless A18A Euro 14,50; Sensore ultrasuoni SRF02 Euro 19,00 (2 pz); Interruttore a mercurio cod. 6710-978 Euro 2,70; Mozzo Pololu mod. HUB6MM Euro 10,50 (2 pz).

Il materiale va richiesto a:
Futura Elettronica, Via Adige 11,
21013 Gallarate (VA)
Tel: 0331-799775 • Fax: 0331-792287
<http://www.futurashop.it>

di tutti i particolari, per prima cosa controllate che le parti in alluminio combacino al meglio e se occorre, utilizzate una lima per creare un piccolo smusso sui pezzi trasversali che andranno uniti alle fiancate. Per l'assemblaggio sono sufficienti delle viti M4 lunghe 1 cm con relativi dado e rondella.

Sul frontale in alluminio, con un pennarello indelebile o dei trasferibili, riportate le scritte relative all'interruttore di accensione e ai pulsanti, utili, nell'uso quotidiano, per essere certi di impartire i comandi corretti ed al momento opportuno.

Saldare sui terminali dei motori i cavi di alimentazione, rispettando il + ed il - serigrafati, quindi montate i motori per la trazione utilizzando delle viti M3 lunghe 6 mm, interponendo delle rondelle antisvitamento, in quanto le vibrazioni dei motori potrebbero allentarle. Utilizzate delle ruote del diametro di 15 cm ed applicate sul mozzo l'adattatore in alluminio necessario per fissarle all'albero motore; allo scopo servitevi di viti autofilettanti di piccolo diametro. Ricordate che le ruote di trazione possono essere anche più grandi (ma senza esagerare...) di quelle da

noi previste, cosa che permetterà di aumentare l'altezza del taglio dell'erba.

Anteriormente, fissate la ruota pivotante del diametro di 5 cm sulla paratia posteriore del rassaerba, come visibile nelle foto in questa pagina; tale tipo di ruota è facilmente reperibile nelle ferramenta e nei negozi del "fai-da te" ed è quello usato solitamente nei carrelli portavivande o in alcuni mobilette. La parte terminale del tagliaerba è volutamente inclinata, cosicché se usate delle ruote di diametro differente potete comunque trovare una posizione per la ruota pivotante che mantenga il tagliaerba in piano.

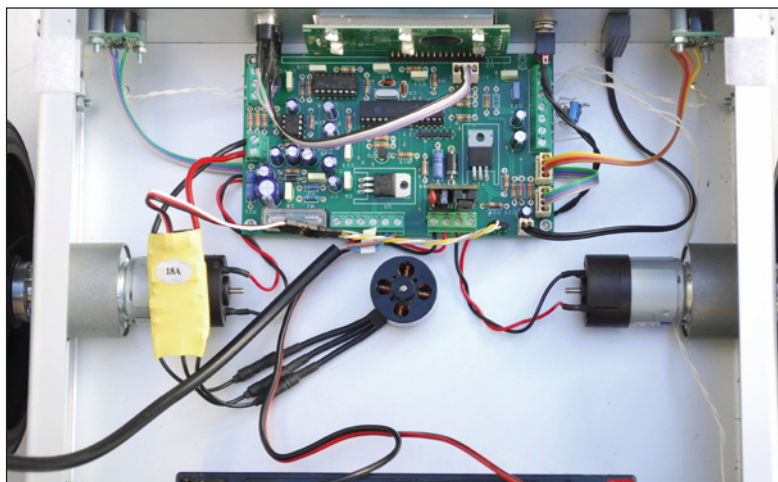
Dopo aver sistemato le ruote, dovete preparare il motore per la lama tagliaerba: per prima cosa saldate sul motore gli appositi connettori forniti nella confezione, poi fissatelo con quattro viti M3 e le solite rosette. Il fissaggio è di estrema importanza, perché, visto il metodo di bloccaggio delle lame da taglierino, è molto facile che l'insieme costituente la lama tagliaerba venga sbilanciato e che quindi l'albero vibri tendendo ad allentare il motore. Adesso potete procedere inserendo il circuito nella scocca e fissandolo tramite quattro viti e



Collocazione delle bobine usate come sensori del recinto sepolto.



Inserimento dell'interruttore reed e del piccolo magnete nella ruota pivotante.



Il vano interno contenente tutta l'elettronica, a montaggio ultimato.

relativi distanziatori; fatto questo, avrete le misure per eseguire tutti gli altri cablaggi (dei pulsanti e dei sensori). Fissate i pulsanti, l'interruttore di accensione e i sensori ad ultrasuoni sul frontale e cablateli internamente così come visibile nelle foto. Proteggete il display LCD tramite un foglio adesivo trasparente opportunamente ritagliato, in modo che eventuali gocce d'acqua non passino all'interno. Cablate i motori di trazione e i sensori di temperatura e, successivamente, anche il motore per il taglio; a tal proposito nella confezione del motore brushless troverete dei connettori che andranno saldati, le femmine sull'ESC e i maschi sul motore. L'utilizzo di questi connettori vi permetterà di modificare il verso di rotazione del motore, semplicemente scambiando tra loro due dei tre connettori (ciò perché il motore è trifase). Adesso preparate le due induttanze usate per il rilevamento del filo interrato e fissatele all'interno del frontale, sulla parte più bassa, una a destra ed una sinistra; per farlo potete usare della colla o del semplice nastro adesivo. Quanto al collegamento, fate attenzione ad usare solo il pin 1 e 2 dei connettori BOBINA1

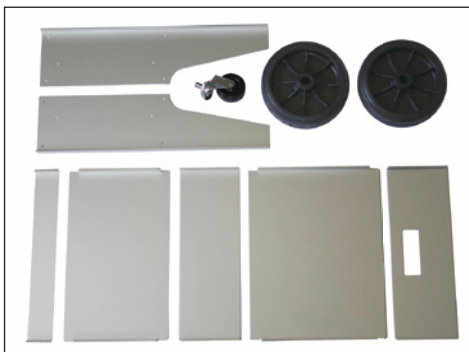
e BOBINA2, altrimenti brucerete le induttanze.

Per ultima fissate la batteria con del nastro biadesivo e cablatela con della piattina rosso-nera. Fissate il sensore di ribaltamento direttamente sul pannello frontale con il biadesivo fornito in dotazione e collegatelo all'apposito connettore dello stampato; prima del montaggio potete verificare qual è la posizione per la quale il contatto resta aperto, utilizzando un tester nella "misura di continuità" e ruotando il sensore in più direzioni. Particolare attenzione va posta nel cablaggio dei fili vicino al motore M3, dato che in esso ruota la parte esterna e non quella interna, quindi occor-

re tenere lontani i cavi e, durante il collaudo, le mani. Il pannello solare andrà montato per ultimo, solo quando tutto sarà già stato collaudato e pronto a funzionare; per qualche prova potete tenerlo in mano e per i collaudi sul campo fissatelo con del nastro adesivo.

Per il momento non avvitate le lame per il taglio dell'erba. Nell'esempio descritto in queste pagine abbiamo accennato alla possibilità di usare l'ingresso NMOTOR come sensore di movimento. L'idea è nata durante alcune prove in un giardino dove si trovavano dei pozzetti molto in rilievo rispetto al terreno, tanto che il nostro prototipo ci

Tutte le parti componenti la meccanica del rasaerba; le misure dei particolari in alluminio sono nella pagina precedente.



Il pannello frontale lavorato per ospitare sensori, LCD, tasti e interruttore.



**Guarda il video del
tagliaerba su YouTube!**



Vuoi vedere cosa è capace di fare il nostro tagliaerba prima di iniziarne la costruzione? Nulla di più semplice: collegati a YouTube (www.youtube.com/watch?v=IWZhSxp2oSQ) e guarda all'opera il nostro robot. Potrai anche vedere i video di moltissimi altri nostri progetti proposti in passato.

rimaneva bloccato. Per aggirare il problema abbiamo escogitato una brillante soluzione che consiste nel sistemare un piccolo sensore sulla ruota pivotante posteriore, studiato per valutare se la stessa ruota sta girando correttamente; infatti solo se sta girando siamo sicuri che il tagliaerba stia avanzando, mentre il caso contrario significa che le ruote di trazione sono bloccate oppure stanno girando a vuoto. Per aggiungere anche questa funzione, peraltro completamente facoltativa, dobbiamo procurarci un sensore ad ampolla con contatto Reed di quelle usate negli impianti d'allarme ed inserire il magnete nella ruota pivotante, quindi il sensore nella scocca del tagliaerba. Così facendo, il con-

tatto si chiuderà ogni qualvolta il magnete ci passerà vicino, perciò ad ogni giro della ruota corrisponderà un impulso del sensore. Siccome è necessario convertire questo impulso in una tensione continua da poter inviare all'ingresso AN0 del PIC, dovete inserire il Reed nel piccolo circuito il cui schema (*Sensore arresto ruota anteriore*) è illustrato qualche pagina addietro e dove lo stesso Reed è siglato SW1. Tale circuito potrete anche realizzarlo volante, direttamente sul connettore NMOTOR.

Bene, per ora abbiamo concluso; proseguiremo nella prossima puntata con le indicazioni per il collaudo e la descrizione del firmware del microcontrollore.

ALLONTANA gli animali indesiderati

SCACCIACANI A ULTRASUONI

Nuovo e rivoluzionario apparecchio multifunzionale utile a tutti coloro che vogliono tenere a debita distanza i cani randagi o molesti in modo semplice e rispettoso della salute dell'animale. Il dispositivo permette di creare attorno a sé un'area di sicurezza entro la quale i cani non possono accedere, in quanto messi a disagio dalle onde ultrasoniche generate dall'apparecchio. Lo stesso apparecchio può essere usato per educare e allenare i propri cani unitamente a ordini verbali o gestuali. I LED ad alta intensità luminosa di cui dispone ne consentono l'utilizzo anche come torcia. Raggio d'azione ~ 12m; frequenza 20+ 25kHz; pressione sonora ~ 135dB; alimentazione batteria a 9V; dimensioni 121 x 45 x 24mm; peso 55g (batteria esclusa).

FR349

€ 16,00

SCACCIATALPE E RODITORI ELETTRONICO

Dispositivo semplice ed efficace in grado di generare un segnale sonoro a 300Hz che permette di allontanare topi e altri tipi di roditori. Impermeabile e resistente ai raggi UV, può essere collocato con estrema facilità in giardini, orti, ecc. Non utilizza nessuna sostanza chimica e non uccide gli animali. Raggio d'azione ~ 1000m²; frequenza 300Hz; alimentazione 4 batterie tipo torcia (D) da 1,5V.

GRR01

€ 10,00

SCACCIAINSETTI E RODITORI A ULTRASUONI

Problemi di topi e scarafaggi? Risolvi per sempre questo fastidioso inconveniente senza impiegare alcun prodotto pericoloso o inquinante. Il nostro generatore elettronico ad ultrasuoni è infatti in grado di allontanare topi, roditori e insetti in genere. Dotato di una pressione acustica di 130dB è l'ideale per cantine, solai, ed in genere piccoli ambienti. Il segnale generato varia in continuazione tra 20 e 27kHz. Potenza elettrica assorbita 1,5W. Alimentazione a 220V con adattatore di rete. Dimensioni 84 x 114 x 81mm. Peso 160g.

FR85

€ 20,00

SCACCIATALPE E RODITORI CON PANNELLO SOLARE

Particolare dispositivo che consente di allontanare topi e altri tipi di roditori grazie al segnale sonoro a 300Hz che è in grado di generare. Impermeabile e resistente ai raggi UV, può essere collocato con estrema facilità in giardini, orti, ecc. Non utilizza nessuna sostanza chimica e non uccide gli animali. Raggio d'azione ~ 800m²; frequenza 300Hz; alimentazione batterie ricaricabili Ni-MH 3,6V / 300mAh (incluse); dimensioni Ø180 x 475mm; consumo 0,2W; autonomia con batterie ~ 24 ore.

GRR02

€ 22,00

FUTURA ELETTRONICA Idee in elettronica

Via Adige, 11 • 21013 GALLARATE (VA)
Tel. 0331/799775 • Fax 0331/778112
www.futurashop.it

Disponibili presso i migliori negozi di elettronica o nel nostro punto vendita di Gallarate (VA).
Caratteristiche tecniche e vendita on-line: www.futurashop.it

INTERFACCIA USB PER BRACCIO ROBOT

Permette di comandare da PC il braccio robotizzato proposto nel fascicolo n° 133 in modo manuale o eseguendo vere e proprie sequenze programmabili a piacimento, come in un macchinario a controllo numerico.

..... di DAVIDE SCULLINO

Se ricordate, nel fascicolo n° 133 abbiamo proposto un braccio robot rivolto a chi desidera iniziare a conoscere il mondo della robotica e fare pratica con un primo, semplice kit di montaggio in grado di offrire un metro di valutazione delle possibilità offerte dalla robotica. Il prodotto certo non è un braccio in acciaio per il montaggio delle auto in fabbrica, però, seppure in miniatura, conserva struttura e accorgimenti tecnici (motoriduttori, sistema di trasmissione





Il kit di modifica che aggiunge al braccio robot l'interfaccia USB consta di una scheda con cavetto e un coperchio da montare al posto della scheda dei cablaggi.

faccia quel che poi gli si vuol far ripetere, quindi salvare il tutto. Pro-

prio la possibilità di creare sequenze di movimenti è la cosa che rende indubbiamente unico il controllo da computer e che, siamo certi, spingerà tutti quelli che a suo tempo hanno realizzato il braccio robot, a provare l'interfaccia da PC. Il modulo di comando da computer è kit prodotto anch'esso dalla Velleman, siglato KSR10/USB e comprendente un circuito (provvisto di un apposito coperchio) da montare al posto dello stampato del braccio robot, un software su CD-ROM e un manuale d'istruzioni. Ah, quasi dimenticavamo di dire che il modulo è progettato per interfacciarsi con i Personal Computer mediante il bus USB ed è compatibile USB 2.0; perciò la scheda fornita è provvista di un cavo USB, terminante con il connettore di tipo A.

Il circuito contenuto nel modulo è sostanzialmente fatto per sostituire i deviatori a levetta del telecomando a filo; infatti dispone di un certo numero di switch allo stato solido comandati dal computer tramite un'interfaccia USB/seriale e un registro in grado di trasformare i dati seriali in paralleli. La cosa interessante

La confezione dell'interfaccia USB comprende anche un CD-ROM contenente il programma di comando del braccio robot.

è che, al pari del telecomando a filo, quello da computer consente l'esecuzione simultanea di più movimenti: ad esempio la chiusura della pinza della testa mentre la base ruota e il braccio si solleva. Tale possibilità si deve al circuito, in grado di memorizzare i comandi in appositi latch e continuare ad eseguirli anche quando dall'USB giungono serialmente i comandi per altri movimenti.

Per montare l'interfaccia USB bisogna rimuovere la scheda dei cablaggi originale del braccio robot; allo scopo basta sfilare i connettori dei motori e del led (magari dopo aver appiccicato al filo di ciascuno un'etichetta di carta che servirà a ricordarsi la posizione nei pin strip dello stampato) svitare il coperchio in plastica ed estrarre la basetta, dopo aver staccato il connettore che porta l'alimentazione dal vano delle pile. Rimossa la scheda originale, inserite quella USB avendo cura di far uscire dal retro del basamento il cavetto con il connettore; collegate il connettore volante delle pile all'apposito connettore posto sullo stampato e chiudete il tutto con il coperchio fornito nel kit USB, che fisserete con le stesse viti tolte dal coperchio originale. A questo punto non resta che infilare i connettori dei motori e del led, ciascuno al proprio posto: la modifica è completa. Prima di collegare il sistema al computer portate l'interruttore posto nel circuito in posizione OFF, così da privare dell'alimentazione il

a frizione, snodi e base rotante) dei prodotti industriali; è quindi una sorta di modellino nel quale vedere all'opera quello che si vedrebbe in un braccio robotizzato per la verniciatura delle automobili o per la saldatura. Il piccolo robot di cui parliamo, prodotto dalla Velleman, è provvisto di un telecomando a filo per l'azionamento di tutti i movimenti: una sorta di modulo di comando tipo quelli dei sollevatori da cantiere o di alcune macchine utensili. Il comando manuale a filo è sicuramente pratico, però poter gestire da PC tutti i movimenti del robot è certamente meglio: innanzitutto perché, anche in modalità manuale, oltre alla tastiera è possibile usare il più comodo mouse (tanto meglio se è del tipo con la rotellina di scroll) per comandare in maniera più istintiva rotazione, abbassamento ecc. Inoltre, con il computer abbiamo la possibilità di memorizzare una serie di movimenti, quindi una vera e propria sequenza, per poi farla ripetere al braccio robotizzato quando e quante volte vogliamo; per memorizzare le sequenze non bisogna fare altro che attivare l'apposita funzione, comandare il braccio affinché





Schermata di avvio del programma: si inizia facendo clic su PLAY.

circuito ed evitare che consumi inutilmente le batterie.

IL SOFTWARE DA PC

Per comandare il braccio robot da USB bisogna installare prima i driver e dopo il software di controllo presenti nel CD-ROM fornito con il kit; a riguardo, notate che i driver sono collocati nella cartella *USB Driver* e il programma di controllo è, invece, nella cartella *Robotic Arm*. Prima di lanciare l'installazione dei driver collegate il cavo USB dopo aver spostato l'interruttore a slitta del circuito nella posizione ON. Completata l'installazione, sul desktop del computer vi apparirà un'icona chiamata *Robotic Arm*; facendovi doppio clic si apre la finestra principale del programma, che presenta in centro un pulsante chiamato PLAY. Per iniziare a lavorare dovete fare clic su questo, allorché appare la schermata di menu, che contiene tre pulsanti: BASIC, PROGRAM e QUIT; facendo clic sul primo si accede alla finestra di dialogo relativa al controllo manuale, controllo che potete effettuare sia con la tastiera che con il mouse. La scelta del modo di comando la effettuate facendo clic sul pulsante

te MODE: una volta impostate il controllo da tastiera, con un altro clic attivate il mouse, mentre con un altro clic reimpostate il comando da tastiera ecc. Per impartire i comandi dei movimenti da tastiera, dovete premere i tasti con le lettere indicate a video; se avete dubbi sul loro significato, commutate nella modalità di comando da mouse e fate clic sulla barra dei comandi alla base dello schermo,

dove sono riportate le lettere con le frecce indicanti i movimenti: ogni volta che puntate un gruppo di due lettere vedete evidenziato nell'immagine del robot il motore che gli corrisponde, ovvero quello su cui agiscono i comandi. Il comando da mouse è indubbiamente più pratico e si può effettuare con la rotellina di scroll: ruotandola in una direzione il segmento di braccio si muove in un verso, mentre ruotandola nell'altro il movimento è nel verso opposto. Ogni volta che si punta un segmento, appare accanto un riquadro che mostra quali sono i comandi del mouse da utilizzare (pulsanti e rotella di scroll). Ad esempio, puntando la testa viene evidenziato in un riquadro che la rotellina di scroll fa aprire e chiudere la pinza e che il pulsante sinistro comanda accensione e spegnimento (ogni clic inverte la condizione) del led.

Per abbandonare il comando manuale e tornare alla finestra di selezione delle modalità o di uscita (QUIT) bisogna fare clic sull'apposito pulsante (CLOSE).



Con BASIC si entra nel comando manuale e con PROGRAM si accede alla creazione delle sequenze di comando.



Schermata di comando manuale da mouse o tastiera.



Costruzione delle sequenze di movimenti del braccio.

Più interessante è la modalità automatica, alla quale si accede facendo clic, in questa finestra, sul pulsante PROGRAM; in essa si possono costruire sequenze di movimentazione delle varie parti del braccio, semplicemente specificando per ciascun movimento quanti secondi debba durare: ad esempio 1 secondo di rotazione della base a sinistra, 0,5 secondi di sollevamento della base, 1 secondo di chiusura della pinza, un altro secondo di apertura della pinza, 0,5 secondi di abbassamento della base e 1 secondo di rotazione del basamento.

La sequenza può essere provata e salvata in un file, mediante gli appositi comandi; più esattamente con il pulsante NEW si inizia la creazione della sequenza e, una volta impostati i movimenti e le rispettive durate, con SAVE si accede alla finestra di dialogo con la quale definiamo il nome del file contenente la sequenza e la sua posizione sul disco rigido.

Per eseguire una sequenza bisogna aprire il file corrispondente con il comando OPEN: allora nel riquadro di destra appaiono tutti i movimenti previsti con le rispettive durate; in alternativa, se il file ancora non è stato creato, facendo clic su ENTER si memorizza ciascuna sequenza di movimenti, che appare nel solito riquadro di destra.

Ogni sequenza si compone di un segmento, nel quale per ciascuna parte del braccio è possibile definire un solo movimento: ad esempio non si può dire di ruotare la base in senso orario e poi in senso antiorario. Per ottenere il rientro nella posizione originaria occorre, in una sequenza, definire un segmento contenente i comandi opposti a quelli del precedente. Quando si va ad eseguire la sequenza (basta fare clic sul pulsante PLAY) il programma compie tutti i segmenti nell'ordine in cui sono stati creati, mostrando istante per istante i motori del braccio interessati dai movimenti.

Ad esempio, se facciamo aprire la pinza dobbiamo salvare la sequenza corrispondente e poi crearne una in cui la pinza si chiude; facendo clic sul pulsante PLAY, il programma farà eseguire al braccio robot tutti i movimenti, senza pause, quindi, in quest'esempio, la pinza tornerà nella sua posizione originale. Dato che il robot non ha sensori di posizione, facendo ripetere una sequenza che comporta movimenti in una sola direzione, a un certo punto i motoriduttori andranno a fine corsa. Si può riportare le varie parti del braccio nella posizione originaria semplicemente facendo clic sul pulsante REVIEW, il quale fa eseguire le sequenze, ma alla rovescia. Ma questa e le altre funzionalità vi saranno più chiare procurandovi il braccio robot e la relativa interfaccia USB: in breve vi accorgerete di quali siano le reali potenzialità di qualcosa che pur sembrando un giocattolo, in realtà è un braccio robotizzato in miniatura.



per il MATERIALE

L'interfaccia USB per il braccio robot è disponibile già montata (cod. KSR10/USB) al prezzo di 46,00 Euro. La confezione comprende il CD con software e driver, la scheda elettronica (già assemblata) con copertura protettiva in plastica, il cavetto USB e il manuale. Il braccio robot vero e proprio è disponibile esclusivamente in scatola di montaggio (cod. KSR10) al prezzo di 62,00 Euro. Il braccio utilizza normalmente una unità di controllo via cavo con cinque comandi ed è alimentato a batterie (le batterie non sono comprese).

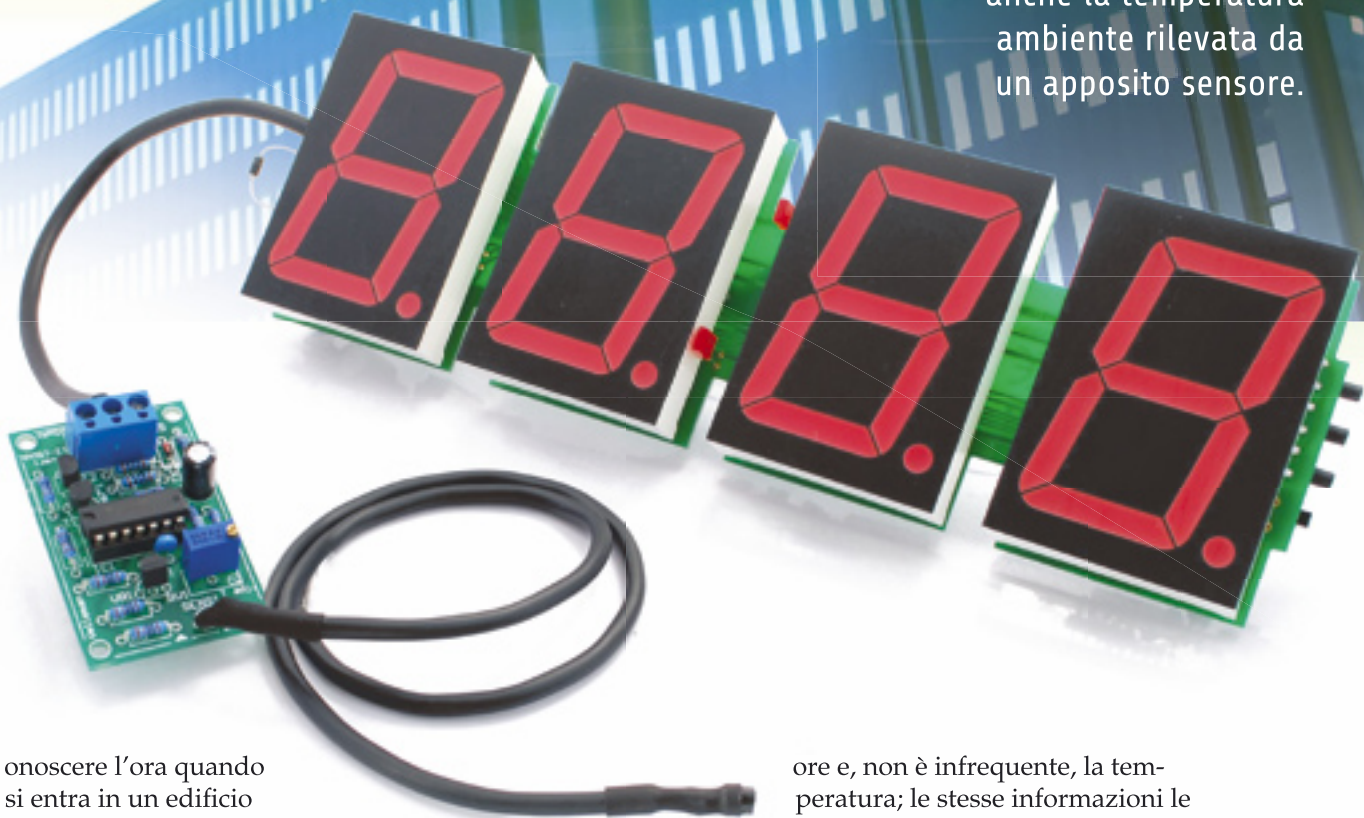
Il materiale va richiesto a:

Futura Elettronica, Via Adige 11, 21013 Gallarate (VA)
Tel: 0331-799775 • Fax: 0331-792287 - www.futurashop.it

OROLOGIO DIGITALE CON TERMOMETRO

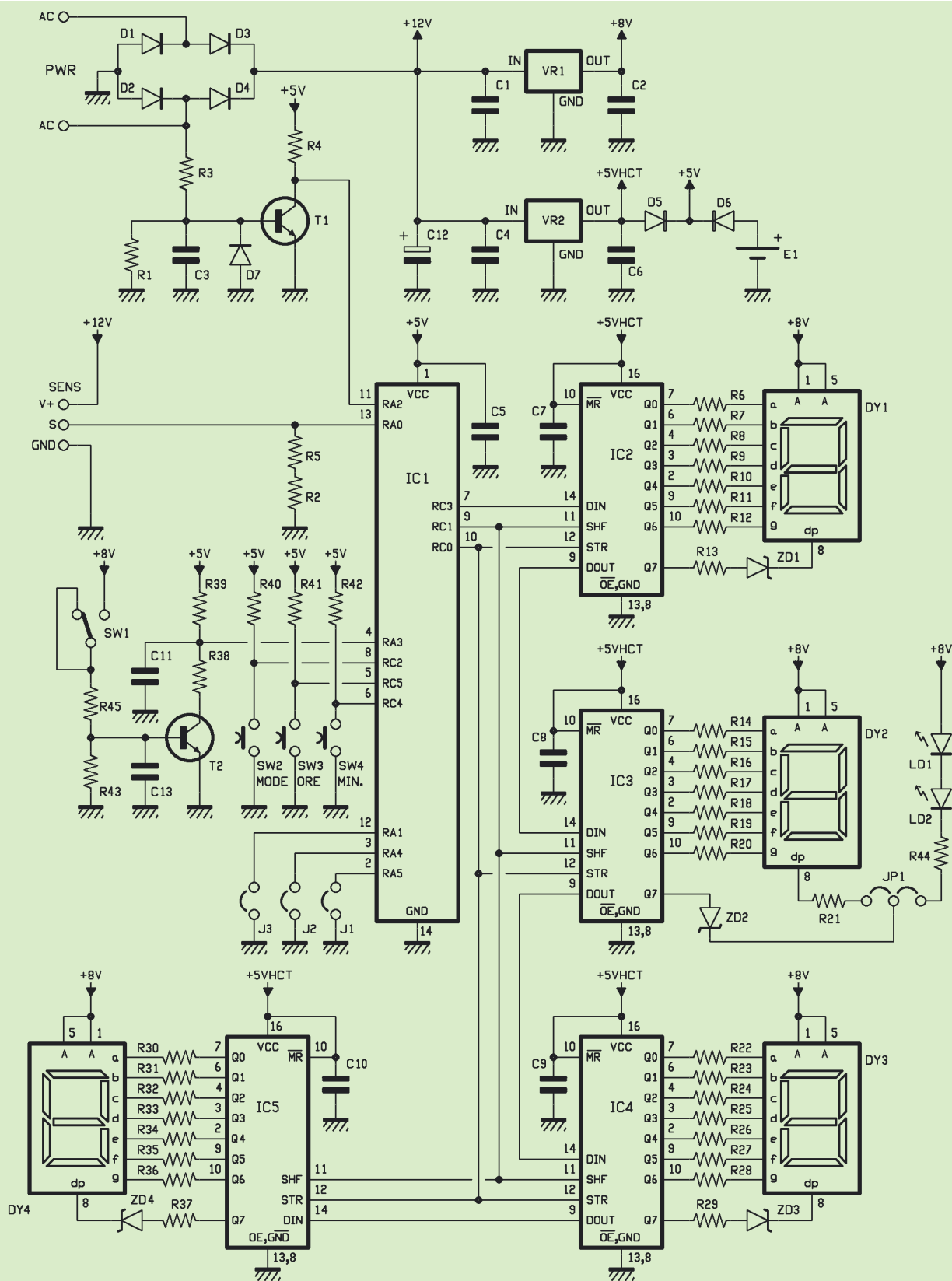
di DAVIDE SCULLINO

Visualizza ore e minuti mediante quattro display giganti a led, tramite i quali mostra anche la temperatura ambiente rilevata da un apposito sensore.



Conoscere l'ora quando si entra in un edificio aperto al pubblico, si cammina per una piazza o si gira in auto, è indubbiamente cosa utile ed apprezzata, in special modo da chi spesso esce di casa senza l'orologio. Non a caso, nelle sale d'attesa, nelle hall degli alberghi, nei grandi negozi, nelle stazioni, c'è un orologio, sovente dotato di visualizzatore a led, che mostra le

ore e, non è infrequente, la temperatura; le stesse informazioni le troviamo spesso visualizzate da grandi tabelloni posti a lato delle strade o abbinati ai cartelloni pubblicitari in città. Per questa ragione, a chi di voi ha un negozio o un locale aperto al pubblico proponiamo la realizzazione di un orologio con termometro, in grado di mostrare l'ora corrente nel formato hh:mm sia su 12



che su 24 ore e la temperatura rilevata nell'ambiente da un apposito sensore, che potrete collocare

all'interno o all'esterno in modo che quella visualizzata sia la temperatura, rispettivamente, interna

o esterna. Proprio per quanto riguarda la funzione termometro, la temperatura può essere

Il nostro progetto

rappresentata, senza decimali, in gradi Celsius e Fahrenheit ed il campo di misura è compreso tra -20°C (-4°F) e 70°C (158°F). Il dispositivo è composto da un modulo di controllo che pilota opportunamente quattro display giganti a led rossi. Il tutto è molto compatto e richiede solamente un componente ausiliario, che è il sensore termico; la precisione dell'orologio è assicurata dall'adozione di uno stratagemma impiegato decine di anni fa quando implementare un oscillatore a quarzo preciso era relativamente costoso: qui non esiste oscillatore e il clock per l'orologio di sistema viene ricavato dalla frequenza dell'alternata sinusoidale di rete. Già, perché la corrente alternata della rete di distribuzione elettrica è alla frequenza di 50 Hz, frequenza estremamente stabile perché assicurata dalla velocità di rotazione degli alternatori; quindi, un riferimento più che affidabile.

Vediamo dunque nei dettagli di cosa si tratta, analizzando il circuito, anzi, i circuiti, visto che l'orologio con termometro consta di due unità: quella principale, che ricava e visualizza l'orario e la temperatura, più la scheda del sensore termico, che misura la temperatura e la comunica mediante una connessione a loop di corrente, capace di garantire una buona immunità ai disturbi anche piazzando il sensore stesso a qualche decina di metri di distanza.

L'UNITÀ PRINCIPALE

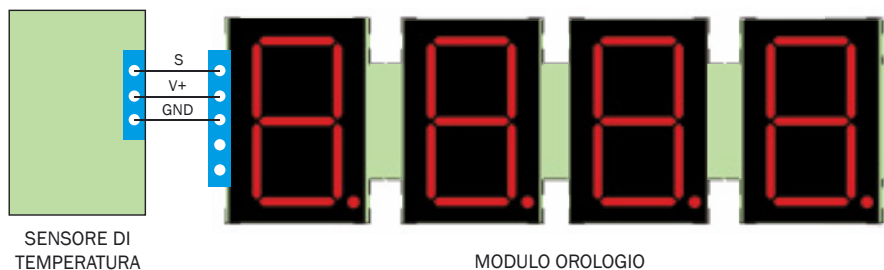
Il modulo principale è quello che monta i quattro display e il microcontrollore usato per ricavare ora e temperatura; il micro qui adottato è un PIC16F630 (dotato di oscillatore di clock interno) programmato per compiere le seguenti opera-

zioni: contare gli impulsi di clock ricavati dalla rete, memorizzare il risultato in un apposito registro, convertire il risultato in ore e minuti, provvedere alla composizione dei numeri sotto forma di codici binari, oltre a leggere il segnale elettrico prodotto dal sensore di temperatura e impostare la visualizzazione dei valori numerici corrispondenti. Partiamo subito dal conteggio degli impulsi di clock per l'orologio (da non confondere con il clock del microcontrollore, che è generato internamente) i quali vengono ricavati a partire dalla tensione alternata di alimentazione del circuito, prelevabile ai capi del secondario di un trasformatore da rete da 9 Veff: gli impulsi sono a 50 Hz come la sinusoide uscente dal trasformatore e sono ottenuti dalla commutazione del transistor T1, il quale, essendo un NPN, va in saturazione ogniqualvolta la tensione applicata tra base ed emettitore è positiva e supera quella di soglia. Nel no-

stro circuito colleghiamo la base del T1 ad un filo dell'alternata e l'emettitore a massa, in modo che nella semionda negativa (ossia quando la tensione di alimentazione è positiva sulla R3, il transistor venga polarizzato fino all'interdizione. Questa connessione fa sì che T1 vada in saturazione una volta in ogni periodo e quindi 50 volte al secondo, cosicché la linea RA2 del microcontrollore legge una frequenza di 50 Hz.

Questo valore è la base per il conteggio del tempo, che il micro svolge iniziando un apposito contatore/divisore di frequenza con cui ottiene la base dei tempi per l'orologio; man mano che il conteggio incrementa, il risultato viene scritto in un registro per i minuti ed uno per le ore. Con questa tecnica, nel caso peggiore la precisione ottenibile dall'orologio è dell'ordine del 5 %.

La visualizzazione avviene trasformando i dati binari dei registri in valori di tensione con cui pilotare direttamente



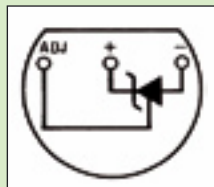
Il sensore di temperatura

L'elemento impiegato per rilevare la temperatura ambiente è un integrato LM335Z della National Semiconductors: il componente è una sorta di diodo Zener che mantiene ai propri capi una tensione strettamente legata alla temperatura del proprio corpo e che ammonta a 10 mV per °K; in altre parole, il componente stabilizza la tensione ai propri terminali + e - ad un

valore che ammonta a 10 millivolt per ogni grado kelvin di temperatura assoluta. Per ottenere la tensione rispetto ai gradi centigradi, dato che lo zero kelvin è pari a -273,15 °C, dobbiamo sommare 273,15; quindi a zero gradi centigradi il sensore presenta ai propri estremi 2,7315 V e a 100 °C, 3,7315 volt. L'uscita dell'integrato è quindi lineare, nel senso che la relazione fra la tensione ai suoi estremi e la temperatura è di proporzionalità diretta, lineare e

di primo grado. Per migliorare la sua già ottima precisione, il costruttore ha previsto un terzo piedino chiamato ADJUSTMENT, al quale collegare un trimmer che gli riporti parte della tensione rilevata tra gli estremi.

L'LM335Z funziona correttamente con una corrente tra gli estremi di valore compreso fra 400 µA e 5 mA; una volta tarato (con il solito piedino ADJUSTMENT) a



25 °C, garantisce un'accuratezza di 1 °C entro un range compreso fra 0 e 100 °C. L'integrato sensore di temperatura è in capsulato tipicamente in contenitore plastico TO-92, o anche in TO-46. Le sue caratteristiche tecniche sono le seguenti:

- precisione di 1 °C fra 0 e 100 °C;
- corrente di lavoro da 400 µA a 5 mA;
- meno di 1 Ω di resistenza dinamica.

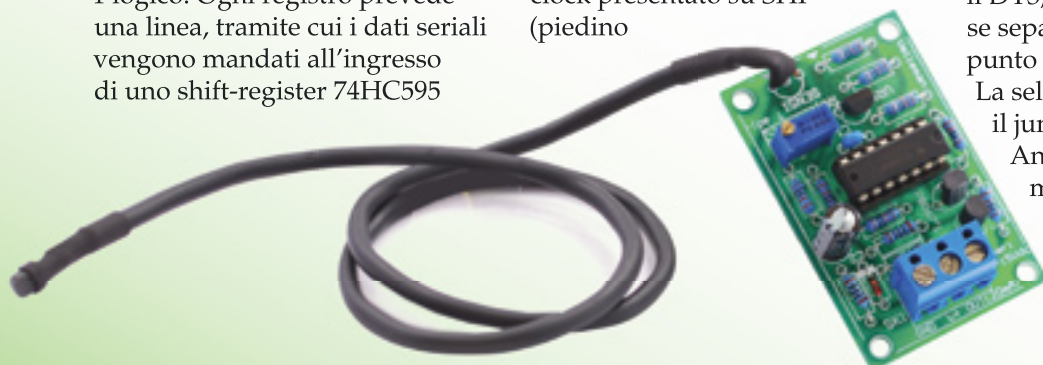
i display a sette segmenti; per l'esattezza, per ciascun display e quindi per unità e decine di minuti ed unità e decine di ore, il microcontrollore emette sequenzialmente dati che corrispondono alla composizione dei segmenti necessaria a visualizzare il valore numerico decimale del registro corrispondente: ad esempio, se il registro ha il valore 8, tutti i segmenti devono risultare accesi e quindi tutti i bit della stringa seriale emessa dal micro sono ad 1 logico. Ogni registro prevede una linea, tramite cui i dati seriali vengono mandati all'ingresso di uno shift-register 74HC595

con uscite three-state, scopo del quale è convertire i dati seriali in paralleli, in modo da comandare i segmenti di un display a led ad anodo comune (il comando avviene in modo "sink", ossia portando a livello basso il catodo del segmento da accendere). Affinché gli shift-register funzionino correttamente, ogni uscita di comando del micro è formata da una linea dati, un clock ed uno strobe: i dati entrano in DIN (DataIN, piedino 14) scanditi dal clock presentato su SHF (piedino

11); quando viene completato un bit, attivando lo strobe (STR, pin 12) i dati corrispondenti vengono bloccati sullo stadio di uscita e presentati in forma parallela. Il 74HC595 ha un driver three-state per ciascuna linea di uscita, che a riposo (quando lo strobe non è attivato) presenta alta impedenza, mentre attivato si porta a livello basso.

Della sezione di controllo dei display va osservato un particolare: il micro, attraverso gli shift-register, gestisce anche i punti decimali dei display, anche se, come vedete, ogni punto viene comandato attraverso un diodo Zener; tale configurazione si deve al fatto che i display sono alimentati ad 8 volt e gli shift-register ad appena 5 volt. Considerato che ogni segmento dei display A-2301SR è composto da una serie di quattro led, mentre nel punto decimale ci sono solo due diodi luminosi, quando le uscite dei registri sono a livello alto, mentre i segmenti non riescono ad accendersi, è facile che i decimal-point, invece, riescano ad illuminarsi anche se dovrebbero essere spenti. Inserendo lo Zener, con l'uscita a 5 volt la differenza di potenziale residua non basta a polarizzare i led del punto decimale. Sempre riguardo alla gestione dei punti, notate che nel secondo display (DY2) che poi è quello delle decine di minuti, il punto si può escludere a favore di due led aggiunti e collocati fra esso e il DY3; ciò permette di scegliere se separare ore e minuti con un punto in basso o con due punti. La selezione si effettua mediante il jumper JP1.

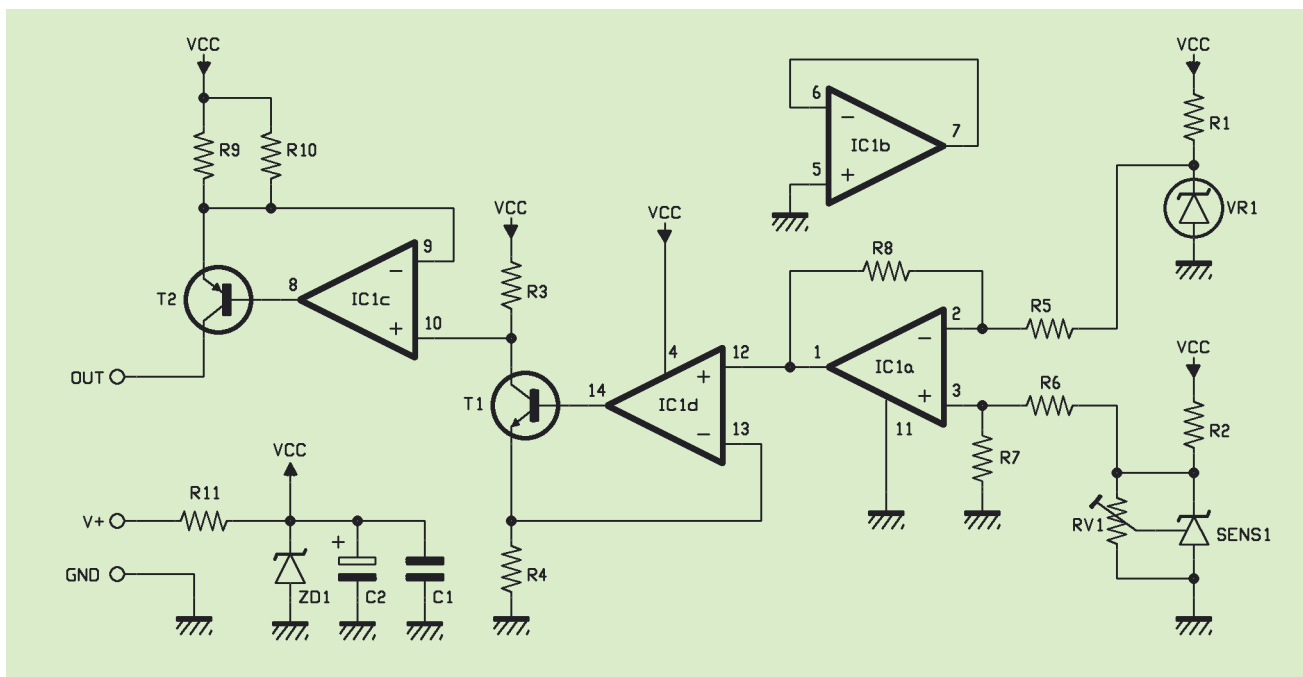
Andiamo oltre e vediamo le restanti porte del microcontrollore: le linee RA1, RA4, RA5, iniziate come input con pull-up interno, vengo-



no utilizzate per leggere lo stato dei ponticelli, rispettivamente, J3, J2, J1, impiegati per definire il tipo di visualizzazione della temperatura e per impostare il

rispetto alla transizione 0/1. Le linee di I/O RC2, RC4 ed RC5, inizializzate anch'esse come ingressi privi di pull-up interno, vengono impiegate per

differenza di potenziale. Concludiamo la descrizione dello schema elettrico dell'unità principale con il blocco di alimentazione, il quale, parten-



[schema elettrico SENSORE]

funzionamento del circuito in modo da visualizzare solo l'ora oppure alternativamente l'ora e la temperatura. RA3, impostata anche questa come ingresso (ma senza pull-up interno) viene utilizzata per leggere, tramite R1, lo stato del deviatore SW1: quest'ultimo serve a visualizzare dei messaggi speciali comodi per i pubblici esercizi; per l'esattezza, aprendo il deviatore il display, visualizza OPEN e chiudendolo, CLOS. La visualizzazione è alternativa a quella dell'orario e della temperatura e può essere forzata in ogni momento; diventa molto utile nei negozi e simili per indicare quando sono chiusi o aperti. Della sezione di circuito corrispondente notate che il condensatore C11 è stato inserito per introdurre, insieme ad R39, un leggero ritardo nel passaggio da 0 ad 1 logico

leggere lo stato dei pulsanti di impostazione dell'orologio, ossia SW2, SW3 ed SW4. Infine, notate RA0, linea assegnata all'A/D converter interno al micro e utilizzata per leggere la tensione di uscita del modulo sensore di temperatura che descriveremo tra breve, modulo che è previsto sia collegato ai contatti siglati SENS. Osservate che in parallelo all'ingresso si trova una resistenza da 250 ohm, formata dalla serie di R2 ed R5, la cui precisione è fondamentale per leggere correttamente il segnale fornito dal modulo sensore. Ciò perché il rilevatore termico fornisce un'indicazione della temperatura rilevata sotto forma di corrente, quindi è necessario che il carico, ossia la resistenza in parallelo all'ingresso dell'A/D converter, sia scelto con precisione, onde determinare ai suoi capi la giusta

do dall'alternata prelevata dal secondario di un trasformatore da rete a 50 Hz, deve ricavare 5 V stabilizzati per la logica e gli 8 V stabilizzati per i display; la stessa sezione deve anche provvedere a mantenere in funzione almeno il microcontrollore in assenza della tensione di rete, cosa che viene ottenuta con l'aiuto di una pila a bottone. Per quanto riguarda l'alimentazione ordinaria, un ponte di Graetz raddrizza l'alternata ottenendo impulsi sinusoidali con i quali vengono caricati C1, C4 e C12, ai capi dei quali, con 9 Vca in ingresso, si trovano poco meno di 12 V in continua; con i 12 volt, mediante VR1 (7808) e VR2 (7805) si ricavano gli 8 V necessari ai display e al circuito relativo all'SW1, oltre ai 5 volt utilizzati per alimentare il microcontrollore, i circuiti dei

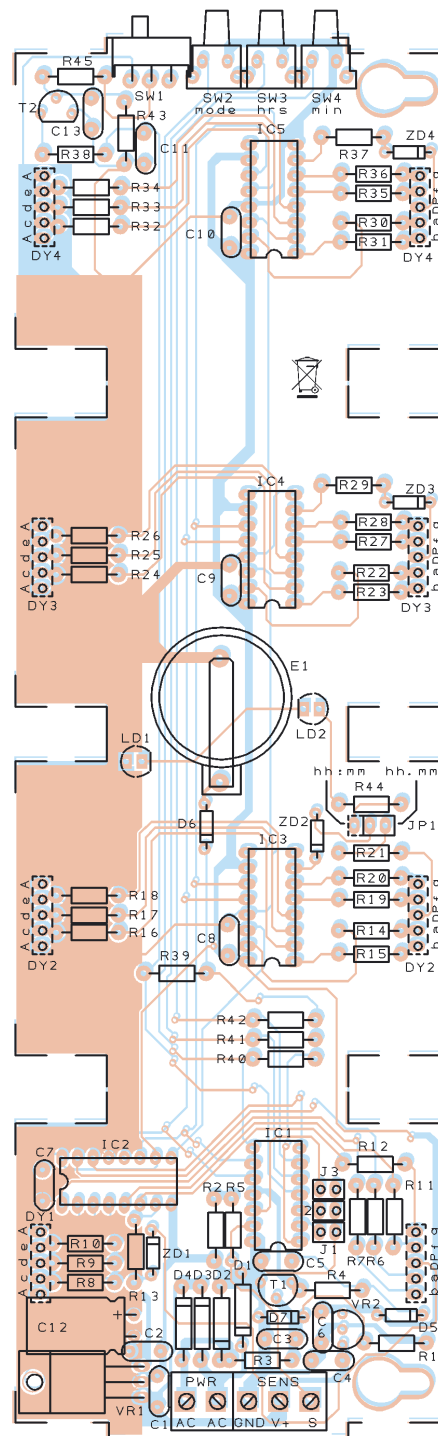
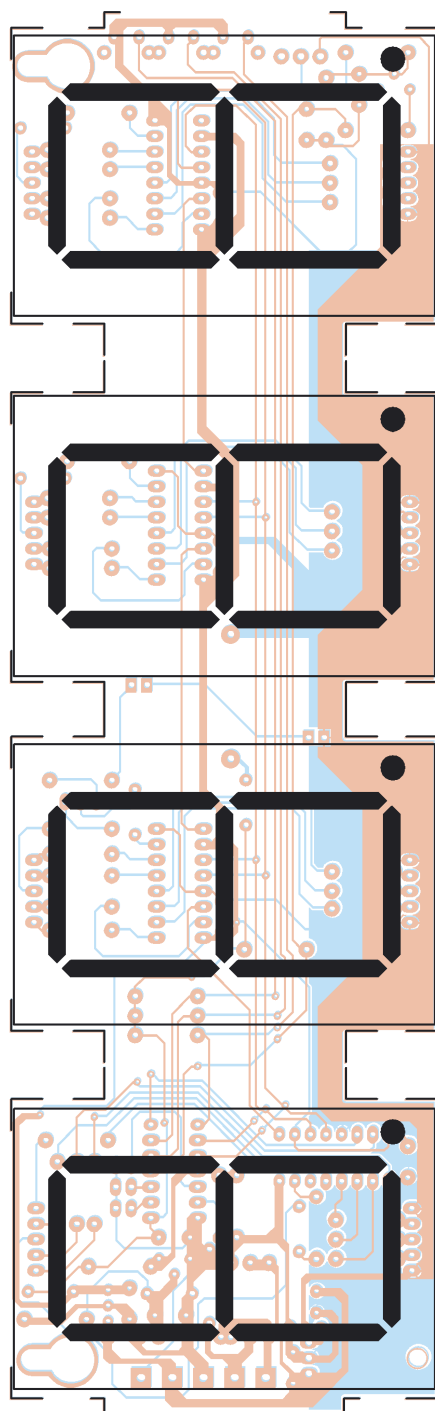
[piano di montaggio **OROLOGIO**]

Elenco Componenti:

R1: 100 kohm
 R2: 10 ohm
 R3, R4: 22 kohm
 R5: 240 ohm 1%
 R6÷R37: 220 ohm
 R38: 1 kohm
 R39÷R42: 10 kohm
 R43: 10 kohm
 R44: 220 ohm
 R45: 2,2 kohm
 C1÷C11: 100 nF multistrato
 C12: 470 μ F 25 VL elettrolitico
 C13: 100 nF multistrato
 D1÷D4: 1N4007
 D5, D6: BAT85
 D7: 1N4148
 ZD1÷ZD4: Zener 4,3V 400 mW
 IC1: PIC16F630-I/P (VK8089)
 IC2÷IC5: 74HC595
 SW1: Deviatore 90° da CS
 SW2÷SW4: Microswitch 90°
 T1, T2: BC547
 VR1: 7808
 VR2: 78L05
 DY1÷DY4: Display anodo comune 56x38 mm

Varie:

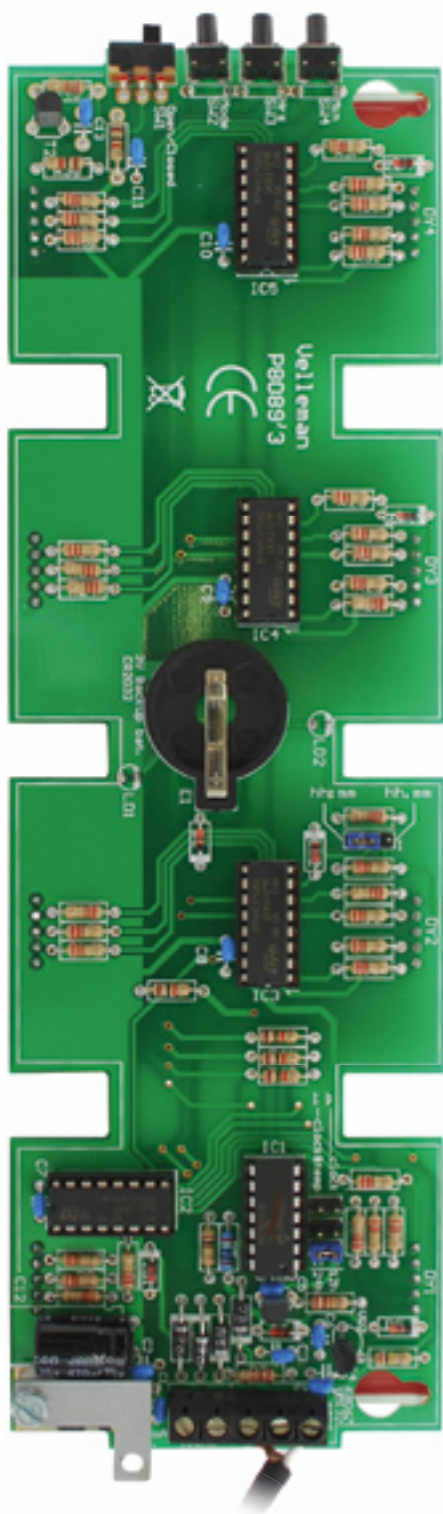
- Morsettiera 2 poli (2 pz.)
- Morsettiera 3 poli
- Zoccolo 7+7
- Zoccolo 8+8 (4 pz.)
- Strip maschio 2 poli (3 pz.)
- Strip maschio 3 poli
- Strip femmina 5 poli (8 pz.)
- Jumper (4 pz.)
- Vite 10 mm 3 MA
- Dado 3 MA
- Porta batteria CR2032
- Circuito stampato



pulsanti e gli shift-register. Per evitare che in mancanza dell'alimentazione da rete il microcontrollore si spenga e perda il conteggio dell'ora, il

circuito è stato dotato di una pila a bottone (di tipo CR2032) che, al mancare dei 5 volt in uscita dal regolatore VR2, tiene in funzione IC1; notate che per risparmiare

il più possibile la pila, in caso di blackout vengono alimentati soltanto il microcontrollore e le poche resistenze che lo contornano. Otteniamo ciò con il diodo D5,



Gli shift-register sono invece alimentati direttamente dall'uscita del regolatore VR2, cosicché in caso di blackout restano spenti, come inattivi rimangono i display, perché alimentati dal regolatore 7808.

IL SENSORE TERMICO

L'unità che l'orologio/termometro utilizza per rilevare la temperatura ambiente è un preciso termometro analogico basato su un sensore tra i più utilizzati: l'LM335Z. Si tratta di un componente assimilabile a un diodo Zener polarizzato inversamente, del quale si sfrutta la deriva termica, che porta la tensione a variare di +10 mV ogni grado kelvin (per passare dai °K ai °C bisogna sottrarre 273,15...) della temperatura dell'ambiente in cui si trova; ciò vuol dire che, ad esempio, a 0 °C (273 °K) il componente fornisce una tensione di 2,7315 volt. L'integrato LM335Z è molto preciso, tanto da garantire un errore sulla misura quantificabile in 1°C entro un campo di 100°C; può compiere misure entro un range compreso fra -55°C e +150°C. Per essere ancora più preciso, l'LM335 può essere calibrato mediante il suo terzo piedino (ADJUSTMENT) al quale, mediante un trimmer, si deve applicare una porzione della tensione

e determina la tensione ai propri capi in base alla temperatura ambiente; il trimmer RV1 serve per la taratura di precisione. Il sensore è posto in serie alla resistenza R2 e fa partitore con essa; la tensione ai suoi capi raggiunge l'ingresso non-invertente di un operazionale utilizzato come amplificatore differenziale a guadagno unitario, il cui input invertente è invece mantenuto a una tensione costante assicurata dal VR1: quest'ultimo è uno speciale Zener ad elevata precisione e stabilità termica, capace di assicurare ai propri estremi una differenza di potenziale costante. Il componente è un LM385-2.5 e stabilizza a 2,5 V esatti la tensione ai propri capi; nel nostro circuito serve a fissare la tensione applicata all'ingresso invertente dell'IC1a, in modo che detto operazionale fornisca in uscita una tensione continua che in ogni momento è pari alla differenza tra essa e quella fornita dall'LM335Z, ovvero, essendo la differenza di potenziale ai capi dell'LM385-2.5 costante, pari all'incremento o al decremento della tensione ai capi dell'LM335Z. Quindi all'uscita dell'operazionale si preleva una tensione che cresce di 10 mV/°K.

Tale segnale viene amplificato in corrente dal blocco costituito

Tabella 1 - Significato e impostazione dei jumper J1, J2 e J3 del circuito principale.

Funzione	Jumper	Chiuso	Aperto
Formato orario	J1	12 ore	24 ore
Formato temperatura	J2	Gradi fahrenheit	Gradi centigradi
Visualizzazione	J3	Orologio	Orologio e termometro

il quale, quando manca la tensione di rete, impedisce che la pila dia corrente al resto del circuito e consente l'alimentazione della sola linea +5V (microcontrollore).

che esso stesso stabilizza. Nel nostro circuito, l'integrato viene applicato nella classica configurazione, che lo vede polarizzato come un diodo Zener

dall'IC1d e dal transistor T1; la componente risultante viene applicata a un generatore di corrente costituito da IC1c e dal transistor PNP T2, dal cui collet-

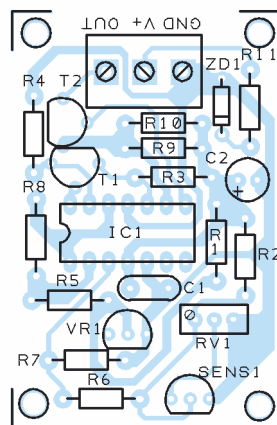
[piano di montaggio **SENSORE**]

Elenco Componenti:

R1÷R4: 10 kohm
R5÷R8: 200 kohm
R9÷R11: 100 ohm
C1: 100 nF multistrato
C2: 100 µF 25 VL elettrolitico
ZD1: Zener 12V/500mW
RV1: Trimmer multigiri 10 kohm
T1: BC547

T2: BC557
IC1: TLV274
VR1: LM385-2.5
SENS1: LM335Z

Varie:
- Morsettiera 3 poli
- Zoccolo 7+7 poli
- Circuito stampato



tore preleviamo una corrente pari a 0,2 mA per grado centigrado di temperatura. In altre parole, la parte di circuito che segue l'uscita dell'IC1a è un convertitore tensione/corrente che sviluppa 0,2 mA ogni 10 mV di incremento della tensione fornita dal sensore SENS1. Questa corrente, fatta scorrere nella serie R2/R5 del circuito dell'orologio, determina all'ingresso RA0 dell'A/D converter del microcontrollore IC1 un potenziale di 0,05 V ogni °C di temperatura ambiente, ossia 50 mV/°C.

REALIZZAZIONE PRATICA

Bene, giunti a questo punto ci sembra di aver chiarito tutti gli aspetti teorici; possiamo dunque vedere come costruire le due unità, partendo da una premessa: il dispositivo principale, ossia l'orologio/termometro, funziona anche da solo, ragion per cui se vi basta vedere l'ora potete evitare di costruire anche il sensore di temperatura. In ogni caso, per entrambi i circuiti stampati trovate la traccia lato rame, con cui ricavare la pellicola per la fotoincisione (che è la tecnica ottimale per realizzare i c.s.) nel nostro sito web www.elettronica.in.it. Ottenute le basette, per prima

cosa realizzate le interconnessioni nelle vie di passaggio tra le piste corrispondenti su entrambe le facce, poi cominciate a inserire e saldare i componenti a partire da quelli a più basso profilo, come resistenze, diodi, trimmer e zoccoli per gli integrati dual-in-line. Proseguite in ordine di altezza, sistemando pulsanti, jumper, condensatori, transistor e morsettiera per le connessioni di alimentazione e per il collegamento del sensore termico. Per tutte le fasi del montaggio di ciascun circuito seguite scrupolosamente il disegno di disposizione componenti corrispondente. Nell'orologio, i display potete montarli su zoccoli, facilmente ottenibili da strisce

di pin ritagliate da zoccoli per integrati, ovvero da strip femmina a passo 2,54 mm. Quanto alla pila a bottone, richiede un apposito portapila da c.s. da stagnare nelle piazzole ad esso dedicate.

Se volete utilizzare il termometro, connettete il modulo sensore di temperatura ai contatti SENS del circuito principale, badando che V+, GND ed S di quest'ultimo siano collegati, rispettivamente, a V+, GND ed OUT del circuito sensore.

Per l'alimentazione dell'insieme occorre un trasformatore con primario a 220V/50 Hz e secondario da 9÷10 V per ottenere 12 volt all'uscita del ponte a diodi e da 12 V per avere, invece, circa



per il MATERIALE

I due circuiti descritti in questo articolo sono entrambi disponibili in scatola di montaggio. L'orologio visualizzatore con quattro display giganti è contraddistinto dal codice K8089 e costa 65,00 Euro mentre il sensore di temperatura è identificato dal codice K8067 e costa 15,50 Euro. I kit comprendono tutti i componenti, la basetta forata e serigrafata, il micro programmato e tutte le minuterie. I prezzi si intendono IVA compresa.

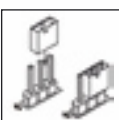
Il materiale va richiesto a: Futura Elettronica, Via Adige 11, 21013 Gallarate (VA)
Tel: 0331-799775 - Fax: 0331-792287 - <http://www.futurashop.it>

16 V; potete scegliere abbastanza liberamente, ricordando però che siccome il sensore di temperatura è previsto che venga alimentato dalla scheda dell'orologio e che la corrente prodotta dal generatore di corrente costante in esso dipende dalla tensione di alimentazione, nel primo caso va bene una resistenza di carico di 250 ohm, mentre nel secondo occorre aumentare il valore della resistenza in parallelo all'ingresso RA0 del microcontrollore portandolo a 500 ohm. Insomma, con un trasformatore da 12 Veff. la somma di R2 ed R5 deve salire a 500 ohm, valore ottenibile con una serie di un resistore da 470 ohm e di uno da 30 ohm, entrambi all'1 % di tolleranza.

Per il collegamento tra sensore e orologio, utilizzate preferibilmente del cavetto schermato a due conduttori più schermo (lo schermo va alla massa e i due conduttori interni, rispettivamente, al positivo V+ e all'uscita del loop di corrente); in questo modo potete fare un collegamento lungo anche 20÷30 metri. In alternativa utilizzate pure del comune cavetto multifilare a tre conduttori; in questo caso la lunghezza della connessione è bene non superi i 15 metri.

Prima di alimentare l'insie-

Tabella 2 - Impostazioni (JP1) di visualizzazione dell'orario.

Visualizzazione	Stato JP1
hh mm	Aperto 
hh.mm	Chiuso su R21 
hh:mm	Chiuso su R44 

me, conviene fare alcune impostazioni inerenti essenzialmente alla visualizzazione: con JP1 decidete se separare l'ora con il punto decimale, con i due punti o se non separarle affatto; nel primo caso, ad esempio, le 3 e 50 minuti saranno rappresentate come 03.50, mentre nel secondo appariranno come 03:50 e nel terzo come 03 50. La separazione con il punto si ottiene unendo il punto centrale con quello collegato ad R21 e quella con i due punti unendo il solito centrale con il contatto connesso ad R44; la terza modalità di visualizzazione si ricava lasciando aperto JP1, allorché né il decimal-point del display DY2, né i led LD1 ed LD2 saranno collegati. Con il ponticello J1 potete scegliere se avere la rappresentazione nel formato a 12 (ponticello chiuso) o 24 ore (ponticello aperto), mentre con J3 decidete se utiliz-

zare il dispositivo come semplice orologio (jumper chiuso) o alterare la visualizzazione di ora e temperatura (ponticello aperto); in quest'ultima evenienza, scegliete, tramite J2, se visualizzare la temperatura ambiente in gradi centigradi (J2 aperto) o fahrenheit (J2 chiuso).

Se montate il modulo sensore di temperatura, conviene prima tararlo; allo scopo aprite J2 per ottenere la rappresentazione in gradi Celsius, quindi procuratevi un termometro campione sufficientemente preciso e, prima di alimentare il sistema e di inserire la pila a bottone, avvicinatene il sensore all'LM335Z. Fatto ciò, premete e mantenete premuto il tasto SW4 (MIN) quindi alimentate il dispositivo; ora il display visualizzerà la temperatura letta e sarà pronto per un'eventuale taratura. Se la temperatura indicata dal display differisce



Il tempo? È prezioso!!

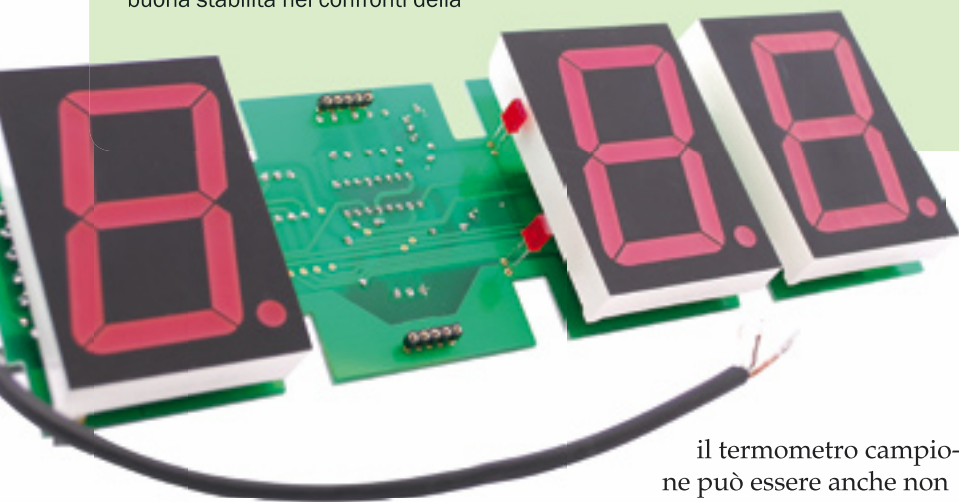
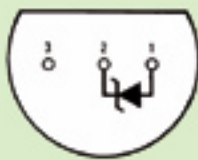
Anche se non si usa più tanto, la clessidra ha sempre avuto un certo fascino, forse perché nell'immaginario collettivo scandisce il tempo che manca o che ci resta per fare qualcosa; tantissimi scrittori hanno utilizzato la sabbia delle clessidre come una metafora del tempo che muore, o di quel che ci rimane o che sta per scadere. La clessidra è un oggetto semplice, povero, ma può diventare tutt'altro quando la sabbia che scandisce il trascorrere del tempo è polvere di diamanti: diamanti per 10.000 carati ed un valore di circa 4 milioni di euro. Ecco quanto costa la clessidra più preziosa al mondo, che per molti collezionisti resta un sogno irraggiungibile e per i più facoltosi un oggetto da contendersi.

Il riferimento di tensione

Per il circuito misuratore della temperatura abbiamo avuto bisogno di un preciso riferimento di tensione con il quale confrontare il potenziale ricavato dal sensore LM335Z; lo abbiamo trovato nella produzione National Semiconductors e, precisamente, nell'integrato LM385-2.5. Si tratta di un regolatore di tensione shunt a due terminali, in grado di mantenere ai propri capi una differenza di potenziale costante di 2,5 volt a patto che la corrente che l'attraversa sia compresa fra 20 μ A e 20 mA; è paragonabile a un diodo Zener estremamente preciso, presenta una bassa resistenza dinamica e una buona stabilità nei confronti della

temperatura. L'M385-2.5 funziona correttamente a temperature ambiente comprese tra 0 ° e 70 ° C ed è incapsulato in un contenitore plastico tipo TO-92 o SOT-23. Le sue caratteristiche tecniche sono le seguenti:

- tolleranza sulla tensione di ± 20 mV ($\pm 0,8\%$) max;
- corrente di lavoro di 20 μ A-20 mA;
- 0,6 ohm di resistenza dinamica;
- basso coefficiente di temperatura.



da quella rilevata dal termometro campione, agite sul trimmer del modulo sensore in modo da uguagliare i due valori. Notate che, dando il nostro apparato una indicazione a soli numeri interi,

il termometro campione può essere anche non molto accurato. Svolta la taratura, togliete l'alimentazione e inserite la pila a bottone, quindi ridate tensione all'insieme, che ora è pronto per funzionare. Trascorso qualche secondo, quando il display mostra l'ora corrente (che sarà 00 e 00) intervenite

su SW3 per far avanzare le ore (una pressione=avanzamento di un'unità) e su SW4 per impostare i minuti (una pressione avanza di un minuto); per comodità, magari impostate inizialmente la modalità di rappresentazione su 24 ore, così vedrete subito se le ore visualizzate sono antimeridiane o pomeridiane. Notate che ogniquale volta si modificano i minuti mediante SW4, l'orologio azzerà i secondi trascorsi; ciò non interessa la visualizzazione, dato che l'orario è nel formato ore e minuti, però è utile perché consente di far partire l'ora esattamente da dove la si è impostata. Se volete che il vostro apparecchio visualizzi esclusivamente le temperature e che funzioni quindi da semplice termometro, dovete, prima di dare l'alimentazione ed inserire la pila a bottone, cortocircuitare con un ponticello il tasto SW4.

Per ottenere la visualizzazione delle scritte OPEN e CLOS(ed) dovete agire sul tasto MODE (SW2): premendolo una prima volta, passate dalla normale visualizzazione (ore e minuti eventualmente alternati alla temperatura) ai messaggi di aperto e chiuso; per far apparire OPEN o CLOS non dovete fare altro che agire sul deviatore SW1. ■

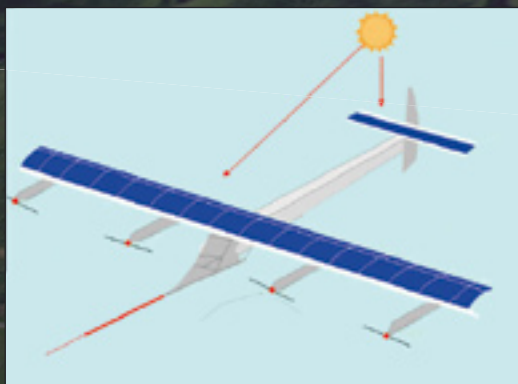
RM ELETTRONICA

Forniture per hobbisti, scuole e industria

Distributore autorizzato:

Via Val Sillaro 38 • 00141 Roma • Tel: 06-8104753

Il tuo punto di riferimento per l'elettronica a ROMA



Progetto Solar Impulse



Progetto Solar Impulse

Si chiama HB-SIA ed è stato presentato per la prima volta il 26 giugno 2009 a Dübendorf, un aeroporto militare vicino a Zurigo. E' il primo prototipo del progetto *Solare Impulse* che si propone di realizzare un aereo solare con equipaggio in grado di compiere il giro del mondo utilizzando esclusivamente l'energia del sole. Grandi ali coperte da oltre 200 metri quadri di pannelli solari e batterie ricaricabili ai polimeri di litio dovrebbero consentire all'aereo di volare giorno e notte; l'energia cattura-

ta durante le ore diurne alimenterà i motori e ricaricherà le batterie. Queste ultime potranno così fornire elettricità ai motori anche la notte consentendo al velivolo di restare in volo per un tempo indefinito, compatibilmente con le necessità del pilota. L'HB-SIA, una versione ridotta del prototipo definitivo, effettuerà i primi test in autunno tentando un volo ininterrotto di 36 ore per verificare nella pratica i calcoli teorici, specie per quanto riguarda i consumi e l'accumulo di energia. Se il tentati-

IN VOLO CON L'ENERGIA DEL SOLE

Gli sviluppi della tecnologia fotovoltaica e il miglioramento delle prestazioni delle batterie rendono possibile la costruzione di aerei alimentati dall'energia del sole in grado di restare in volo per un tempo indefinito. Anche con pilota e passeggeri a bordo.

di ARSENIO SPADONI

vo avrà esito positivo, sarà la prima volta al mondo che un aereo con pilota a bordo alimentato esclusivamente dall'energia del sole riuscirà a volare giorno e notte. Impresa non facile se si pensa che il primo aereo solare senza pilota ha stabilito questo primato solo pochi anni fa, precisamente nel 2005 (si tratta del *Solong* di Alan Cocconi). Per volare anche di notte l'aereo deve disporre di batterie di elevata capacità il cui peso rappresenta un problema non da poco, specie per un velivolo. Anche i pannelli fotovoltaici

debbono essere molto estesi per consentire, durante il volo diurno, sia la ricarica delle batterie che l'alimentazione dei motori. Se tutto procederà come da programma, una seconda versione del *Solar Impulse*, l'HB-SIB, tenterà il giro del mondo nel 2012. A capo del progetto *Solar Impulse* c'è Bertrand Piccard, figlio d'arte e non nuovo a imprese del genere. Nel 1999 Bertrand è riuscito a realizzare il sogno di Jules Verne compiendo, per la prima volta, il giro del mondo in pallone aerostatico; il padre Jacques, scomparso

di recente, si era immerso nella fossa delle Marianne col battiscaro Trieste toccando gli 11.490 metri di profondità mentre il nonno Auguste, nel 1932, conquistò il record di altezza (16.201 metri), chiuso in una sfera d'alluminio appesa ad un pallone aerostatico. Ora è la volta del giro del mondo a bordo di un aereo solare. Questa impresa, se sarà il velivolo di Bertrand a compierla, sarà soprattutto frutto dell'evoluzione tecnologica dei pannelli solari e delle batterie ricaricabili. Non sarebbe stato possibile neanche

immaginare di realizzare un aereo del genere con i pannelli fotovoltaici in silicio cristallino disponibili in passato, non tanto per l'efficienza delle celle quanto per il loro peso. Oggi, nelle applicazioni più avanzate, lo strato di materiale fotosensibile è sottilissimo (poche decine di micron) con incredibili caratteristiche meccaniche di robustezza e flessibilità e con un peso irrisorio. Lo strato sensibile di 200 metri quadri del *Solar Impulse* pesa solo poche decine di

chili. Anche per quanto riguarda le batterie, siamo passati in pochi anni da densità di energia di 30 Wh/kg delle batterie al piombo ai quasi 200Wh/kg delle batterie ai polimeri di litio. E le nuove ricerche, sempre col litio come elemento base ma che sfruttano anche le nanotecnologie, promettono di raggiungere i 300÷400 Wh/kg.

Bertrand Piccard e il suo *Solar Impulse* hanno lo scopo di battere un record prestigioso ma anche e soprattutto quello di dimostrare che se l'energia del sole è in grado di fare volare un aereo giorno e notte, può sicuramente fornire anche elettricità alle nostre case, fare viaggiare le nostre automobili, alimentare i



Sunseeker & Solong

in Svizzera. Il settore dei velivoli elettrici e solari riveste un'importanza sempre maggiore anche dal punto di vista militare; la sorveglianza dal cielo con velivoli UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*,

velivoli senza pilota) di frontiere, zone infestate dalla guerriglia e linee nemiche è molto più semplice, economica e flessibile rispetto all'impiego

dei satelliti. Non a caso in campo aeronautico il settore degli UAV è in forte espansione. E cosa c'è di meglio di un velivolo solare in grado di volare silenzioso sul territorio nemico per settimane o mesi senza rifornimento, inviando a terra immagini in alta risoluzione? Anche in campo civile velivoli di questo tipo possono essere molto utili, ad esempio, per la sorveglianza ambientale e la prevenzione antincendio. Al di là di poche iniziative di grande valore scientifico come il progetto *Solar Impulse*, l'impiego di aerei elettrici e solari è ormai alla portata di tutti. Un esempio di come sia possibile volare in libertà con un aereo solare è il *Sunseeker II* una via di mezzo tra un motoalante e aereo solare vero e proprio che, tra l'altro, proprio questa estate ha effettuato un tour lungo la nostra penisola sorvolando le Alpi, primo aereo solare a riu-

nostri computer. E come tutte le sfide dell'uomo rappresenta anche un importante stimolo per la ricerca scientifica e tecnologica in numerosi campi. I *Solar Impulse* è il risultato di un'evoluzione tecnologica iniziata decine di anni fa con piccoli aerei costruiti da veri pionieri del settore, specialmente negli Stati Uniti, in Germania e



Dirigibile "La France"



Radio Queen

Che differenza c'è tra un aeromodello e un sofisticato UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), aereo senza pilota? Praticamente nessuna. Gli UAV, utilizzati prevalentemente per la sorveglianza aerea, sono sicuramente più performanti, possono essere controllati a centinaia di chilometri di distanza, e sono in grado di volare per decine di ore. Alla fin fine, comunque, non sono altro che degli aeromodelli un tantino più sofisticati. Le versioni elettriche e solari, poi, sono ancora più simili ai modelli costruiti dagli appassionati. D'altra parte, in passato, passione e interessi industriali hanno caratterizzato la storia dell'aviazione elettrica e solare e ancora oggi la passione e lo spirito d'avventura, come dimostra Bertrand Piccard col suo *Solar Impulse*, sono alla base dei progetti più innovativi.

L'impiego di motori elettrici per la propulsione di velivoli non è nuova. Nel 1884 uno dei dirigibili più avanzati di allora, il *La France*, era mosso da un motore elettrico da 5,6 kW che garantiva una velocità di crociera di oltre 20 km/h. In quegli anni il motore elettrico aveva prestazioni nettamente superiori

Dai primi aeromodelli agli UAV, breve storia del volo solare



Sunrise I



Sunrise II

Queen, realizzato dal colonnello inglese H.J. Taplin, utilizzava un motore a magneti permanenti da 30V-8A, un ricevitore a valvole e una batteria zinco-argento.

Il primo volo ufficiale del modello, che pesava 3,6 kg ed aveva un'apertura alare di 180 cm, avvenne il 30 giugno 1957. Nell'ottobre dello stesso anno, il tedesco Fred Militky fece volare con successo un modello simile. Tre anni prima, nel 1954, nei laboratori della Bell, veniva realizzata da Daryl Chapin, Calvin Fuller, e Gerald

Pearson la prima cella fotovoltaica al silicio in grado di convertire direttamente l'energia solare in elettricità. L'evoluzione della tecnologia fotovoltaica (la prima cella aveva un rendimento del 4%) e delle batterie ricaricabili ha segnato lo sviluppo del volo elettrico e dell'utilizzo dell'energia solare come fonte d'energia. Fu l'assoluta California la fucina delle nuove idee che porta-

chilogrammi. Realizzato dalla *Astro Flight*, effettuò il primo volo il 4 novembre 1974 in località Bicycle Lake, un lago asciutto nella zona di Fort Irwin.

AstroFlight era una società con sede a Marina Del Rey che produceva radiocomandi, attuatori elettrici, motori brushless e piccoli aeromodelli; la società venne fondata nel 1969 da Bob Boucher e Roland Boucher con lo scopo di sviluppare e produrre radiocomandi di elevate prestazioni per modelli di alianti. Il loro primo aliante radiocomandato, il *Malibu*, si piazzò al terzo posto nella prima competizione a cui parteciparono, a San Josè, quello stesso anno. L'anno seguente Bob Boucher con lo stesso modello stabilì il record di percorrenza, coprendo una distanza di 302 chilometri presso Waimanalo nelle Hawaii. Nel 1971 realizzarono il primo velivolo a propulsione elettrica, un motoaliante radiocomandato *Fournier RF-4* col quale stabilirono il record mondiale di durata e distanza con un volo di oltre un'ora e un percorso di 29 miglia (47 km).

Forte dell'esperienza maturata, nel 1972 l'*AstroFlight* si aggiudicò con il colosso aeronautico *Northrop* un contratto per sviluppare un velivolo a propulsione elettrica destinato alla sorveglianza a bassa quota. I fratelli

Boucher con la collaborazione di Dave Shadel finirono la progettazione in soli sei mesi. Il risultato fu il modello 7212 con un'apertura alare di 8 piedi (2 metri circa) e tre motori elettrici *Astro 40* della stessa *AstroFlight*; nell'agosto del 1973 questo velivolo dimostrò le sue doti raggiungendo la velocità di 121 km/h, volando per ben un'ora e venti minuti e trasportando un carico di 3,4 chilogrammi. E' a questo punto che nacque l'idea dell'aereo ad energia solare. *AstroFlight* fu contattata dalla *Lockheed* (un altro colosso aeronautico USA) nell'ambito dei programmi del *DARPA* (*Defense Advanced Research Projects Agency*). Il primo prototipo, il *Sunrise I*, aveva un'apertura alare di 26 metri e pannelli solari per una potenza di picco di 450 watt; i due motori *Astro 40* consentirono al velivolo di raggiungere una quota di 20.000 piedi (oltre 6.000 metri). Nella seconda versione, il *Sunrise II*, vennero utilizzate 4.480 celle in grado di fornire una potenza massima di 600 watt all'unico motore previsto, un *Astro 40 Cobalt*. La nuova versione, che volò per la prima volta il 27 settembre 1975 a Nellis (Nevada), era in grado di raggiungere i 75.000 piedi (23.000 m) di altezza con una velocità ascensionale di 300 piedi (91m) al minuto. Nello stesso periodo, dall'altro lato dell'Atlantico,

all'unico concorrente, il motore a vapore; le cose cambiarono radicalmente con l'avvento del motore a benzina che prese il sopravvento nei decenni seguenti. Solo da poco, sia in campo aeronautico che automobilistico, il motore elettrico è stato ampiamente rivalutato. Il primo modello radiocomandato a propulsione elettrica - il *Radio*

rono alla progettazione e realizzazione di velivoli solari: il primo si chiamava *Sunrise I* e pesava poco più di 12



il tedesco Helmut Bruss aveva iniziato a lavorare ad un velivolo solare, senza sapere nulla del progetto di Boucher; Bruss non riuscì nell'intento, al contrario del suo amico Fred Miltky il cui velivolo ad energia solare, il *Solaris*, riuscì ad effettuare un volo di alcuni minuti il 16 agosto del 1976. Fu a quel punto che gli studi si indirizzarono verso due

veva operare ad una quota di 65.000 piedi. Il primo velivolo realizzato, il *Pathfinder*, pesava 254 kg, aveva un'apertura alare di 30 metri ed effettuò il primo volo a Dryden nel

1,5 kW, un'apertura alare di quasi 62 metri e pannelli solari

Vulture, DARPA

la distruzione del prototipo nel 2003. L'ultima versione dell'*Helios*

pesava oltre una tonnellata ed utilizzava moderne batterie ai polimeri di litio per accumulare l'energia elettrica generata dai pannelli solari. Recentemente, nell'ambito dei programmi del DARPA, la NASA ha dato il via al progetto *Vulture* che si propone la realizzazione di un velivolo solare in grado di rimanere in volo per almeno cinque anni ad una quota di 65.000 piedi.

In Europa gli studi per la realizzazione di un velivolo solare con grande autonomia ed in grado di volare ad alta quota (*HALE*) sono stati al centro delle sperimentazioni del *DLR Institute of Flight Systems* che tra gli anni 1994 e 1998 condusse veri test con un prototipo, denominato *Solitaire*, in grado di volare unicamente con l'energia del sole. Anche in questo caso, tuttavia, la tecnologia di allora non permise al velivolo di volare durante le ore notturne. Altri programmi europei quali *Heliplant* e *Shampo* (ai quali parteciparono anche alcune Università Italiane) ebbero scarsi risultati.

Il primo velivolo solare al

differenti obiettivi: da un lato il tentativo di realizzare un velivolo solare in grado di trasportare una o più persone sfruttando esclusivamente l'energia del sole; dall'altro la realizzazione di un velivolo capace di restare in volo per un tempo indefinito, utilizzando per il volo notturno l'energia accumulata di giorno in apposite batterie. Per i suoi possibili risvolti di natura militare, quest'ultimo campo di ricerca ricevette numerosi finanziamenti da vari enti governativi americani e vide la realizzazione, nel corso dei decenni successivi, di velivoli di vario genere. Dopo il successo del *Solar Challenger* (il primo vero aereo ad energia solare con pilota), alla *AeroVironment Inc.* venne affidato lo studio di fattibilità di un *HALSOL* (*High ALTitude SOLar*), un velivolo elettrico alimentato da pannelli solari che do-

1993. In seguito queste ricerche divennero parte del programma *ERAST* (*Environmental Research Aircraft Sensor Technology*) della NASA. Negli anni seguenti, l'evoluzione del primo prototipo, il *Pathfinder Plus*, raggiunse l'altezza record di 24.445 metri (80.201 piedi); questo velivolo aveva un'apertura alare di quasi 37 metri, utilizzava 8 motori ed i pannelli solari erano in grado di fornire una potenza di picco di 12.500 watt con un rendimento del 19%. La terza serie di questo genere di velivoli, rappresentata dal prototipo *Centurion*, effettuò una serie di test nel 1998-1999 raggiungendo una quota di 80.000 piedi (24.400 metri). Il *Centurion* aveva un peso massimo al decollo di 819 kg, un carico utile di 45 + 270 kg, 14 motori da

con una potenza di picco di 31 kW. Una set di batterie al litio era in grado di fare volare il velivolo per un paio di ore dopo il tramonto ma l'energia accumulata risultava insufficiente per l'intera notte. L'ultimo prototipo di questa serie di velivoli fu l'*Helios*, pensato per raggiungere due obiettivi: una quota di almeno 100.000 piedi e la possibilità di volare giorno e notte per almeno 24 ore. Il primo obiettivo - di fatto - venne centrato, dal momento che il velivolo raggiunse una quota di 29.524 metri (96.863 piedi); il secondo, invece, non venne mai raggiunto, anche a causa di un incidente che provocò la caduta e



Solong

scire nell'impresa. Progettato da Eric Raymond della Solar Flight, un pioniere in questo campo, il *Sunseeker II* ha una lunghezza di 7 metri, un'apertura alare di 17 e un peso al decollo di 230 kg. L'intera superficie delle ali è ricoperta da celle solari in silicio amorfo in grado di fornire una potenza di picco di 1800 watt,

energia che viene utilizzata per ricaricare le batterie ai polimeri di litio che pesano 15,8 kg e che possono immagazzinare un'energia di 2 kWh circa. L'aereo è in grado di decollare da solo grazie al motore brushless da 8 CV e di raggiungere l'altezza di crociera di 3.000 metri. Una volta in quota, è sufficiente l'energia dei pannel-

li solari per alimentare il motore elettrico e consentire una velocità di 65 km/h; durante il volo planato, col motore spento, le batterie vengono ricaricate, pronte, nel caso, a riportare in quota l'aereo. Durante il decollo le batterie sono in grado di fornire energia per circa 15 minuti (tempo più che sufficiente per raggiungere la



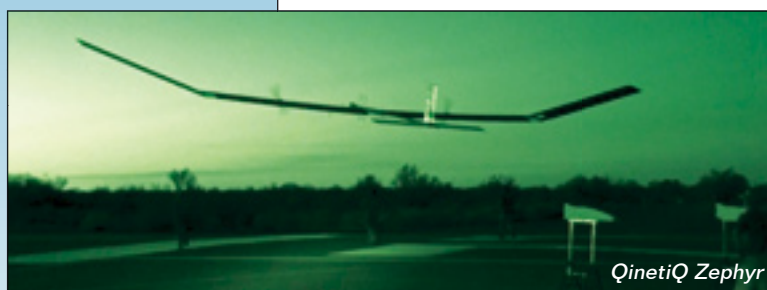
mondo che riuscì a restare in volo per più di 24 ore fu il *Solong* progettato da Alan Cocconi, presidente e fondatore di *AcPropulsion*: il 22 aprile 2005 il prototipo restò in volo per 24 ore e 11 minuti. L'aereo, del peso di 11,5 kg e con un'apertura alare di 4,75 metri, il 3 giugno dello stesso anno migliorò ulteriormente il proprio record volando sul deserto della California per 48 ore e 16 minuti. In questi ultimi anni, grazie anche al miglioramento delle prestazioni di pannelli fotovoltaici e batterie, sono stati numerosi i prototipi di aerei solari che sono riusciti a volare per più di 24 ore. La fase pionieristica è probabilmente finita e i primi UAV elettrici e solari di tipo commerciale per impieghi specifici (in questa fase prevalentemente di tipo militare) stanno per essere introdotti sul mercato. Un esempio è il mini UAV *Orbiter* dell'israeliana *Aeronautics* (www.aeronautics-sys.com) o il *Silent Sentinel* della *Bye Aerospace* (www.byeaerospace.com). Uno dei velivoli

solari con le più alte potenzialità è lo *Zephyr* della britannica *QinetiQ* che detiene il record di volo con 54 ore anche se, non ufficialmente, ha volato nel giugno 2008 per ben 82 ore. Questo UAV pesa 30 chili, ha un'apertura alare di 18 metri, utilizza batterie al solfuro di litio ed è in grado di trasportare un carico utile di circa 2 kg, più che sufficiente per applicazioni di sorveglianza. La *QinetiQ* prevede di fare volare a breve lo *Zephyr* per almeno un mese, giorno e notte, senza scalo e senza alcun tipo di rifornimento. Velivoli di questo genere possono essere molto utili in campo civile, nella prevenzione degli incendi boschivi, nel monitoraggio dell'inquinamento costiero e nella mappatura urbana. Più vicino a noi, l'ESA (Agenzia Spaziale Europea) sta finanziando il progetto *Sky-Sailor* dell'Istituto Svizzero di Tecnologia di Losanna (EPFL) che ha l'obiettivo di sviluppare un velivolo solare destinato all'esplorazione

di Marte. Un velivolo di questo tipo potrebbe esplorare una superficie molto più ampia rispetto a quanto potrebbero fare i rover al suolo; al momento è stato realizzato un prototipo in scala ridotta del peso di 2,4 kg e con un'apertura alare di 3,2



metri che ha volato per oltre 27 ore. Ma il progetto più affascinante e tecnologicamente più interessante resta sempre quello del *Solar Impulse* che dovrebbe riportare la ricerca nel campo dei velivoli solari verso un unico obiettivo: quello di riuscire a fare volare un aereo solare con equipaggio per un tempo indefinito, senza bisogno di rifornirsi di carburante, spinto unicamente dall'energia del sole.



QinetiQ Zephyr

di energia ha anche reso possibile la costruzione di veri e propri aerei elettrici, in grado di decollare, volare e atterrare in piena autonomia. I vantaggi sono gli stessi delle autovetture elettriche: minori consumi, nessuna emissione inquinante, silenziosità e ridotta manutenzione del propulsore. E, come per le auto, anche per gli aerei si sta sperimentando la possibilità di alimentare il motore elettrico con fuel-cell a idrogeno; questa soluzione consentirebbe di ridurre il peso

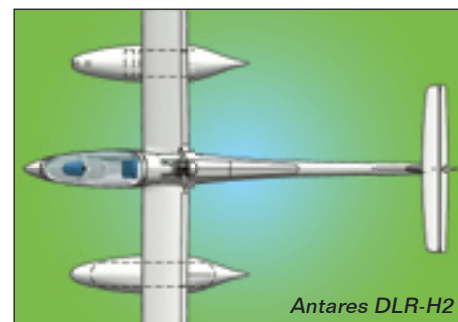
del "serbatoio d'energia" garantendo percorrenze considerevoli. Tra i progetti più interessanti in questo campo va segnalato quello italiano denominato *SkySpark* che prevede la realizzazione di un velivolo elettrico compatto e ultra leggero, alimentato con celle a combustibile a idrogeno. La prima versione di questo aereo, basata su un *Pioneer 300* opportunamente



Antares DLR-H2

quota di crociera) mentre necessitano di circa un'ora per ricaricarsi completamente mediante i pannelli fotovoltaici del velivolo. Sul sito della Solar Flight (www.solar-flight.com) è riportato un bellissimo servizio fotografico del tour europeo e italiano di quest'estate. Velivoli ultraleggeri (alianti e deltaplani a motore) uti-

lizzano sempre più spesso motori elettrici per poter decollare in assoluta autonomia. In questi casi non vengono utilizzati pannelli solari ma piccole batterie ricaricabili che consentono al velivolo, in pochi minuti, di raggiungere la quota necessaria per poi iniziare a veleggiare. La disponibilità di batterie con una elevata densità



Antares DLR-H2

modificato e dotato di batterie ai polimeri di litio, ha recentemente stabilito il record mondiale di velocità per velivoli elettrici volando a più di 250 km/h con ai comandi Maurizio Cheli, uno dei promotori del progetto. Uno dei primi velivoli con fuel-cell a idrogeno è stato l'*Fcda (Fuel Cell De-*

monstrator Airplane) del centro ricerche della Boeing di Madrid; questo velivolo, basato su un motoaliante biposto *Dimona*, è in grado di decollare con l'ausilio di batterie ricaricabili e fuel-cell per poi proseguire il volo esclusivamente con l'energia delle celle a combustibile. Il primo aereo con

fuel-cell all'idrogeno in grado di decollare e volare esclusivamente con l'energia di questa sorgente è l'*Antares DLR-H2* del *German Aerospace Center (DLR)* che ha volato per la prima volta il 7 giugno di quest'anno. Aerei a propulsione elettrica hanno fatto la loro apparizione

Da Icaro al Solar Impulse

Fin dagli albori della civiltà, l'uomo è sempre stato affascinato dal volo: la possibilità di librarsi in aria e muoversi in libertà nel cielo ha ispirato poeti, filosofi e scrittori. Ma anche scienziati e semplici appassionati che da sempre hanno cercato il sistema di vincere la forza di gravità, da Icaro fino a Leonardo da Vinci e ai Fratelli Wright che effettuarono il primo volo con un mezzo più pesante dell'aria il 17 dicembre 1903. Da allora, la possibilità di spostarsi da un luogo all'altro utilizzando un mezzo in grado di volare è diventata una realtà per tutti noi. Oggi voliamo da un continente all'altro con aerei ultraveloci e comodi, siamo in grado di posarci sull'acqua con gli idrovolanti oppure di restare fermi a mezz'aria con gli elicotteri. Discorso chiuso, dunque? Non proprio. Tutti questi mezzi hanno bisogno per volare di una scorta di carburante che, prima o poi, finisce e che - oltretutto - al momento del decollo rappresenta una parte importante del peso del velivolo. Un aereo, dunque, non può viaggiare per un tempo indefinito: i jet commerciali, ad esempio, hanno un'autonomia massima di 15-16 ore. Non solo. Gli aerei consumano combustibili fossili e sono responsabili delle emissioni globali di CO₂ per circa il 3%; anche in questo settore si incomincia a sentire l'urgenza di ridurre drasticamente le emissioni inquinanti. Senza considerare il fatto che le riserve di combustibili fossili prima o poi finiranno. Perché dunque

non utilizzare l'energia del sole per fare viaggiare i velivoli? Oltretutto, immagazzinando durante il giorno l'energia in apposite batterie sarebbe possibile volare anche di notte e quindi rimanere in volo un tempo indefinito, spostandoci da un luogo ad un altro della Terra senza consumare una goccia di carburante. Come abbiamo visto nelle pagine precedenti, il sogno di fare volare un velivolo solare senza equipaggio per più giorni è più notti si è già realizzato: sono numerosi gli aerei *unmanned*, come si dice, in grado di volare per più di 24 ore, anche se questo traguardo è stato raggiunto solo di recente dal *Solong* di Alan

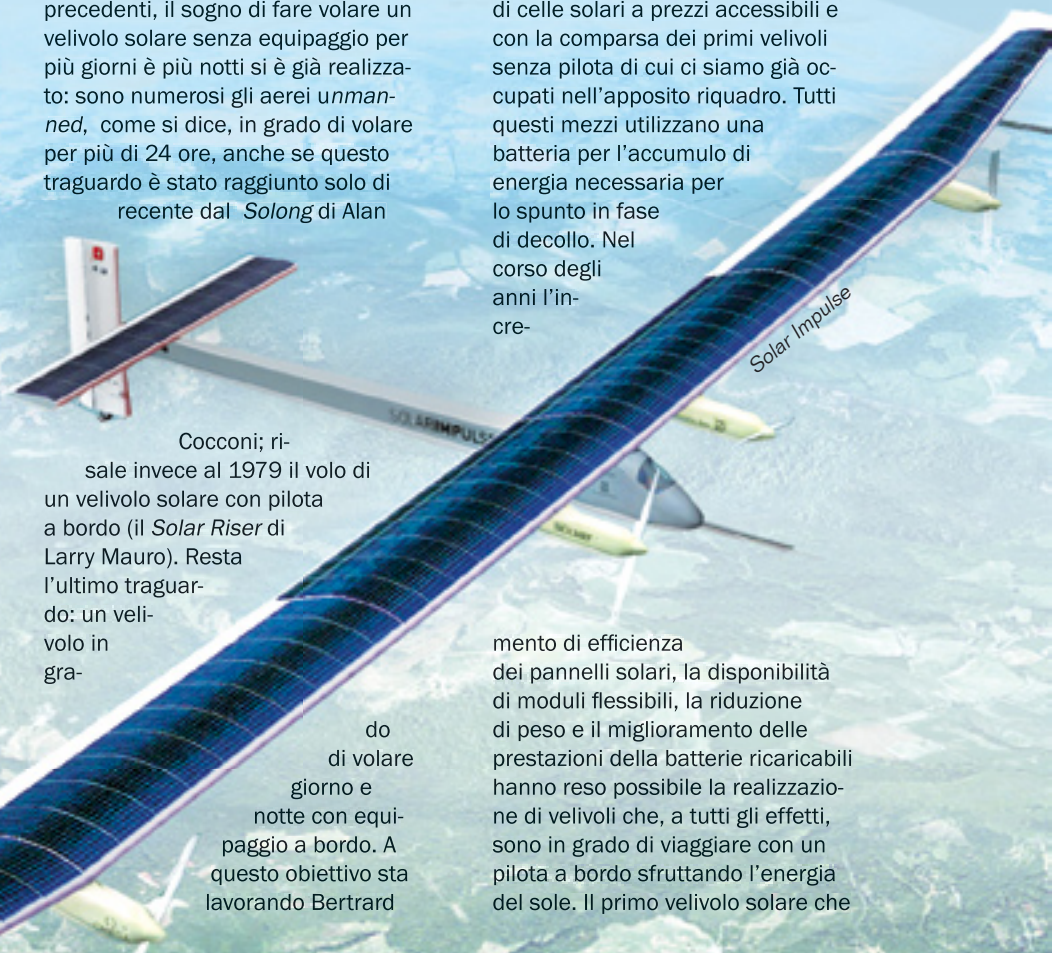
Cocconi; risalendo invece al 1979 il volo di un velivolo solare con pilota a bordo (il *Solar Riser* di Larry Mauro). Resta l'ultimo traguardo: un velivolo in gra-

do di volare giorno e notte con equipaggio a bordo. A questo obiettivo sta lavorando Bertrand

Piccard con suo *Solar Impulse* il cui prototipo è stato presentato di recente e che questo autunno effettuerà i primi voli di collaudo. Se tutto andrà per il verso giusto, nel 2012 il *Solar Impulse* effettuerà il giro del mondo con un pilota a bordo.

La storia dei velivoli solari inizia negli anni '70 con la disponibilità di celle solari a prezzi accessibili e con la comparsa dei primi velivoli senza pilota di cui ci siamo già occupati nell'apposito riquadro. Tutti questi mezzi utilizzano una batteria per l'accumulo di energia necessaria per lo spunto in fase di decollo. Nel corso degli anni l'in-

mento di efficienza dei pannelli solari, la disponibilità di moduli flessibili, la riduzione di peso e il miglioramento delle prestazioni delle batterie ricaricabili hanno reso possibile la realizzazione di velivoli che, a tutti gli effetti, sono in grado di viaggiare con un pilota a bordo sfruttando l'energia del sole. Il primo velivolo solare che



solo da poco, grazie soprattutto alle migliorate prestazioni degli accumulatori che, nel caso dei polimeri di litio, hanno raggiunto una densità di energia di 200 Wh/kg e un rapporto di 2.500W/kg per quanto riguarda la potenza/peso. L'unico modello attualmente disponibile in

commercio è il biposto Yuneec E430 che ha un peso massimo di 430 kg (178 kg aereo, 72 kg batterie e 180 piloti), monta un motore brushless da 40 kW, sfruttato al massimo della potenza in fase di decollo, mentre in volo, ad una velocità di 120 km/h, il consumo è di appena 6 kW. Con una den-

sità di energia delle batterie di 160 Wh/kg, i 72 chilogrammi di batterie ai polimeri di litio hanno una capacità di circa 11,5 kWh, energia che consente voli di 1,5÷2 ore. Il pacco batterie deve essere sostituito dopo 1.000÷1.200 ore di volo, con un costo di circa 20.000 dollari; a prima vista la cifra può

riuscì ad alzarsi in volo con pilota a bordo fu il *Solar Riser* di Lerry Mauro che effettuò il primo storico volo il 29 aprile 1979 sulla pista dell'aeroporto di Flabob River in California. Il velivolo era un'elaborazione del deltaplano a motore *Easy Riser* con pannelli solari per complessivi 350W che ricaricavano una batteria al nichel-cadmio prelevata da un elicottero *Hughes 500*. La batteria assicurava un funzionamento di 10 minuti del piccolo motore da 3 CV utilizzato come propulsore. Il velivolo riuscì ad effettuare un volo lineare di circa 800 metri ad un'altezza variabile tra 1,5 e 5 metri. Il propulsore era in grado di portare in quota il velivolo che poi poteva continuare veleggiando; all'occorrenza, se nel frattempo la batteria si era ricaricata a sufficienza, era possibile riaccendere il motore. Il *Solair Riser* è attualmente esposto presso l'*AirVenture Museum* di Oshkosh nel Wisconsin.

Ma il primo velivolo solare in grado di manovrare come un vero aeroplano fu il *Solar Challenger*, una versione ad ala alta, progettato dall'ingegnere Paul MacCready della *AeroVironment*. Il *Solar Challenger* utilizzava 16.128 celle solari applicate sulle ali e sullo stabilizzatore di coda

che alimentavano i due motori elettrici da 2,2 kW ciascuno. Il *Solar Challenger* venne sviluppato sulla base di un progetto esistente, il *Gossamer Penguin*, la versione solare di un altro velivolo sperimentale a propulsione muscolare, tramite pedali, il *Gossamer Albatross*. Ancora una volta i motori e altre parti significative dell'aereo vennero forniti dalla *AstroFlight* di Robert Boucher.

Il 7 luglio 1981, ai comandi di Stephen Ptacek, il *Solar Challenger* attraversa la Manica con un volo di ben 262 km da Parigi alla base RAF di Manston, nel Kent, in Inghilterra. Il volo venne effettuato alimentando direttamente i motori con l'energia fornita dai pannelli solari, senza l'ausilio di batterie di back-up che non vennero neppure montate rendendo più leggero il velivolo. Negli anni seguenti anche il vecchio continente viene contagiato dalla passione per il volo solare. Günter Rochelt realizza il *Solair I* ricoprendo le ali di un *Canard 2FL* con 2.500 celle solari da 1800 watt complessivi che ricaricano un pacco batterie al Ni-Cd; il velivolo utilizza un motore con una potenza di appena 2,2 kW. Nel 1998 compie il primo volo la versione migliorata *Solair II*. A metà degli anni '90 la città di ULM, in Germania, organiz-

za un concorso in onore di Albrecht Berblinger, un pioniere delle macchine volanti: i velivoli debbono raggiungere la quota di 450 metri (anche con l'ausilio delle batterie) per poi proseguire in volo verticale sfruttando solamente l'energia del sole. Il premio viene vinto da *Icare 2*, un velivolo con apertura alare di 25 metri e 26 mq di pannelli solari progettato e realizzato dal Prof. Voit-Nitschmann dell'Università di Stoccarda. L'aereo, del peso complessivo di 270 kg, utilizzava un motore con potenza massima di 14 kW che, una volta in quota, assorbiva appena 1,8 kW per mantenere l'aereo in volo.

Nel 1990, l'americano Eric Raymond realizza la prima versione del *Sunseeker*, un motoalante con celle di silicio amorfo. Nel 2008, la versione aggiornata, il *Sunseeker II*, compie il primo tour europeo e nella primavera di quest'anno effettua un tour anche in Italia, attraversando da nord a sud l'intero stivale. Una bellissima sequenza fotografica di questo viaggio è visibile sul sito della *SolarFlight* (www.solarflight.com). A questo punto, però, tutta l'attenzione è rivolta al progetto di Bertrand Piccard, il *Solar Impulse*,

La realizzazione di aerei ad energia solare è stata resa possibile dalla disponibilità di nuovi pannelli fotovoltaici di peso ridotto e di batterie di elevata capacità.



Solar Riser



Gossamer Penguin



Solar Challenger



Solair II

il cui scopo è quello di riuscire a volare giorno e notte con equipaggio a bordo sfruttando unicamente l'energia del sole. L'obiettivo è quello di riuscire ad effettuare il giro del mondo entro il 2012. Bertrand Piccard e la sua famiglia non sono nuovi alle grandi sfide umane e tecnologiche. Nel 1999 Bertrand è riuscito a realizzare il sogno di Jules Verne completando, per primo, il giro del mondo in pallone aerostatico; il padre Jacques, scomparso di recente, si era immerso nella fossa delle Marianne toccando gli 11.490 metri di profondità mentre il nonno Auguste nel 1932 conquistò il record di altezza (16.201 metri) chiuso in una sfera d'alluminio appesa ad un pallone. Ora è la volta dell'aereo solare. Il programma prevede la realizzazione di un primo prototipo a scala ridotta (si fa per dire) con un'apertura alare di 61 metri, un peso di 1600 kg ed una cabina non pressurizzata. Questo prototipo, l'HB-SIA, è stato presentato pochi mesi fa all'aeroporto Dübendorf di Zurigo. Successivamente, sulla



Solair I

base anche dei risultati dei test su questo prototipo, verrà realizzata la versione definitiva, l'HB-SIB con un'apertura alare di 80 metri, una cabina pressurizzata e probabilmente il posto per due piloti. La versione attuale impiega 11.628 sottilissime celle (appena 150 micron) di silicio monocristallino che coprono una superficie di circa 200 metri quadri. Considerando un'irraggiamento medio (tra il giorno e la notte) di 250 W/m² ed un'efficienza dei pannelli del 12%, l'energia elettrica prodotta ogni 24 ore dovrebbe aggirarsi sui 144 kWh. Il consumo complessivo dei motori in volo non dovrebbe invece superare i 100 kWh giornalieri (si tratta

di 4 motori
da 6
kW



In alto,
la presentazione
del primo
prototipo,
l'HB-SIA,
del progetto
Solar Impulse
all'aeroporto
Dübendorf di
Zurigo.



Icare II

l'uno). Il vero problema sono le batterie. Con la tecnologia attuale (vengono utilizzate batterie ai polimeri di litio) non si va oltre i 220Wh/kg e sono necessari almeno 400 chilogrammi di batterie per immagazzinare l'energia minima necessaria per il volo notturno. E' su questo aspetto che si gioca il successo del progetto ed anche la possibilità, nel prototipo finale, di preve-

dere lo spazio per un secondo pilota. I primi voli di test verranno effettuati nei prossimi mesi ed entro il 2010 verrà tentato un volo di almeno 36 ore sui cieli della Svizzera. Il raggiungimento di questo primo obiettivo sarebbe già un grande successo, di buon auspicio per il successivo giro del mondo.



sembrare molto alta, ma essendo il costo del carburante (l'energia elettrica) per ora di volo molto basso, circa 3 dollari/ora, il costo complessivo (ricarica più sostituzione del pacco batterie) di un'ora di volo non supera i 25÷30 dollari, sicuramente inferiore al costo di un equivalente aereo con motore a pistoni, anche in considerazione della manutenzione richiesta da questo tipo di aerei. Se le preme-

se sono queste, e tenendo conto che il prezzo dello Yuneec è di 89.000 dollari, è prevedibile un futuro decisamente roseo per gli aerei elettrici, specie per quelli da turismo. Oltre alla Yuneec, altre società stanno sperimentando velivoli elettrici alimentati con batterie ai polimeri di litio, dalla

Sonex (www.sonexaircraft.com) col suo *E-flight* alla Electric Aircraft Corporation (www.electraflyer.com) col suo *ElectraFlyer-C*. In Europa segnaliamo l'Electravia (www.electravia.fr) e l'associazione francese APAME (www.apame.eu): quest'ultima ha realizzato un aereo a propulsione elettrica (l'*Electra*) che, per primo,

Anche il dirigibile viaggia col sole

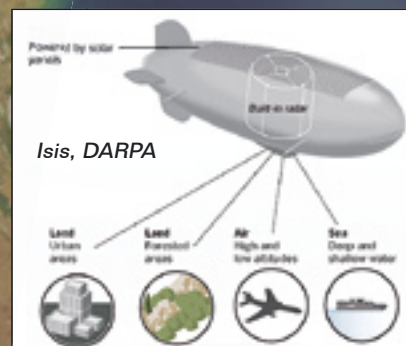
è riuscito a valicare le Alpi il 23 dicembre dell'anno scorso. La disponibilità di pannelli fotovoltaici efficienti e molto leggeri ha anche portato alla riscoperta di altri mezzi volanti: i dirigibili. Se trovare spazio per i pannelli sulle ali di un aereo può risultare problematico, rivestire la più ampia superficie di un dirigibile può invece essere molto più semplice. Anche perché, ormai, i pannelli solari sono leggerissimi, flessibili e si adattano a qualsiasi superficie. L'energia elettrica ricavata dal sole potrebbe consentire al dirigibile di restare in volo per mesi o anni, alimentando i motori per mantenere in assetto l'aerostato nonché tutte le apparecchiature di bordo (sensori, radar, ponti radio, ecc.). La tecnologia per realizzare tutto ciò è già matura e più che disponibile. Ma non solo. I costi di costruzione e di esercizio dei dirigibili solari da destinare, ad esempio, alla sorveglianza dall'alto di mari, coste e foreste per gli scopi più diversi sono dieci volte inferiori rispetto agli attuali sistemi di sorveglianza dal cielo (aerei e satelliti). La cosa, ovviamente, non è sfuggita ai principali costruttori aeronautici che hanno messo in cantiere numerosi progetti in questo campo. Ma anche a livello amatoriale, come vedremo tra poco, c'è molto fermento. Per prima s'è mossa la Lockheed Martin col suo progetto di dirigibile ad alta quota (HAA) da posizionare sopra

la fascia del jet stream (correnti d'alta quota attorno ai 30.000 piedi) in una posizione praticamente geostazionaria in modo da costituire una piattaforma di sorveglianza, telecomunicazioni e osservazione. Ad una quota di 60.000 piedi un HAA potrebbe sorvegliare un'area con un diametro di 600 miglia (pari all'intera Italia del Nord o all'area tra la Sicilia ed il Nord Africa). E' stata questa la base di partenza per il nuovo programma ISIS annunciato recentemente dal DARPA. Anche SolarFlight ha annunciato il suo dirigibile solare: il *Sunship* che dovrebbe effettuare il giro del mondo con equipaggio e mosso solo dall'energia solare. L'ultimo annuncio riguarda il *Nephelis*, il dirigibile francese frutto del programma Project Sol'R che si appresta ad effettuare la prima trasvolata della Manica. Il dirigibile è lungo 22 metri, largo 5,5 e monta pannelli solari in tecnologia CIGS da 2,4 kW.



Project Sol'R

la fascia del jet stream (correnti d'alta quota attorno ai 30.000 piedi) in una posizione praticamente geostazionaria in modo da costituire una piattaforma di sorveglianza, telecomunicazioni e osservazione. Ad una quota di 60.000 piedi un HAA potrebbe sorvegliare un'area con un diametro di 600 miglia (pari all'intera Italia del Nord o all'area tra la Sicilia ed il Nord Africa). E' stata questa la base di partenza per il nuovo programma ISIS annunciato recentemente dal DARPA. Anche SolarFlight ha annunciato il suo dirigibile solare: il *Sunship* che dovrebbe effettuare il giro del mondo con equipaggio e mosso solo dall'energia solare. L'ultimo annuncio riguarda il *Nephelis*, il dirigibile francese frutto del programma Project Sol'R che si appresta ad effettuare la prima trasvolata della Manica. Il dirigibile è lungo 22 metri, largo 5,5 e monta pannelli solari in tecnologia CIGS da 2,4 kW.



Solarship

È italiano l'aereo elettrico più veloce al mondo

Esattamente come per le automobili, anche in campo aeronautico la disponibilità di batterie con un rapporto capacità/peso sempre migliore, ha reso possibile la realizzazione di aerei a propulsione elettrica con pilota a bordo. Anche i vantaggi sono gli stessi: minori consumi, emissioni nocive nulle, silenziosità e ridotta manutenzione del propulsore. E, come per le auto, anche per gli aerei si sta sperimentando la possibilità di alimentare il motore elettrico con fuel-cell a idrogeno; questa soluzione consentirebbe di ridurre il peso del "serbatoio d'energia" garantendo percorrenze considerevoli. Le ricerche nel campo dei velivoli elettrici hanno già portato ad applicazioni commerciali: ha destato grande interesse l'arrivo all'AirVenture 2009 di Oshkosh (Wisconsin USA) dell'aereo cinese Yuneec E430, il primo vero velivolo elettrico biposto la cui

commercializzazione incomincerà il prossimo anno. Sono molti anni che questo settore è oggetto di studio e ricerche in tutto il mondo ma solo recentemente si sono viste le prime applicazioni pratiche di velivoli in grado di trasportare almeno il pilota. Anche in questo campo tutto è iniziato con i modelli radiocomandati (la stessa Yuneec è uno dei più importanti produttori al mondo di radiocomandi e radiomodelli); del *Radio Queen* del colonnello H.J. Taplin che volò per la prima volta nel 1957 abbiamo già detto anche se in un numero del 1909 della rivista *Model Engineer* si parla di un modello a propulsione elettrica (di cui viene riportato il disegno) che avrebbe volato per circa 8 minuti. Il colonnello Taplin, per evitare contestazioni al suo primato, offrì 100 sterline di allora a chiunque fosse riuscito a realizzare e fare volare il modello del 1909 riportato nella rivista. Negli

anni seguenti l'evoluzione degli aerei elettrici seguì in parte quella dei velivoli solari e solo di recente le due tecnologie hanno imboccato strade differenti. Da un lato, il tentativo di realizzare aerei sperimentali molto sofisticati o alianti in grado di volare esclusivamente con l'energia del sole; dall'altro la realizzazione di veri e propri aerei in grado di decollare, atterrare e viaggiare come un tradizionale aereo a pistoncini. I primi velivoli con pilota a bordo che utilizzavano la propulsione elettrica furono i motoalianti e i deltaplani a motore: in entrambi i casi il sistema propulsivo aveva una potenza limitata e un'autonomia di pochi minuti, sufficienti tuttavia a fare decollare il mezzo che poi proseguiva il volo sfruttando le correnti ascensionali. Veri aerei elettrici hanno fatto la loro comparsa solo di recente, grazie soprattutto alle migliorate prestazioni degli accumulatori che, nel caso degli ioni al litio e dei polimeri al litio hanno raggiunto valori di circa 200 Wh/kg per quanto riguarda il rapporto energia/peso e di 2.500W/kg nel rapporto potenza/peso. Un aereo come lo Yuneec E430 che ha un peso di 430 kg (178 kg aereo, 72 kg batterie e 180 piloti), necessita di una potenza al decollo di circa 40 kW mentre in volo, ad una velocità di 120 km/h, il motore richiede

appena 6 kW. I conti sono presto fatti: con un rapporto di 160 Wh/kg, i 72 chilogrammi di batterie ai polimeri di litio hanno una capacità di circa 11,5 kWh che consentono voli di 1,5-2 ore; l'energia che tali batterie è in grado di offrire al decollo supera abbondantemente i 40 kW necessari. Sempre a proposito di questo aereo, il costruttore dichiara che il pacco batterie deve essere sostituito dopo 1.000÷1.200 ore di volo, con un costo di circa 20.000 dollari. La cifra è sicuramente molto elevata ma il costo del carburante per ora di volo è a dir poco ridicolo (circa 3 dollari/ora), ed anche considerando il costo complessivo (ricarica più sostituzione del pacco batterie) non si superano i 25÷30 dollari per ora di volo, costo molto più basso di quello di un equivalente aereo con motore a pistoncini. Se le premesse sono queste, e tenendo conto che lo Yuneec verrà venduto a 89.000 dollari, è prevedibile un futuro decisamente roseo per gli aerei elettrici, specie per quelli da turismo. Oltre alla Yuneec, altre società stanno sperimentando velivoli elettrici alimentati da batterie ai polimeri di litio, dalla Sonex (www.sonexaircraft.com) col suo *E-flight* alla Electric Aircraft Corporation (www.electraflyer.com) col suo *ElectraFlyer-C*. In Europa segnaliamo l'Electravia



Yuneec E430

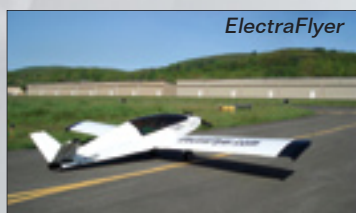


Il prototipo elettrico del progetto italiano SkySpark ha stabilito recentemente il record di velocità per velivoli elettrici volando a 250km/h.



SkySPARK

(www.electravia.fr) e l'associazione francese APAME (www.apame.eu) che ha realizzato un aereo a propulsione elettrica (l'*Electra*) che, per primo, è riuscito a valicare le Alpi il 23 dicembre dell'anno scorso. Molto fermento c'è anche tra gli aerei elettrici con alimentazione a fuel-cell; tra i progetti più interessanti quello italiano denominato *SkySpark* che prevede la realizzazione di un velivolo elettrico compatto e ultra leggero, alimentato con celle a combustibile a idrogeno. La prima versione di questo aereo, basata su un *Pioneer 300* opportunamente modificato e dotato di batterie ai polimeri di litio, ha recentemente stabilito il record mondiale di velocità per velivoli elettrici volando a più di 250 km/h con ai comandi Maurizio Cheli, uno dei promotori del progetto. Antesignana di questo genere di velivoli è la Boeing il cui centro ricerche *Boeing Research & Technology Europe* di Madrid ha realizzato un dimostratore denominato *Fcda* (*Fuel Cell Demonstrator Airplane*) basato su un motoalante biposto *Dimona* in grado di decollare con l'ausilio di batterie ricaricabili e fuel-cell per poi proseguire il volo esclusivamente con l'energia delle celle a combustibile. In ogni caso il primo aereo con fuel-cell all'idrogeno in grado di decollare e volare esclusivamente con l'energia di questa sorgente è l'*Antares DLR-H2* del *German Aerospace Center (DLR)* che ha spiccato il volo per la prima volta il 7 giugno di quest'anno.



ElectraFlyer



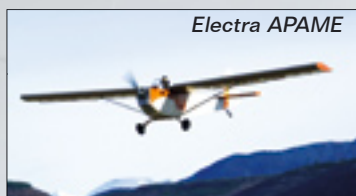
Antares 20E



E-Flight Sonex



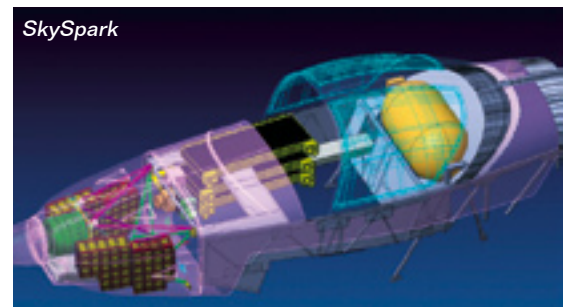
Georgia Tech



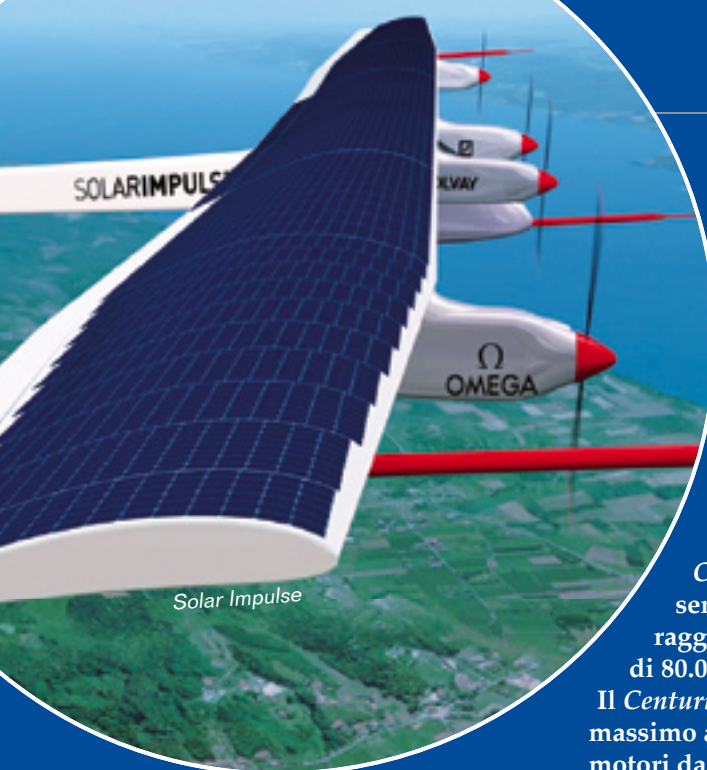
Electra APAME

realizzare una

piattaforma di sorveglianza, telecomunicazioni e osservazione. Ad una quota di 60.000 piedi un HAA potrebbe sorvegliare un'area con un diametro di 600 miglia (pari all'intera Italia del Nord o all'area tra la Sicilia ed il Nord Africa). E' stata questa la base di partenza per il nuovo programma ISIS annunciato recentemente dal DARPA. Anche SolarFlight, la società del *Sunseeker II*, ha annunciato il suo dirigibile solare: il *Sunship* il cui obiettivo è quello di effettuare - mosso solo dall'energia del sole - il giro del mondo con equipaggio. L'ultimo progetto riguarda il *Nephelis*, il dirigibile francese frutto del programma Project Sol'R che si appresta ad effettuare la prima trasvolata della Manica. Il dirigibile è lungo 22 metri, largo 5,5 e monta pannelli solari in tecnologia CIGS da 2,4 kW. Sia per i dirigibili che per gli aerei solari, uno dei principali campi di applicazione sarà quello della sorveglianza dall'alto, sia per scopi civili che militari. Velivoli del genere, senza equipaggio, potrebbero restare in volo per mesi e mesi, con costi di realizzazione e esercizio molto bassi. In questo settore il principale ente di ricerca americano, la NASA,



SkySpark

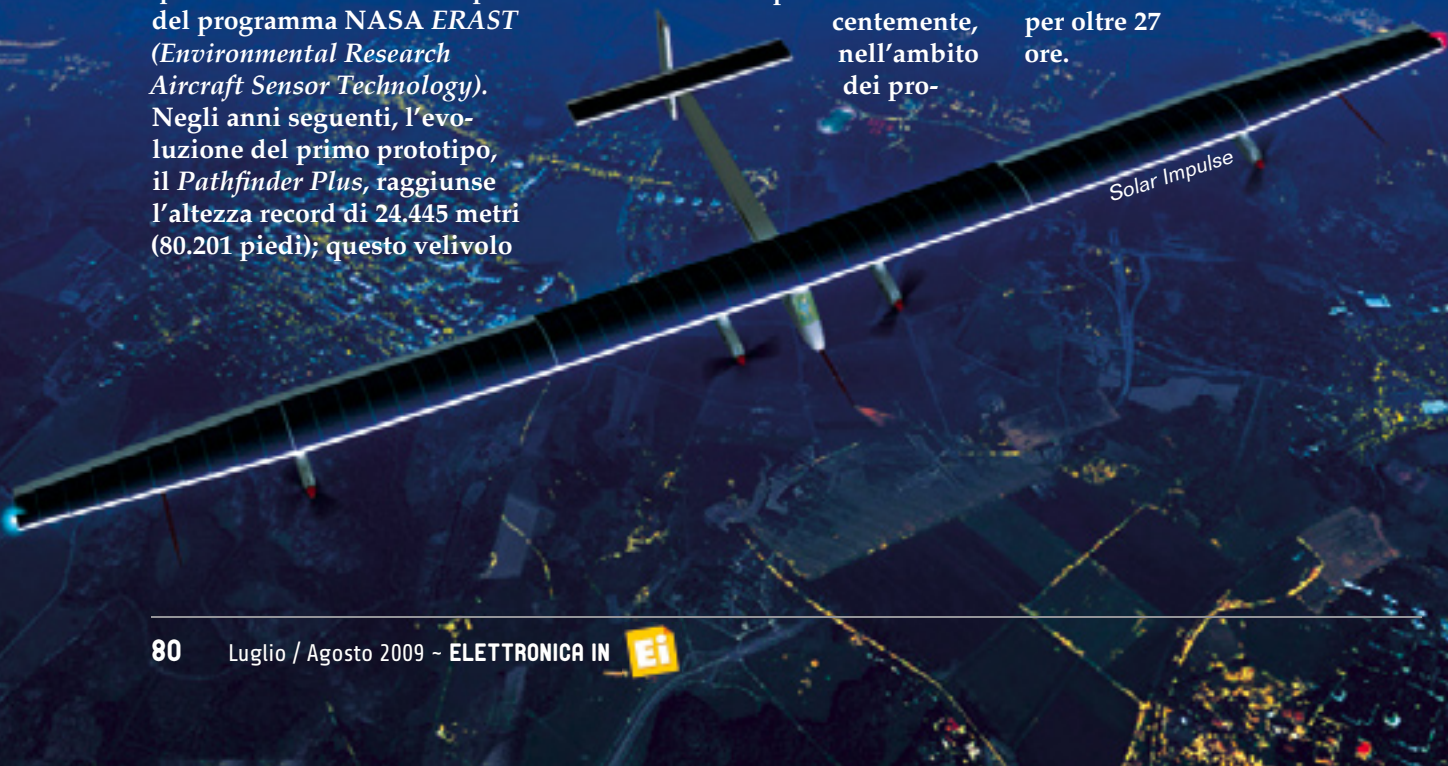


sta conducendo ricerche da oltre vent'anni. Tutto è iniziato col *Solar Challenger* (il primo vero aereo ad energia solare con pilota) realizzato dalla Aero-Vironment Inc a cui la NASA affidò lo studio di fattibilità di un *HALSOL* (*High ALTitude SOLar*), un velivolo elettrico alimentato da pannelli solari che doveva operare ad una quota di 65.000 piedi. Il primo velivolo realizzato, il *Pathfinder*, pesava 254 kg, aveva un'apertura alare di 30 metri ed effettuò il primo volo nel 1993. In seguito queste ricerche divennero parte del programma NASA *ERAST* (*Environmental Research Aircraft Sensor Technology*). Negli anni seguenti, l'evoluzione del primo prototipo, il *Pathfinder Plus*, raggiunse l'altezza record di 24.445 metri (80.201 piedi); questo velivolo

aveva un'apertura alare di quasi 37 metri ed i pannelli solari erano in grado di fornire una potenza di picco di 12.500 watt. La terza serie di questo genere di velivoli, rappresentata dal prototipo *Centurion*, effettuò una serie di test nel 1998-1999 raggiungendo una quota di 80.000 piedi (24.400 metri).

Il *Centurion* aveva un peso massimo al decollo di 819 kg, 14 motori da 1,5 kW, un'apertura alare di quasi 62 metri e pannelli solari da 31 kWp. Un set di batterie al litio era in grado di fare volare il velivolo per un paio di ore dopo il tramonto ma l'energia accumulata risultava insufficiente per l'intera notte. L'ultimo prototipo di questa serie di velivoli fu l'*Helios*, pensato per raggiungere una quota di almeno 100.000 piedi e la possibilità di volare giorno e notte; il primo obiettivo venne centrato mentre il secondo non venne mai raggiunto, anche a causa di un incidente che provocò la caduta e la distruzione del prototipo nel 2003. Recentemente, nell'ambito dei pro-

grammi del DARPA, la NASA ha dato il via al progetto *Vulture* che si propone la realizzazione di un velivolo solare in grado di rimanere in volo per almeno cinque anni ad una quota di 65.000 piedi. In Europa gli studi per la realizzazione di un velivolo solare con grande autonomia ed in grado di volare ad alta quota (*HALE*) sono stati al centro delle sperimentazioni del *DLR Institute of Flight Systems* mentre uno dei velivoli con le più alte potenzialità è lo *Zephyr* della britannica QinetiQ che detiene il record di volo con 54 ore anche se, non ufficialmente, ha volato nel giugno 2008 per ben 82 ore. Infine l'ESA, l'Agenzia Spaziale Europea sta finanziando il progetto *Sky-Sailor* dell'Istituto Svizzero di Tecnologia di Losanna (EPFL) che ha l'obiettivo di sviluppare un velivolo solare destinato all'esplorazione di Marte. Un velivolo di questo tipo potrebbe esplorare una superficie molto più ampia rispetto a quanto potrebbero fare i rover al suolo; al momento è stato realizzato un prototipo in scala ridotta del peso di 2,4 kg e con un'apertura alare di 3,2 metri che ha volato per oltre 27 ore.



Corso Wireless CPU



Introduzione alle Wireless CPU Wavecom

Moduli radio dotati di microcontrollori talmente potenti da poter assolvere tutte le funzioni che solitamente vengono affidate a CPU esterne. Iniziamo a conoscerli.

dell'Ing.
NICOLA FRISO

Volete sviluppare un progetto di telecontrollo GSM? Allora sulla vostra scheda avrete previsto almeno un microcontrollore e un modulo GSM industriale M2M "Machine to Machine". Una UART del microcontrollore sarà occupata a gestire il collegamento con il modulo GSM. Il microcontrollore dovrà avere sufficienti capacità di memoria per contenere quel minimo di libreria che vi serve per la gestione dei comandi

AT essenziali per il funzionamento del modulo GSM. Visto che avete a disposizione una connessione remota (dati GSM o GPRS) magari pensate anche di implementare una funzione che permetta l'upgrade da remoto della vostra applicazione. Una volta messa a punto la comunicazione con il GSM, se non lo avete già fatto, dovrete scrivere tutto il codice per gestire a basso livello le periferiche del microcontrollore (I/O, interrupt, timer, SPI, I²C ecc...) e poi finalmente dedicarvi allo

Fig. 1
Augusto
Wireless CPU



sviluppo delle funzionalità specifiche della vostra applicazione. Potreste anche avere la necessità di disporre di un sistema operativo real-time. Questa scelta però comporta un ulteriore aumento delle risorse richieste al vostro microcontrollore oltre al doversi sobire uno studio approfondito del funzionamento del sistema operativo scelto.

Lo sviluppo di un progetto di questo tipo in termini di tempo è molto oneroso. Se volete ridurre drasticamente il tempo di sviluppo, risparmiare sui costi dell'hardware, disporre di un parser di comandi AT completo, contare già su di una funzione per l'upgrade remoto della vostra applicazione, avere un microcontrollore potente con già incorporato un sistema operativo (S.O.) real-time, disporre di tutte le librerie necessarie per gestire la connessione GSM o GPRS e tutte le periferiche classiche normalmente disponibili in un microcontrollore, allora una Wireless CPU è quello che fa per voi.

Una Wireless CPU è un chip che integra un microcontrollore programmabile e tutto l'hardware (in genere un microcontrollore ed un DSP) e il firmware necessario per gestire i protocolli di rete e la parte in radiofrequenza che si occupa della connessione GSM/GPRS.

LA FAMIGLIA DI WIRELESS CPU DI WAVECOM

Da alcuni anni il produttore francese di moduli GSM "Wavecom", ora fusi con l'azienda americana "Sierra Wireless", si è specializzato nel mercato M2M ed è all'avanguardia nello sviluppo di moduli GSM programmabili. Questi moduli consentono, tramite un sistema operativo e un insieme di librerie (API) scritte in C denominate "Open

AT", di implementare le proprie applicazioni all'interno del modulo GSM stesso, sfruttando appieno la memoria e tutte le periferiche di cui dispone il microcontrollore presente all'interno del modulo GSM.

Le famiglie di Wireless CPU di Wavecom sono riportate nella **Tabella 1**: si va dai moduli della serie Q24xx, che montano un processore ARM7, passando per la serie Q26xx (che monta processori ARM9) fino ad arrivare alle più recenti Wireless CPU serie WMPxx (ARM9) le quali, anche nell'aspetto, ricordano quello di un microprocessore.

I moduli appartenenti alle famiglie "Quick" hanno tutti l'aspetto del classico modulo GSM standard con connettore SMD passo 0,5 mm da 40 poli in su, e sono tutti programmabili con l'ambiente di sviluppo Open AT, per cui non necessitano di microcontrollore esterno. Si differenziano per il tipo di CPU che montano, per le dimensioni della memoria Flash e RAM e per il numero di periferiche e GPIO che implementano. Alcuni di essi sono disponibili anche con porta-SIM integrato.

Esistono anche due moduli con caratteristiche speciali: il Q26 Extreme, che dispone dell'HSDPA e il Q52, che integra anche un modulo GPS.

Se ci seguite da molto, saprete che in passato abbiamo pubblicato progetti impieganti i moduli Q24 e Q25, anche se sfruttando questi ultimi essenzialmente come modem GSM/GPRS. Adesso riprendiamo il discorso, vedendo però il pieno utilizzo delle funzioni delle Wireless CPU.

LE WIRELESS CPU DELLA SERIE WMP

In questa serie di articoli, prenderemo in considerazione solo la nuova famiglia di Wireless CPU serie WMP, fermo restando il fatto che tutto quello che tratteremo, compreso il codice, è facilmente portabile anche sulla famiglia Quick, avendo Wavecom unificato il più possibile il set di API del sistema operativo.

La serie di Wireless CPU WMP propone diversi modelli (vedi Tabella 1) che si differenziano principalmente per la frequenza di clock del processore ARM9 e dal numero di GPIO che mettono a disposizione. Sono poi disponibili alcune Wireless CPU speciali con certificazioni automotive (WMP150) e certificazioni ATEX per ambienti potenzialmente

esplosivi (WMP120).

Le Wireless CPU serie WMP contengono al loro interno il microcontrollore ARM9 e il DSP per la gestione della radiofrequenza e dei protocolli GSM. La memoria Flash e RAM deve essere invece montata esternamente, connessa alle linee dedicate. Normalmente si utilizzano della memorie Combo, che nello stesso chip integrano la Flash e la RAM e che sono largamente utilizzate nell'industria del mercato consumer dei telefoni cellulari. I due modelli consigliati da Wavecom hanno 2 MB di capacità per quanto riguarda la RAM e 8 MB oppure 16 MB di Flash. Si possono comunque montare memorie Flash e RAM separate.

Il package della Wireless CPU è identico per tutti i modelli ed è un BGA (Ball Grid Array) con contatti a passo 1mm BGA576, 25x25x3 mm. Anche il package della memoria Combo è un BGA passo 0.8mm 8x10mm. Questo tipo di package è notoriamente impossibile da saldare a mano e anche per la produzione industriale, si deve far ricorso ad aziende specializzate per il montaggio di tali componenti. Proprio il particolare package, consente la riduzione dei costi delle Wireless CPU e dello spazio occupato sul circuito stampato dell'apparecchiatura dove le stesse CPU vengono utilizzate.

Le Wireless CPU di Wavecom nascono con il preciso scopo di essere utilizzate in progetti che prevedono produzioni in numerosi esemplari (da 3.000 pezzi/anno in su). In alternativa si possono montare i moduli della serie Q26xx, che si basano sullo stesso hardware ma hanno la classica pin-out di un connettore strip a 100 pin (passo 0,5mm) comunque difficile da montare a mano, ma sicuramente più facilmente gestibile anche nei processi automatici.

IL MODULO "AUGUSTO" DI SHITEK

Shitek Technology è un'azienda italiana, specializzata nel telecontrollo GSM, che da anni sviluppa prodotti con le Wireless CPU di Wavecom. Recentemente ha realizzato un modulo GSM/GPRS denominato "Augusto", che integra una Wireless CPU WMP50 (o WMP100), 4 MByte di Flash e 2 MB di RAM, un porta-SIM, un connettore U.FL per antenna, un RTC, il tutto integrato in una scheda

Tabella 1 - Wireless CPU Wavecom

Modello	Caratteristiche
WMP50	Processore: ARM9, 32 bit, 26 MHz, che supporta il sistema operativo Open AT® Memoria: esterna, combo Flash/PSRAM 32/16, 64/16 Mbit) and more I/O digitali: 11 GPIO, 2 INT, SPI, tastiera a matrice 5 x 5, memory-bus Porte di comunicazione: 2 UART, USB 2.0 Interfacce analogiche: 2 ADC Interfacce audio: 2 canali analogici Cellulare: Global operation (quad-band 800/900/1800/1900 MHz) Dati cellulare: standard GSM, SMS, Fax, CSD (circuit), GPRS cl 10 (packet) Voce Cellulare: Quad codec (FR/HR/EFR/AMR) Package: BGA576, 25 x 25 x 4 mm, sfere da 0,5 Ø, passo 1 mm
WMP100	Processore: ARM9, 32 bit, 104 MHz, compatibile con il sistema operativo Open AT® Memoria: esterna, fino a 128 MB Flash, 128 MB PSRAM I/O digitali: Up to 44 GPIO, 4 INT, I ² C, 2 SPI, tastiera a matrice 5 x 5, memory-bus Porte di comunicazione: 2 UART, USB 2.0, parallela Interfacce analogiche: 4 ADC, DAC Interfacce audio: 2 canali in PCM Cellulare: Global operation (quad-band 800/900/1800/1900 MHz) Dati Cellulare: GSM standard SMS, Fax, CSD (circuit), GPRS cl 10 (packet) Voce Cellulare: Quad codec (FR/HR/EFR/AMR) Package: BGA576, 25 x 25 x 4 mm, sfere da 0,5 Ø, passo 1 mm
WMP50	Processore: ARM7, 32 bit, 52 MHz, compatibile con il sistema operativo Open AT® Memoria: interna, 32 Mb Flash and up to 16 Mb SRAM or PSRAM I/O digitali: Internal, 32 Mb Flash and up to 16 Mb SRAM or PSRAM Porte di comunicazione: 2 UART Interfacce analogiche: 2 ADC Interfacce audio: 2 canali differenziali analogici Cellulare: Global operation (quad-band 800/900/1800/1900 MHz) Dati cellulare: GSM standard SMS, Fax, CSD (circuit), GPRS cl 10 (packet) Voce cellulare: codec supportati (FR/HR/EFR/AMR) (HR opzionale), VDA2 C Package: 58x32x3,9 mm, 60 pin su connettore a passo 0,5 mm, porta-SIM integrato (opzionale)
Q2686	Processore: ARM9, 32 bit, 104 MHz, compatibile con il sistema operativo Open AT® Memoria: Internal, supports up to 128 Mb Flash, 128 MB PSRAM I/O digitali: Up to 44 GPIO, 2 INT, 2 SPI, 1 I ² C, tastiera a matrice 5 x 5 Porte di comunicazione: 2 UART, USB 2.0 Interfacce analogiche: 2 ADC Interfacce audio: 2 analogue channels, 1 PCM Cellulare: Global operation (quad band 800/900/1800/1900 MHz) Dati cellulare: standard GSM, SMS, Fax, CSD (circuit), GPRS cl 10 (packet) Voce cellulare: Quad codec (FR/HR/EFR/AMR) Package: connettore 100 pin
Q2687	Processore: ARM946, 32 bit, 104 MHz compatibile con il sistema operativo Open AT® Memoria: Internal, 32 / 8 Mb Flash I/O digitali: fino a 44 I/O, 2 INT, 2 SPI, 1 I ² C, tastiera a matrice 5 x 5 Porte di comunicazione: 2 UART, USB 2.0, 1 parallel ports, 1 DAC Interfacce analogiche: 2 ADC Interfacce audio: 2 analogue differential audio, 1 PCM Cellulare: Global operation (quad band 800/900/1800/1900 MHz) Dati cellulare: GSM standard SMS, Fax, CSD (circuit), GPRS cl 10 (packet) Voce cellulare: codec supportati (FR/HR/EFR/AMR) (HR opzionale) VDA2 C Package: 40x32x4 mm, connettore 100 pin, passo 0,5mm

con tutti i pin (ball) della WCPU riportati sul bordo della scheda stessa e con possibilità di montaggio superficiale laterale ("castellation

... segue **Tabella 1** - Wireless CPU Wavecom

Modello	Caratteristiche
Q26 Extreme	Processore: ARM946/DSP, 32 bit, 26+104 MHz compatibile con sistema operativo Open AT® Memoria: Internal, 64 Mb Flash and 32 Mb PSRAM I/O digitali: fino a 45 GPIO (26 GPIO 2,8V, 19 GPIO 1,8 V), 2 SPI, 1 I²C, tastiera a matrice 5x5 Porte di comunicazione: 2 UART, USB 2.0, 1 16 bit parallel port Interfacce analogiche: 2 ADC, 1 DAC Interfacce audio: altoparlante e 2 microfoni, PCM digital interface (768 kHz, 16 bit data MSB first, Master) Cellulare: Tri-band UMTS/HSxPA (WCDMA/FDD), Quad-Band GSM 850/1900/2100 MHz (band I, II, V), Quad-band 850/900/1800/1900 Dati cellulare: GSM + GPRS multi slot class 12, EDGE (E-GPRS) multi slot Class 12, WCDMA, HSxPA Voce cellulare: Quad codec (FR/HR/EFR/AMR) per GSM e AMR per WCDMA; VDA2A Package: 40x32x6,55 mm, connettore 100 pin, passo 0,5mm,
Q52 Omni	Processore: ARM9, 32 bit, 104 MHz compatibile Open AT® Memoria: Internal, 64 Mb Flash and 32 Mb PSRAM I/O digitali: Up to 18 GPIO, SPI Porte di comunicazione: 2 UART Interfacce analogiche: 2 ADC, 1 DAC Cellulare: Global operation (quad band 800/900/1800/1900 MHz) Dati cellulare: standard GSM, SMS, Fax, CSD (circuit), GPRS cl 10 (packet) Sezione satellitare: Trasmissione: 148+150,05 MHz; Ricezione: 137+138 MHz; potenza 5 W Localizzazione: GPS (opzione) Package: 40x32x6,55 mm, connettore 40 Pin, passo 0,5mm, porta-SIM integrato

package”) o mediante un comodo connettore pin strip passo 2 mm (Fig. 1).

Questa soluzione permette l'utilizzo delle potenti CPU Wireless anche agli hobbisti o a tutte quelle aziende che non hanno le possibilità tecniche o i numeri necessari. Nella **Tabella 1** sono riportate le principali caratteristiche della CPU WMP50 e del modulo Augusto.

Questo corso farà uso del modulo “Augusto” e della relativa demoboard EVKAUGUSTO, che andremo a realizzare nelle prossime puntate.

L'AMBIENTE DI SVILUPPO

Diamo uno sguardo ora al sistema di sviluppo di queste Wireless CPU (che per comodità, da ora in avanti, abbrevieremo in WCPU). Wavecom Open-AT OS è la piattaforma di sviluppo tramite cui è possibile creare le proprie applicazioni; integra un sistema operativo real-time e un set di API completo per la gestione della WCPU.

Come sistema operativo real-time, Wavecom propone Open-AT e come ambiente di sviluppo (ossia l'IDE) il prodotto “M2M Studio” basato su Eclipse. Integrato nell'IDE, è a disposizione un semplice wizard per creare nuovi progetti, testare gli esempi forniti e creare applicazioni nuove partendo da tali esempi. Open-AT è diventato negli anni uno standard de-facto per la programmazione di moduli GSM e conta oggi su un nutrito numero di sviluppatori e di un forum (www.wavecom.com/forum) vivace ed aggiornato dove potete trovare il supporto degli sviluppatori certificati wavecom e tanti suggerimenti, esempi ed aiuti immediati per qualsiasi problema incontriate nello sviluppo della vostra applicazione Open-AT.

Iniziamo dunque col procurarci una versione aggiornata della suite Open AT, che è gratuitamente scaricabile dal sito di Wavecom, previa registrazione. Per il download dovete seguire questo percorso: www.wavecom.com → Products → Wireless CPU Range → Wire-



Fig. 2 - Download del software dal sito Wavecom

less Microprocessor Family → WMP50 (vedi Fig. 2).

Cliccate quindi sul tab “Downloads” quindi aprite la cartella:

Open AT Software Suite → Software Development Kit → Official Release.

Qui trovate il file eseguibile di installazione

dell'Open-AT.

L'ultima versione che è disponibile alla data di pubblicazione di questo articolo è la "Wavecom Open AT Software Suite v2.30".

La versione contiene l'Open-AT OS, l'IDE M2M Studio 1.0 e tutti gli esempi e i plug-in a corredo (vedere la **Tabella 2**).

Da questa posizione scarichiamo anche il firmware del sistema operativo da installare nella nostra WCPU. L'ultima versione ufficiale disponibile nel momento in cui viene pubblicato questo articolo è la "**R74_00-cus-wmp-02.wpk3**".

A questo punto installiamo Open-AT V2.30 sul nostro PC, seguendo le istruzioni di installazione.

Per poter testare ed eseguire in modalità di debug gli esempi di codice forniti in questo corso, è necessario avere a disposizione l'evaluation kit di Wavecom "Wireless Microprocessor and Open AT Software Suite Development Kit", oppure la più semplice ed economica demoboard "EVKAUGUSTO", costruita da Shitek Technology, che andremo a realizzare nel prossimo articolo. La differenza tra la demoboard originale Wavecom e quella di Shitek è che mentre con la prima si possono utilizzare al 100% tutte le CPU della serie WMP, quella di Shitek è stata creata specificatamente per la WCPU WMP50. Le serie WMP50 hanno capacità di calcolo inferiore rispetto alle WMP100: 26 MHz/10 Mibps, contro i 104 MHz/88 Mibps delle WMP100. La demoboard EVKAUGUSTO consente di montare anche moduli WCPU della serie WMP100 (WMP100,150,120) che sono pin to pin compatibili limitatamente alle risorse hardware che sono condivise con la WMP50. Di fatto nella WCPU WMP50 si hanno a disposizione 11 GPIO, 2 UART, 1 USB, 1 SPI/I2C, 2 INTERRUPT, 1 ADC, 1 RTC, risorse più che sufficienti per gli scopi di questo corso. Si ricorda infine che il codice scritto è compatibile con tutta la famiglia WMP.

Prima di lanciare l'IDE M2M Studio 1.0 assicuriamoci che la nostra Wireless CPU sia attiva e funzionante. Alloggiamo il modulo sulla demoboard, inseriamo una SIM nell'apposito alloggiamento, colleghiamo l'antenna e connettiamo la demoboard al PC attraverso la porta seriale; infine diamo l'alimentazione. Lanciamo il programma HyperTerminal

Tabella 2 - Plug-in del software Wavecom

Modello	Caratteristiche
C-GPS	Librerie plug-in per la gestione di un modulo GPS connesso alla UART della WCPU
GR	Plug-in per l'utilizzo delle WCPU serie Q64 che rimpiazzano la vecchia serie GR di Sony Ericsson (acquistata da Wavecom)
LUA	Librerie per la programmazione in linguaggio LUA della WCPU (www.lua.org/pil)
WIP	Librerie per l'utilizzo dello stack TCP-IP

di Windows che troviamo in Programmi → Accessori → Comunicazioni. Se usiamo Windows Vista, occorre scaricarlo a parte dalla pagina web <http://www.hilgraeve.com/http/download.html>.

Settiamo la COM corretta a 115200, no parità, 8 bit, controllo di flusso Hardware e digitiamo AT seguito da un invio; a questo comando, la WCPU deve rispondere con OK:

>AT

OK

In seguito lanciamo i comandi AT+I3 per vedere la release del FW:

>AT+I3

R74_00gg.WMP50 2120060 052109 13:11

Digitiamo AT+WIND=255 per attivare i codici "WAVECOM INDICATE" che ci permettono di vedere passo-passo l'evolversi delle attività della WCPU, oltre che di catturare particolari eventi all'interno della nostra applicazione. Una trattazione completa dei comandi AT, compreso l'AT+WIND, sarà l'oggetto di una puntata successiva; per ora limitiamoci ad osservare cosa succede dopo aver dato i seguenti comandi AT (le righe di commento precedute da "//" non vanno digitate). Qui di seguito trovate i comandi impartiti e il loro significato.

>AT+IPR=115200 // imposta la velocità della seriale a 115200 (di default è attivo il riconoscimento automatico)

OK

>AT+WIND=255 // abilita gli eventi WIND

OK

>AT&W // salva le impostazioni fatte fino a questo punto

OK

>AT+CFUN=1 // resetta la WPCU

WIND:1 // WIND code che la presenza della SIM

WIND:3 // WIND code che indica la disponibilità a ricevere comandi AT

WIND:4 // WIND code che indica l'avvenuta registrazione alla rete sim pronta ad essere letta/scritta

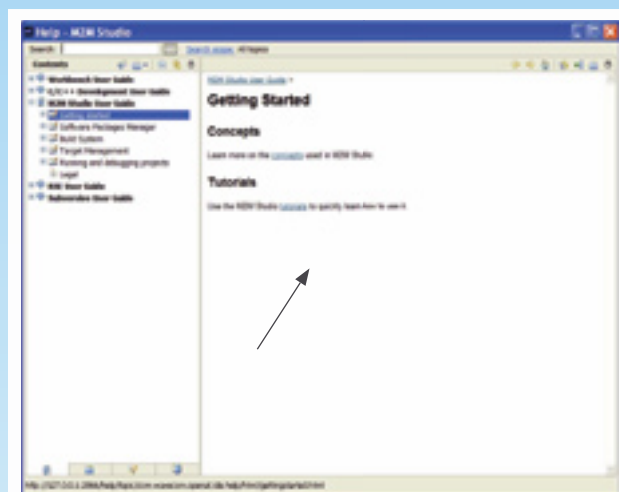


Fig. 4 - Help dell'M2M Studio

cartella predefinita dove salvare i progetti, che possiamo anche scegliere liberamente; a seguire appare la schermata di "Welcome" visibile nella Fig. 3.

Qui troviamo quattro opzioni corrispondenti alle seguenti possibilità: possiamo lanciare una breve panoramica sull'ambiente di sviluppo (Discover Open AT Concept), sfogliare la guida on-line (mediante la sezione First step with M2M Studio), oppure lanciare l'help in linea riguardante il set di API (vi accediamo facendo clic su Discover OpenAT APIs); infine, possiamo anche gestire i progetti creati o creare nuovi progetti semplicemente cliccando sul riquadro My Projects.

Per cominciare, facciamo clic su "First Step with M2M Studio": così facendo, abbiamo avviato il wizard che ci seguirà passo-passo nella creazione della nostra prima applicazione Open-AT. Una volta visualizzata la finestra di dialogo corrispondente clicchiamo su "tutorials" (Fig. 4) e siamo pronti per

iniziare ad apprendere tutto quel che c'è da sapere sull'uso dell'ambiente di sviluppo. Bene, per ora ci fermiamo qui; nella prossima puntata proseguiremo con il wizard, entreremo nel vivo delle funzionalità dell'M2M Studio e vedremo come sfruttare le possibilità da esso offerte.



Fig. 3 - M2M Studio Welcome

A questo punto siamo sicuri che la nostra WCPU stia funzionando correttamente. Chiudiamo Hyperterminal. Dopo aver installato l'ambiente di sviluppo M2M Studio, clicchiamo sull'icona con la rana per avviarlo. All'inizio ci viene richiesto di definire una

Dispone di quattro uscite a relé, ognuna delle quali può essere comandata da più trasmettitori Enocean PTM200.

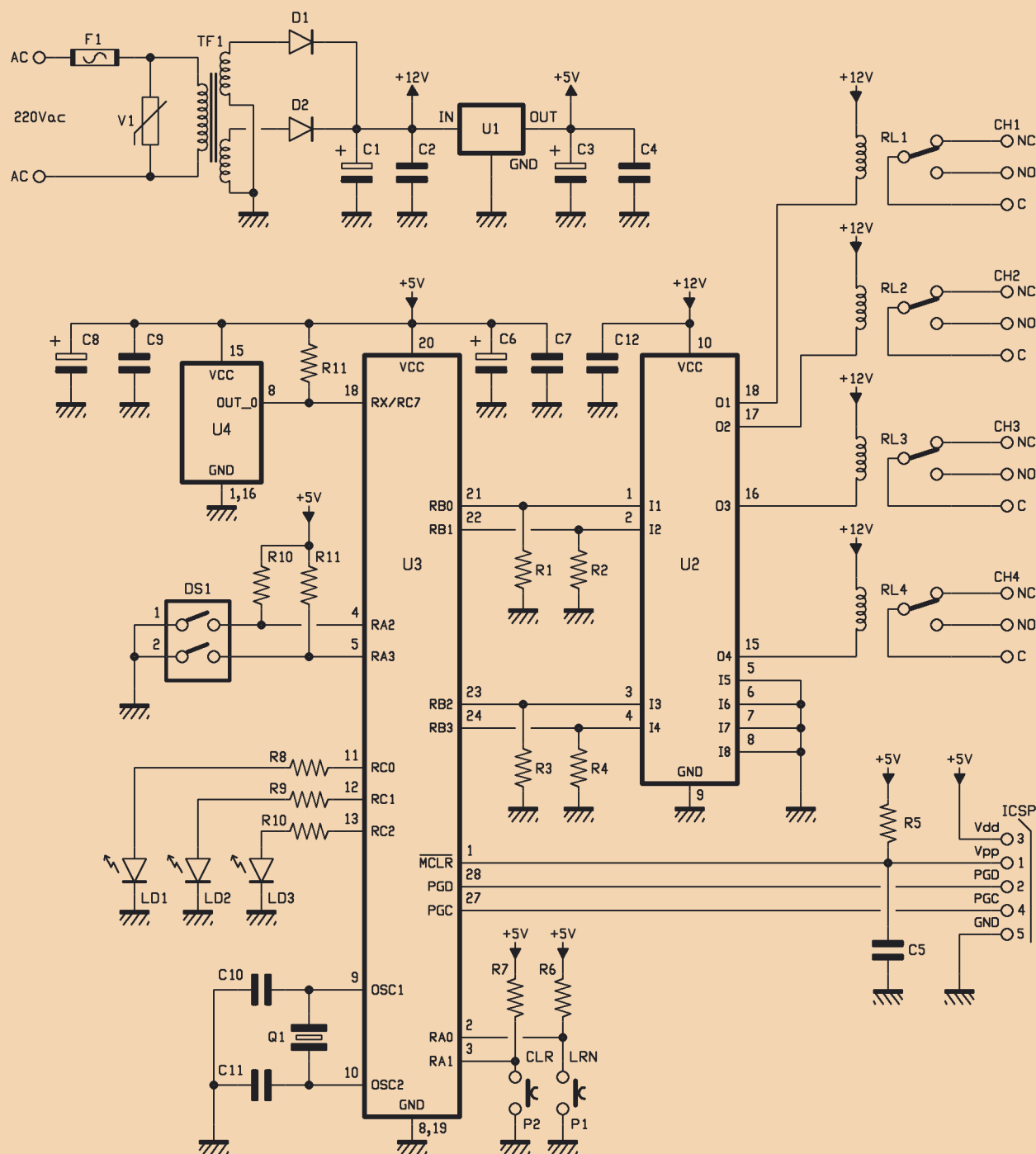
RICEVITORE 4 CANALI PER PTM200

..... di MATTEO DESTRO

Nei precedenti fascicoli di Elettronica In, a partire dal numero 134 vi abbiamo descritto i prodotti Enocean e poi diverse applicazioni, dalle più semplici al ricevitore ad otto canali di uscita configurabili sia come analogici che come digitali. In queste pagine proseguiamo la carrellata sulle applicazioni proponendovi una scheda ricevente per trasmettitori PTM200, provvista di uscite on/off a relé (digitali); la particolarità di questa unità è che rispetto alla precedente dispone di quattro

sole uscite, ciascuna delle quali può, però, essere controllata da più di un tasto del trasmettitore e da più di un trasmettitore: nello specifico, è possibile memorizzare fino a sei pulsanti dei PTM200 per ogni uscita. Prima di passare alla descrizione del ricevitore, è il caso di spendere





qualche parola per ricordare che esso deve ricevere i comandi da un trasmettitore Enocean di tipo PTM200; questo modulo ha due canali distinti, che per comodità vengono chiamati "A" e "B". Ogni canale dispone di due pulsanti, chiamati "O" e "I": quando si preme uno qualsiasi

dei quattro pulsanti disponibili, il PTM200 invia lo stato di quello premuto e il canale cui è associato. Si ricorda che lo stato viene inviato anche quando il pulsante viene rilasciato, il che permette di sfruttare sia la pressione che il rilascio per impartire comandi. L'ID (codice base) a 32Bit che

identifica in modo univoco il modulo trasmettitore, è comune ad entrambi i canali "A" e "B". A differenza della precedenti applicazioni, nel ricevitore descritto in queste pagine i canali di ogni modulo trasmettitore PTM200 vengono trattati come entità singole, il che consente di

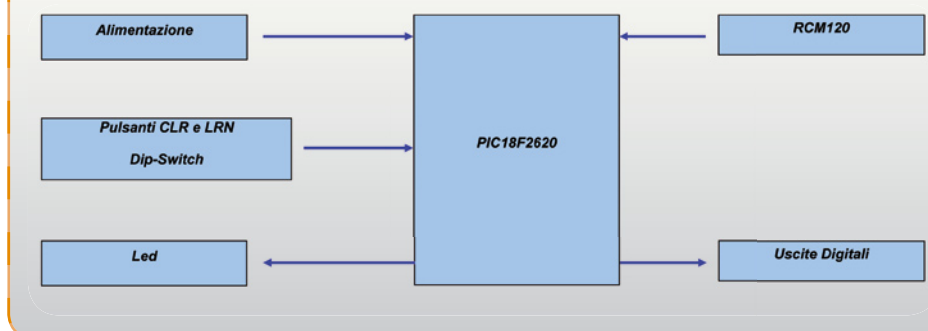
associare ogni singolo pulsante a un diverso canale di uscita del ricevitore stesso.

IL CIRCUITO

Anche in questa applicazione il modulo ricevitore Enocean che utilizziamo è l'RCM120. L'elettronica della scheda può essere riassunta dallo schema a blocchi nella **Fig. 1**. Come si può osservare, il cervello della scheda è il microcontrollore PIC18F2620, il quale si occupa di gestire tutte le funzioni compresa la comunicazione seriale con il modulo ricevente RCM120 (il micro si limita a ricevere dati da esso). È stata prevista una sezione di alimentazione, la quale fornisce tutte le tensioni necessarie al funzionamento della scheda; vi sono poi una sezione di comando, formata da due pulsanti e da un dip-switch, un gruppo di led per assistere l'utente nelle operazioni di configurazione della scheda e, infine, uno stadio di uscita. Iniziamo la descrizione dello schema elettrico dalla sezione di alimentazione, la quale è formata da un trasformatore con due secondari da 9 Veff. collegati praticamente in parallelo e un semplice regolatore di tensione (L78M05CDT) il quale assicura i 5 V a tutti i componenti elettronici presenti sulla scheda. Per consentire il collegamento in parallelo tra i due secondari del trasformatore è necessario interporre due diodi rettificatori, D1 e D2, i quali impediscono che il secondario che fornisce la tensione più alta si scarichi sull'altro; ciò può apparire insensato, ma non lo è, in quanto gli avvolgimenti di un trasformatore, pur dovendo erogare teoricamente la stessa tensione in realtà presentano delle pur minime differenze.

A valle dei due diodi si trova

Fig. 1 - Schema a blocchi del ricevitore a 4 canali.

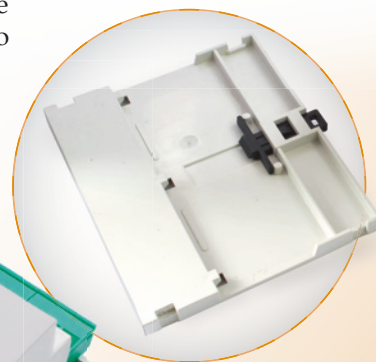
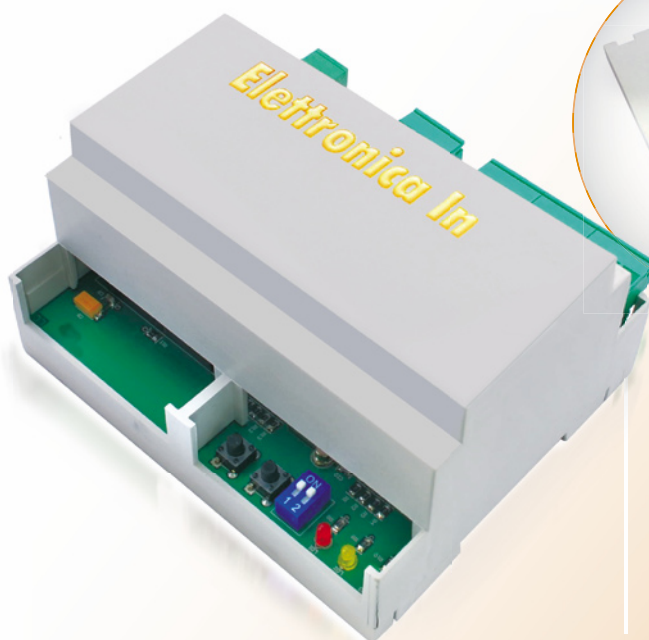


una tensione continua pari a +12 V, che alimenta le bobine dei quattro relè di uscita. Sul primario del trasformatore è stato predisposto un piccolo circuito di protezione formato da un varistore e da un termofusibile: quando sulla rete si presenta una sovratensione, il varistore cortocircuita il primario facendo intervenire il termofusibile, il quale apre il circuito e protegge l'elettronica a valle.

Quanto al microcontrollore PIC18F2620, ad esso sono stati collegati i due pulsanti CLR e LRN (P1 e P2) necessari per la gestione delle procedure di configurazione della scheda e di

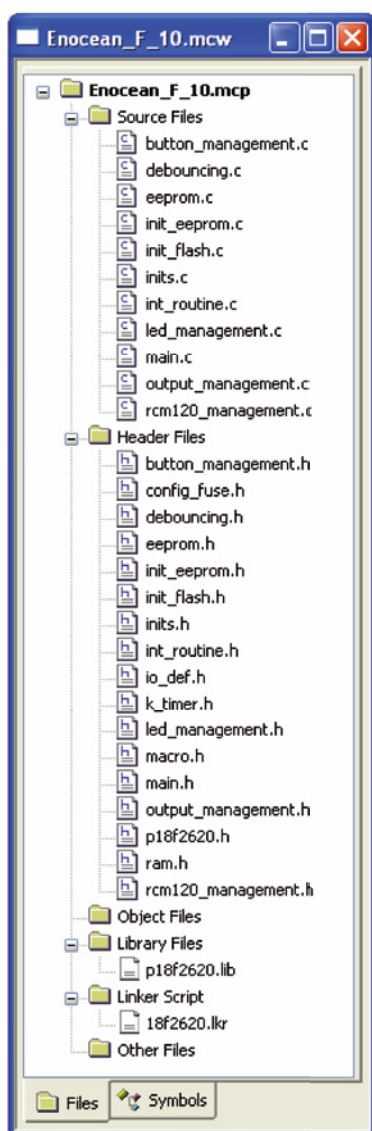
acquisizione degli ID dei trasmettitori PTM200. Inoltre è stato predisposto un dip-switch (DS1) utile a selezionare la configurazione operativa della scheda. In questa applicazione possiamo distinguere tre diverse modalità di funzionamento che descriveremo più avanti.

Sia per i pulsanti che per il dip-switch, è stata predisposta una resistenza di pull-up per assicurare un livello logico stabile quando i pulsanti non sono premuti o quando i due interruttori del dip-switch sono aperti. Si evince che la condizione di pulsante premuto



Il circuito stampato del ricevitore è stato pensato per essere montato in un contenitore per moduli da quadri elettrici provvisto di aggancio per barra DIN.

Fig. 2



si verifica quando sugli ingressi della porta A è presente un livello logico basso, viceversa si leggerà lo stato logico alto. I due bit non usati della porta A (RA4 e RA5) sono configurati come uscite. Sulla porta C del microcontrollore sono collegati i tre led di diagnostica: LD1, LD2 e LD3 servono durante l'acquisizione degli ID dei trasmettitori PTM200. L'ingresso RC7 è stato configurato per funzionare come interfaccia seriale, però solo in ricezione: la porta seriale corrispondente è stata settata per

lavorare a 9600 bit/s, 8 bit di dati 1 bit di stop. Non sono previsti bit di parità.

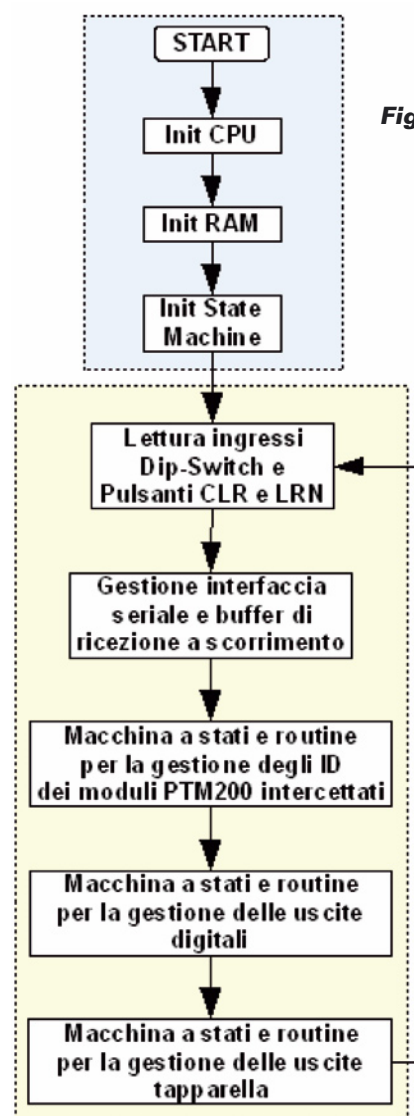
Osservate che è stato necessario inserire una resistenza di pull-up sulla linea della seriale, in quanto l'uscita OUT_0 del ricevitore RCM120 è di tipo open-collector. Il microcontrollore lavora con una frequenza di clock di 10 MHz, la quale assicura una potenza di calcolo di 10 MIPS, più che sufficiente a soddisfare tutte le esigenze operative delle schede. Il microcontrollore viene programmato in-circuit utilizzando il connettore siglato ICSP. Le quattro uscite digitali vengono gestite dalla porta B, le cui linee RB0, RB1, RB2 ed RB3, attraverso l'integrato ULN2803ADW (U2) pilotano le bobine dei quattro relé RL1, RL2, RL3 e RL4. Gli ingressi non utilizzati dell'integrato U2 li abbiamo collegati a massa, per evitare commutazioni indesiderate causate dai disturbi e che sarebbero a loro volta fonte di disturbo per gli altri elementi del circuito.

Per gli ingressi da D0 a D3 è prevista una resistenza di pull-down, la quale assicura un livello logico stabile nel caso in cui la porta B del microcontrollore vada in alta impedenza o il microcontrollore stesso non sia ancora montato nella scheda. I pulsanti LRN e CLR servono il primo per entrare in modalità di acquisizione degli ID e il secondo per cancellare la memoria EEPROM del PIC18F2620.

Le possibili configurazioni ottenibili dal dip-switch sono quattro, ma nell'applicazione proposta ne vengono sfruttate solo tre, che vedete riepilogate nella **Tabella 2**.

La configurazione hardware viene completata da tre led i quali, a seconda della modalità operativa, assumono un diverso significato;

Fig. 3



la **Tabella 3** riassume le segnalazioni fornite dai diodi.

IL FIRMWARE DEL MICRO

Il programma del PIC18F2620 è stato scritto in C, un linguaggio tra i più usati e che peraltro ci ha consentito la realizzazione delle routine più complesse. La **Fig. 2** mette in evidenza l'impostazione data al progetto, che suddivide le varie sezioni del programma in diversi file con estensione ".c" e i relativi file ".h". I file più significativi sono **rcm120_management.c** ed **output_management.c**. Il primo si occupa di gestire i

pacchetti dati inviati dal modulo RCM120; a tal proposito ricordiamo che il modulo ricevitore RCM120 dialoga con il microcontrollore grazie all'interfaccia seriale di cui questo è provvisto, della quale però viene utilizzato soltanto il pin RX. La gestione dell'interfaccia seriale prevede un buffer (un esempio del suo contenuto è illustrato nella **Tabella 1**) che permette di memorizzare fino a tre pacchetti consecutivi, permettendo così di gestire più trasmettitori PTM200 che inviano i propri dati contemporaneamente; più avanti descriveremo in dettaglio come funziona la gestione del buffer. Nel file **rcm120_management.c** trovano spazio anche le routine per la memorizzazione degli ID dei moduli PTM200, durante la fase di acquisizione, e le rispettive routine per cancellare gli ID dalla memoria EEPROM. Il secondo file, **output_management.c**, contiene tutte le routine di gestione delle uscite, le quali dipendono sia dalla configurazione del dip-switch a due canali sia dagli ID dei moduli PTM200 memorizzati nella EEPROM del PIC18F2620. Le uscite sono indipendenti le une dalle altre e ciò significa che è possibile pilotare più uscite contemporaneamente e da trasmettitori PTM200 diversi. La logica di funzionamento del firmware è descritta dal flow-chart visibile nella **Fig. 3**, il quale mette in risalto due sezioni distinte: la prima (è evidenziata in azzurro) si occupa dell'inizializzazione del microcontrollore, la seconda (evidenziata in giallo) provvede alla gestione di tutte le funzionalità della scheda; questa seconda sezione prende il nome di main. Durante l'inizializzazione vengono configurate tutte le periferiche

Tabella 1 - Ripartizione della EEPROM del micro.

Address	Data Type
0x00	Primo byte di sincronismo (0xA5)
0x01	Secondo byte di sincronismo (0x5A)
0x02	H_SEQ + Length
0x03	ORG byte
0x04	Data byte 3
0x05	Data byte 2
0x06	Data byte 1
0x07	Data byte 0
0x08	ID byte 3
0x09	ID byte 2
0x0A	ID byte 1
0x0B	ID byte 0
0x0C	Status byte
0x0D	Checksum byte
0x0E	Primo byte di sincronismo (0xA5)
0x0F	Secondo byte di sincronismo (0x5A)
0x10	H_SEQ + Length
0x11	ORG byte
0x12	Data byte 3
0x13	Data byte 2
0x14	Data byte 1
0x15	Data byte 0
0x16	ID byte 3
0x17	ID byte 2
0x18	ID byte 1
0x19	ID byte 0
0x1A	Status byte
0x1B	Checksum byte
0x1C	Primo byte di sincronismo (0xA5)
0x1D	Secondo byte di sincronismo (0x5A)
0x1E	H_SEQ + Length
0x1F	ORG byte
0x20	Data byte 3
0x21	Data byte 2
0x22	Data byte 1
0x23	Data byte 0
0x24	ID byte 3
0x25	ID byte 2
0x26	ID byte 1
0x27	ID byte 0
0x28	Status byte
0x29	Checksum byte
0x2A	Locazioni di memoria libere per gestione eventuali situazioni di congestione del buffer
0x2B	
0x2C	
0x2D	
0x2E	
0x2F	
0x30	
0x31	
0x32	
0x33	

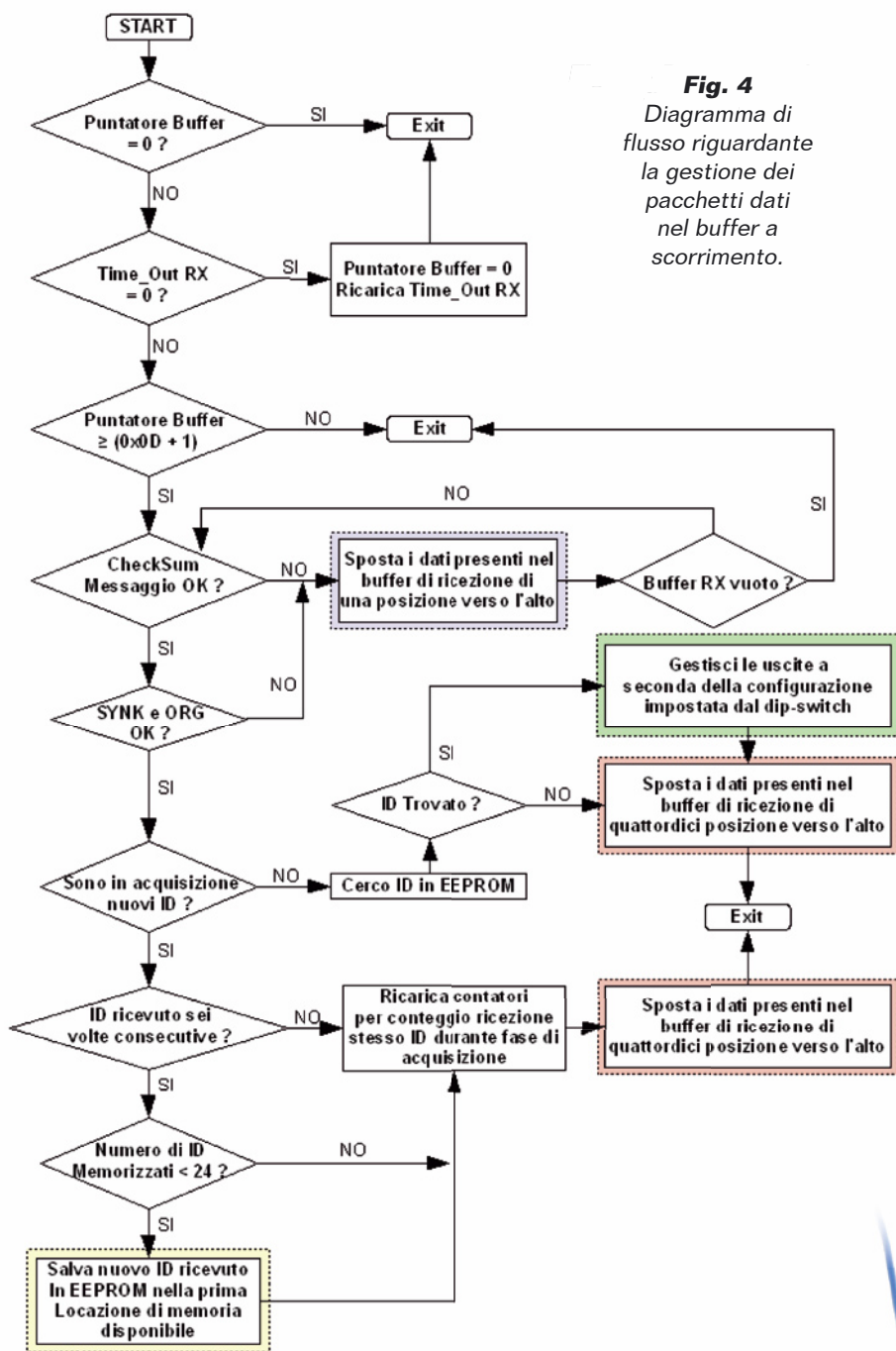


Fig. 4
Diagramma di
flusso riguardante
la gestione dei
pacchetti dati
nel buffer a
scorrimento.

ti indipendenti. La seconda parte del firmware si occupa di gestire le funzionalità della scheda: in particolare gli ingressi sulla porta A, alla quale sono collegati i due pulsanti LRN e CLR più il dip-switch di impostazione della modalità di funzionamento. Da essa vengono inoltre gestiti l'interfaccia seriale e il buffer di ricezione dei pacchetti trasmessi dal modulo ricevitore RCM120, oltre alle routine di acquisizione degli ID dei moduli PTM200. Vengono anche gestite tutte le funzioni inerenti alle uscite digitali, le quali possono essere semplici uscite digitali (ON/OFF) oppure uscite per comando di tapparelle motorizzate. I dati inviati dal modulo RCM120 vengono intercettati dalla periferica UART presente nel PIC18F2620 e memorizzati nel buffer di ricezione a scorrimento.

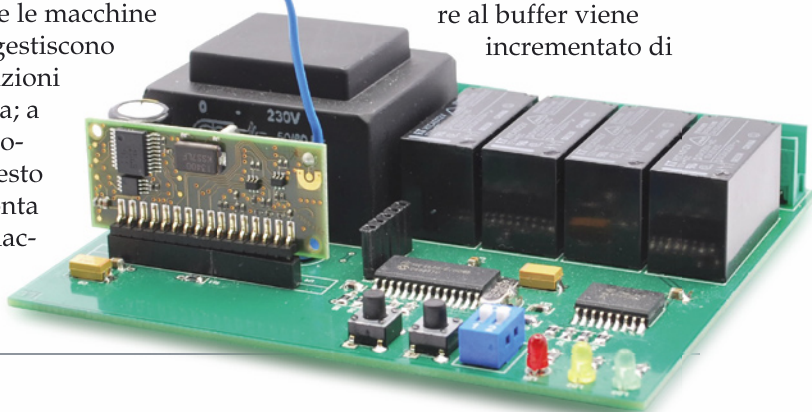
L'intercettazione dei byte inviati dalla seriale viene gestita sfruttando gli interrupt messi a disposizione dal PIC.

La periferica ha un registro di ricezione, chiamato RSR, il quale riceve il dato comprensivo del bit di start e stop; non appena viene ricevuto il bit di stop, il dato a 8 bit viene estrapolato e inviato al registro RCREG, generando un interrupt (Bit RCIF).

A questo punto il codice che gestisce l'interrupt della periferica UART legge il registro RCREG e lo memorizza nel buffer di ricezione a scorrimento. Ad ogni byte ricevuto il puntatore al buffer viene incrementato di

del PIC18F2620 (*Init. CPU*) e tutta la RAM, la quale viene scritta con valori noti (*Init. RAM*); ricordiamo che questo si rende necessario perché i microcontrollori allo start-up non hanno la memoria RAM inizializzata, quindi è buona norma scrivere in ogni locazione di memoria un valore noto. In ultimo vengono

inizializzate le macchine a stati che gestiscono le varie funzioni della scheda; a riguardo, notate che questo progetto conta ben sette macchine a sta-



una unità, puntando così alla locazione successiva. Il buffer è capace di memorizzare fino a tre pacchetti completi per un totale di 42 byte (ricordiamo che ogni pacchetto dati inviato dal modulo RCM120 è formato da 14 byte) dato che è stato dimensionato per riuscire a memorizzare fino a 50 byte; ciò permette di gestire eventuali situazioni di congestione. Il firmware testa di continuo il buffer (in particolare, il puntatore al buffer...) mettendolo in condizione di accorgersi di quando un pacchetto dati è stato ricevuto in modo completo; appena si accorge di ciò, inizia a processare i dati ricevuti: in particolare testa il checksum, i byte di SYNC e il byte di ORG.

La nostra applicazione gestisce solo i moduli trasmettitori PTM200, quindi il byte di ORG deve sempre essere pari a 0x05. Ovviamente, se necessario è possibile modificare il firmware affinché possa gestire dei moduli trasmettitori diversi del PTM200; l'importante è conoscere il valore del byte ORG e come i dati sensibili vengono memorizzati nel pacchetto.

Se i risultati dei test sono negativi, il sistema sposterà verso l'alto il contenuto del buffer e ritenterà il test finché l'esito non sarà positivo oppure fino a quando il buffer non sarà totalmente svuotato dai dati ricevuti. Se i dati presenti nel buffer sono validi verrà analizzato l'ID del modulo trasmesso e il relativo pulsante premuto, quindi il codice andrà a gestire le uscite, a seconda dell'impostazione del dip-switch collegato alla porta A.

Nella **Tabella 1** è riportato un esempio di buffer contenente tre pacchetti dati validi; il sistema li processerà uno alla volta spostando, alla fine dell'elaborazione, il buffer verso l'alto di 14



La casa si controlla dal televisore

Da oggi la casa si può gestire dalla TV! Grazie a BTicino, che ha realizzato il proprio sistema di domotica provvisto di interfaccia multimediale in grado di visualizzare le funzioni sullo schermo del TV; il sistema di domotica MyHome con interfaccia multimediale è un apparecchio da collegare al televisore, che rende accessibili tutti i comandi con la stessa familiarità d'uso del TV di casa, utilizzando un apposito radiocomando il quale, con una semplice programmazione, può diventare anche il telecomando universale dell'abitazione, in grado quindi di comandare l'impianto domotico, il televisore e le sorgenti audio/video collegate (ad esempio il lettore DVD). Tra le applicazioni, la regolazione della posizione delle tapparelle e della temperatura dell'ambiente mentre si è comodamente seduti a vedere il film preferito, oppure la riproduzione, tramite menu a video, di brani musicali in formato .mp3 presenti in uno o più PC della LAN casalinga. Ancora, si possono sfruttare audio/video per gestire servizi di comunicazione: così se qualcuno suona al videocitofono possiamo vederlo sul televisore mentre stiamo guardando un film...e aprirgli la porta.

posizioni. Se invece nel buffer sono presenti dati non validi, il sistema sposterà verso l'alto un solo byte alla volta, eseguendo poi tutte le verifiche del caso per la validazione del pacchetto. Durante lo spostamento, l'interrupt di gestione della periferica UART in ricezione viene

disabilitato; quest'operazione è necessaria perché durante lo spostamento verso l'alto viene modificato anche il puntatore al buffer, quindi se l'interrupt è generato prima che il puntatore al buffer sia stato correttamente aggiornato, il dato ricevuto dalla seriale non verrà memorizza-

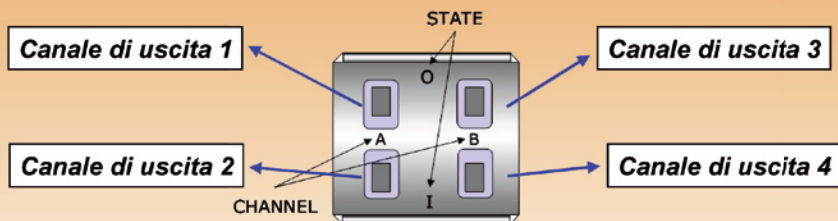


Fig. 5

to nella locazione di memoria corretta, compromettendo l'intero pacchetto di dati che si sta ricevendo. Questo approccio viene utilizzato anche durante l'acquisizione degli ID, con l'accortezza che l'ID ricevuto, per essere considerato valido, dovrà venire intercettato per sei volte consecutive: ciò significa che per validare l'ID e il codice del pulsante corrispondente sarà necessario premere e rilasciare per tre volte consecutive il pulsante del modulo PTM200. Questo metodo rafforza la procedura di acquisizione ed evita che ID non desiderati possano essere intercettati e memorizzati nella EEPROM del PIC18F2620. Se durante la fase di acquisizione di un ID il modulo ricevente intercetta una trasmissione contenente una serie di dati non validi (ad esempio il segnale radio di un altro radiocomando) la procedura si annulla automaticamente e bisogna ricominciare con la pressione del pulsante deside-

rato per tre volte consecutive. Il numero massimo di ID (e relativi codici pulsante) che si possono memorizzare in EEPROM è pari a ventiquattro; questo significa che per ogni canale di uscita è possibile abbinare un massimo di sei trasmettitori PTM200. La Fig. 5 mostra il flow-chart per la gestione dei pacchetti dati presenti nel buffer a scorrimento descritto precedentemente: come si può osservare, prima di arrivare alla gestione delle uscite (sezione evidenziata dal riquadro verde) o alla memorizzazione in EEPROM del nuovo ID (sezione evidenziata dal riquadro giallo) viene eseguita una serie di test. Tutte le volte che i test vanno a buon fine e le relative funzioni associate sono state eseguite, il buffer a scorrimento viene spostato verso l'alto di quattordici posizioni (sezione evidenziata dal riquadro rosso) mentre se il checksum o il byte di ORG e SYNC non sono validi, il buffer viene spostato verso l'alto di una

posizione (sezione evidenziata dal riquadro viola).

ACQUISIZIONE ID GESTIONE TAPPARELLE

La scheda prevede due pulsanti, ossia LRN (P1) e CLR (P2), per richiamare le varie funzioni necessarie alle impostazioni di base; vediamo di seguito come utilizzarli.

Premendo il pulsante P2 per più di cinque secondi vengono cancellati tutti gli ID memorizzati nella EEPROM del PIC18F2620 e viene resettata la locazione di memoria che contiene il moltiplicatore per la costante di tempo necessaria alla gestione della movimentazione delle tapparelle; il led LD1 rimane acceso per tre secondi, a indicare il buon esito dell'operazione. Premendo il pulsante P1 per più di cinque secondi, vengono ancora cancellati tutti gli ID, ma in più il sistema entra in modalità di acquisizione. Durante la cancellazione degli ID, LD1 rimarrà acceso per tre secondi; passati i tre secondi LD1 verrà spento, mentre LD2 ed LD3 inizieranno a lampeggiare con una cadenza ben precisa, a indicare le varie fasi di acquisizione degli ID da associare alle quattro uscite della scheda. Il led LD2 indica il numero di ID che si sta memorizzando per il canale di uscita corrispondente; siccome per ogni canale è possibile memorizzare fino a sei ID differenti, notate che LD2 emetterà da un minimo di un lampeggio a un massimo di sei lampeggi, indicando così a quale numero di ID si è arrivati durante l'acquisizione. LD3, invece, indica su quale canale si sta agendo e quindi farà da un minimo di uno a un massimo di quattro lampeggi. Per acquisire un nuovo ID (e relativo pulsante) è necessario premere per tre volte

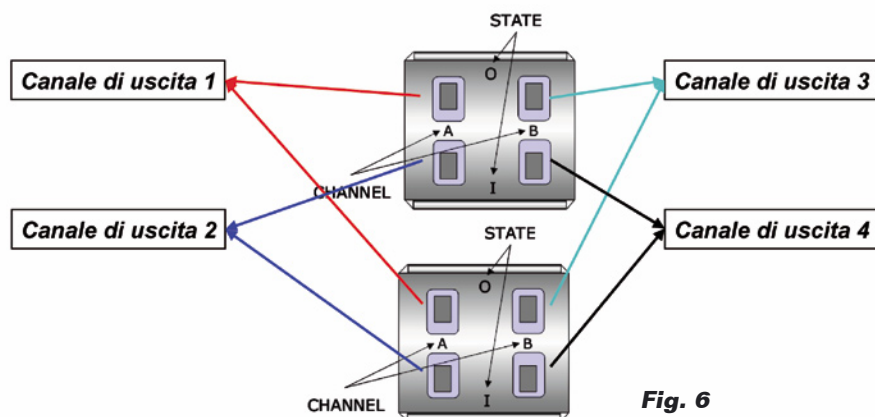


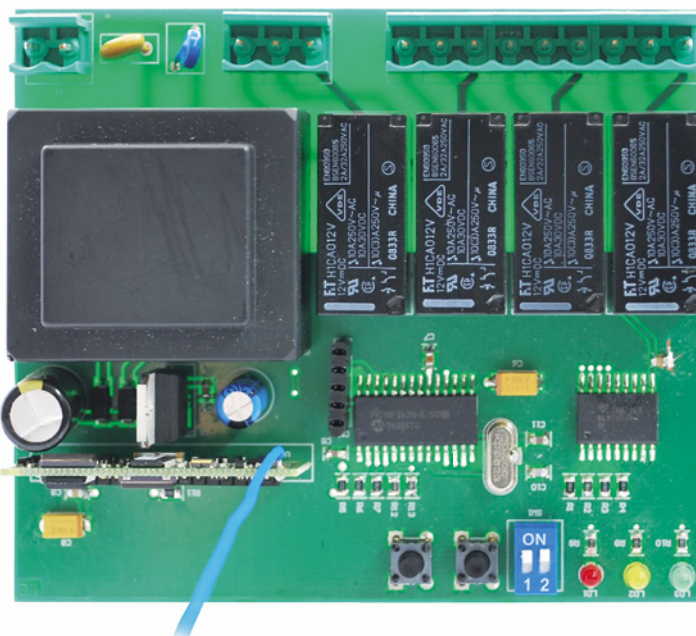
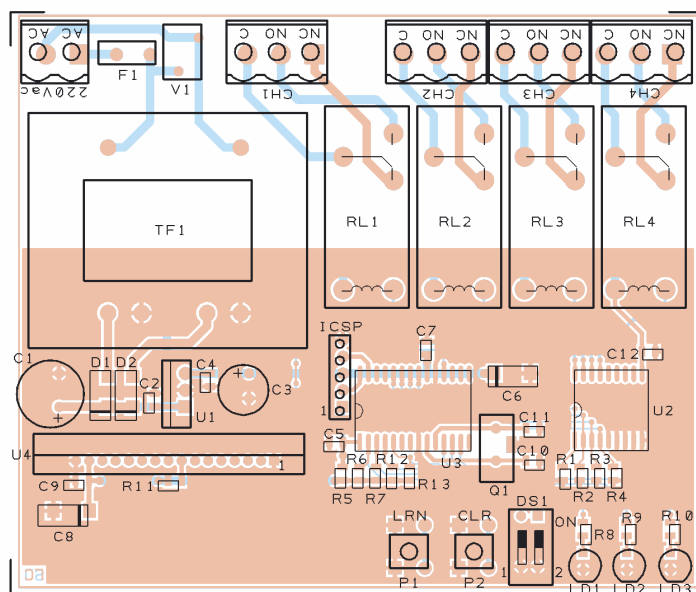
Fig. 6

Elenco Componenti:

R1÷R4, R6, R7, R11÷R13:
4,7 kohm (0805)
R5: 22 kohm (0805)
R8÷R10: 470 ohm (0805)
C1: 680 µF 25 VL elettrolitico
C2, C4: 100 nF multistrato (0805)
C3: 100 µF 25 VL elettrolitico
C5: 220 pF ceramico (0805)
C6, C8: 10 µF 25 VL elettrolitico
C7: 100 nF ceramico (0805)
C9, C12: 100 nF multistrato (0805)
C10, C11: 22 pF ceramico (0805)
D1, D2: GF1M
U1: 7805
U2: ULN2803ADW
U3: PIC18F2620-E/SO
U4: RCM120
DS1: Dip-switch 2 vie
P1, P2: Microswitch da c.s.
RL1÷RL4: Relé singolo scambio 12 V
(JW1FSN-DC12V)
TF1: Trasformatore 220Vca/2x9Vca 3 VA
F1: Termofusibile 80/120 mA
V1: Varistore S05K275
LD1: Led 3 mm rosso
LD2: Led 3 mm giallo
LD3: Led 3 mm verde
Q1: Quarzo 10 MHz

Varie:

- Strip maschio 5 poli
- Morsettiera componibile 2 poli
- Morsettiera componibile 3 poli (5 pz.)
- Circuito stampato



consecutive il pulsante desidera-
to del modulo PTM200. Se viene
verificata questa condizione, il
sistema provvede a memorizzare
nella EEPROM del PIC18F2620 il
codice ID del modulo PTM200 e
il codice del pulsante stesso.
Per fare un esempio supponiamo
di voler acquisire il primo ID ed
associarlo al canale 1 di uscita:
LD2 farà un lampeggio ogni
quattro secondi, evidenziando

che si sta acquisendo il primo ID,
mentre LD3 emetterà anch'esso
un lampeggio ogni quattro
secondi, segnalando che stiamo
agendo sul canale di uscita 1.
Premendo per tre volte conse-
cutive il pulsante del modulo
trasmettitore, verrà acquisito l'ID
dello stesso e il relativo pulsante.
Automaticamente LD2 passerà
da uno a due lampeggi ogni
quattro secondi, evidenziando

che il sistema è pronto ad acqui-
sire il secondo ID per il canale
di uscita 1; questa procedura
continuerà fino all'acquisizione
del sesto ID, allorché il sistema
passerà automaticamente al se-
condo canale di uscita. Di conse-
guenza LD2 farà nuovamente un
lampeggio ogni quattro secondi,
mentre LD3 farà due lampeggi
ogni quattro secondi, indicando
così che si è passati al secondo

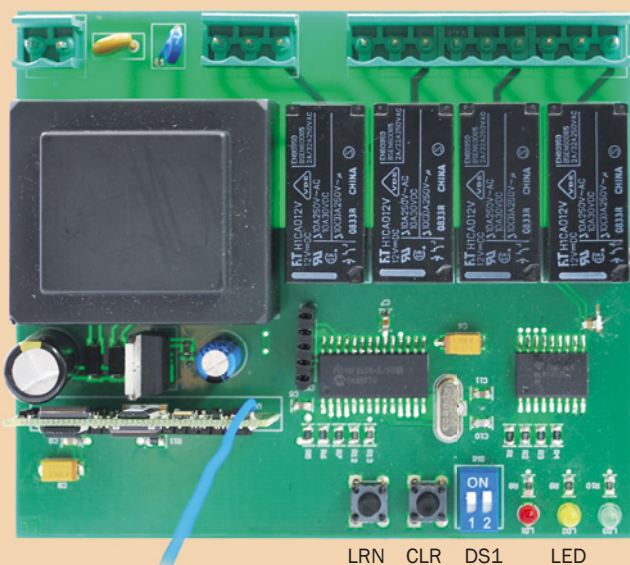


Tabella 2 - Impostazione delle funzioni.

	DS1/1	DS1/2	Funzione
	ON	ON	Configurazione a quattro relé di uscita (RL1 - RL4)
	OFF	ON	Configurazione a due tapparelle (tapparella 1, relé RL1 e RL2; tapparella 2, relé RL3 e RL4)
	ON	OFF	Configurazione a due relé e una tapparella (tapparella 2, relé RL3 e RL4)

canale. Ovviamente non siete obbligati ad acquisire per forza sei ID per ogni canale; se volete passare da un canale di uscita al successivo ci è sufficiente premere il pulsante LRN (P1). Se il PIC18F2620 non riceve più ID dalla seriale per un tempo superiore a cinque minuti, abbandona la modalità di acquisizione. Premendo per più di tre secondi i pulsanti CLR e LRN, verrà attivata la funzione di impostazione dei tempi di movimentazione delle tapparelle motorizzate, durante l'esecuzione della quale LD1 rimarrà acceso a luce fissa; LD2 servirà a conoscere qual è il tempo attualmente impostato: emetterà ogni tre secondi un lampeggio corrispondente a

una porzione di 30 secondi. Ad esempio, un lampeggio indica che il tempo di movimentazione impostato è 30 secondi, due lampeggi indicano un tempo di 60 secondi e via di seguito, fino a un massimo di dieci lampeggi, che corrispondono a 300 secondi. Per passare da una temporizzazione alla successiva, bisogna premere il pulsante LRN per più di un secondo; per uscire, basta premere nuovamente il pulsante CLR, ma per più di 500 ms. Una configurazione che si può assegnare ai comandi dati dai pulsanti dei trasmettitori PTM200, è quella visualizzata nella Fig. 5. Come si può notare, in questo esempio è stato associato un unico pulsante a ogni

Led e dip-switch

Tabella 3 - Segnalazioni dei led.

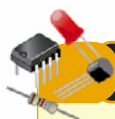
Led 3 (verde)	Led 2 (giallo)	Led 1 (rosso)	Condizione Operativa
ON fisso 2 secondi	ON fisso 2 secondi	ON fisso 2 secondi	Start Up scheda
OFF	OFF	ON fisso 3 secondi	Cancellazione ID moduli trasmettitori PTM200 dalla EEPROM del PIC
1 Lampeggio ogni 4 secondi	Esegue un numero di lampeggi ogni 4 secondi pari al numero di ID da memorizzare	OFF	Attesa per acquisizione dell'ID per l'uscita 1
2 Lampeggi ogni 4 secondi	Esegue un numero di lampeggi ogni 4 secondi pari al numero di ID da memorizzare	OFF	Attesa per acquisizione dell'ID per l'uscita 2
3 Lampeggi ogni 4 secondi	Esegue un numero di lampeggi ogni 4 secondi pari al numero di ID da memorizzare	OFF	Attesa per acquisizione dell'ID per l'uscita 3
4 Lampeggi ogni 4 secondi	Esegue un numero di lampeggi ogni 4 secondi pari al numero di ID da memorizzare	OFF	Attesa per acquisizione dell'ID per l'uscita 4
OFF	OFF	On fisso 2 secondi	Memorizzazione ID PTM200
OFF	1 Lampeggio ogni 3 secondi	ON fisso	Impostazione temporizzazione tapparelle: 1 lampeggio vale 30 s.

canale di uscita, che è la più semplice configurazione ipotizzabile per la nostra scheda. Nella Fig. 6 è, invece, illustrata una configurazione dove vengono assegnati due pulsanti per ogni canale di uscita. Come detto precedentemente, ad ogni canale si possono associare fino a sei pulsanti differenti; ovviamente si può anche pensare di associare lo stesso pulsante a tutti e quattro i canali. Le configurazioni che si possono ottenere sono molteplici. Per quel che riguarda la modalità di gestione delle tapparelle motorizzate, consigliamo di abbinare, ad esempio, il pulsante "O" del canale "A" al sollevamento (CH1) e il pulsante "I", sempre del canale "A", all'abbas-

Il massimo di due tapparelle deriva dal fatto che la gestione di ciascuna richiede due canali, quindi alla prima si associano i canali 1 e 2 e alla seconda i canali 3 (sollevamento) e 4 (abbassamento).

L'assemblaggio della scheda è molto semplice: una volta inciso e forato il circuito stampato (da costruire per fotoincisione ricavando la pellicola da una buona fotocopia su carta da lucido o acetato della traccia lato rame scaricabile dal nostro sito Internet www.elettronica.in.it) per prima cosa si devono saldare i due integrati U3 e U4, seguiti da tutte le resistenze e i condensatori in tecnologia SMT. Successivamente si montano in sequenza i diodi D1 e D2, il quarzo, i pulsanti P1 e P2, il dip-switch e il connettore (strip) per la programmazione in-circuit (ICSP). Seguono tutti i componenti tradizionali come i condensatori C1 e C4, il regolatore di tensione U1, il modulo RCM120, il varistore e il termofusibile, le morsettiere i relé e il trasformatore. Si consiglia di saldare direttamente sulla scheda l'interfaccia RCM120. Finito il montaggio, controllate le alimentazioni +5 V e +12 V; fatto ciò, programmate il PIC con il firmware da noi fornito (trovate anche questo nel nostro sito). Conclusa la programmazione del firmware, la scheda è pronta per l'uso; consigliamo di scegliere per prima cosa la modalità operativa attraverso il dip-switch e

mento, dovete spegnere la scheda, cambiare la configurazione dei dip-switch del DS1, quindi ridare alimentazione perché la modifica abbia effetto.



per il MATERIALE

I componenti utilizzati in questo progetto sono tutti facilmente reperibili. Il master del circuito stampato ed il firmware col quale programmare il microcontrollore sono scaricabili gratuitamente dal sito della rivista (www.elettronica.in.it). Il modulo ricevente Enocean RCM120 costa 51,00 Euro mentre il trasmettitore autoalimentato a 4 canali PTM200 costa 56,00 Euro. Tutti i prezzi si intendono IVA compresa.

Esempio d'uso delle uscite: CH1 e CH2 controllano carichi semplici, mentre CH3 e CH4 comandano una tapparella motorizzata.

GENERATORE DI SUONI con PIC



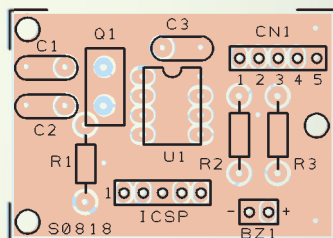
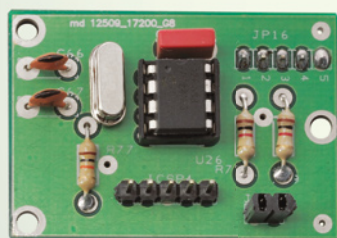
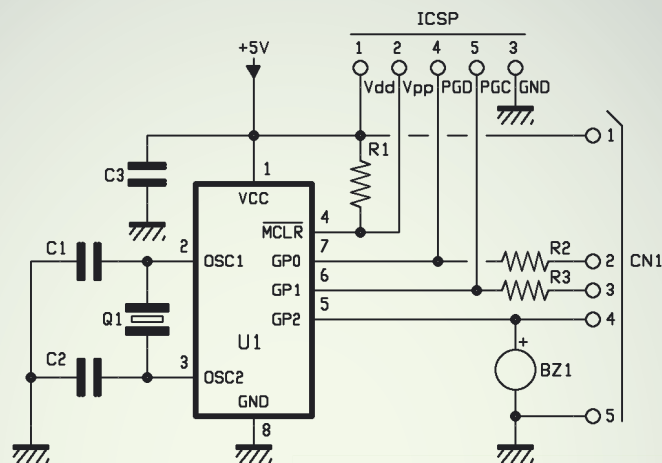
Può generare sia segnali acustici personalizzabili che suoni o vere note musicali. Si controlla tramite comandi da seriale la cui ricezione viene sempre confermata dalla scheda.

..... di CRISTIANO RUGGERI

In buona parte dei dispositivi elettronici, da quelli di uso quotidiano a quelli industriali, la comunicazione con l'utente può avvenire mediante segnalazioni visive su un display o tramite led, oppure con avvisi acustici (se non addirittura in tutti i tre modi citati); questo perché per noi è abbastanza intuitivo associare uno stato di allarme ad un lampeggio veloce, ad una particolare icona su display o ad un tono acuto intermittente, così come un tono singolo di breve durata o una luce verde che lampeggia lentamente possono essere legati ad

uno stato di normale funzionamento. A prescindere da ciò, la realtà dei fatti è che tutta la nostra vita viene condizionata da segnalazioni acustiche e ottiche che vengono generate dagli apparati con cui lavoriamo, ci divertiamo, curiamo la nostra salute... Questo vale anche e soprattutto per noi, che realizziamo i nostri progetti prevedendo in essi segnalazioni acustiche e/o visive al bisogno; in particolare, le segnalazioni acustiche le abbiamo sempre generate attraverso degli economici buzzer piezoelettrici, talvolta provvisti di circuito oscilla-

Il generatore di note e suoni



Elenco Componenti:

R1: 10 kohm	U1: PIC12F683-I/P
R2, R3: 1 kohm	(MF818)
C1: 12 pF ceramico	BZ1: cicalino piezo
C2: 12 pF ceramico	(vedi testo)
C3: 100 nF multistrato	Q1: Quarzo 20 MHz

Varie:

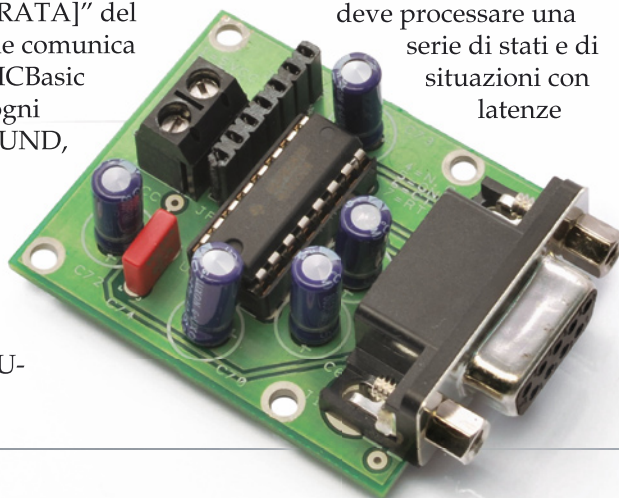
- Zoccolo 4+4
- Strip maschio 2 poli
- Strip maschio 5 poli (2 pz.)
- Circuito stampato

tore interno, talvolta sprovvisi. Nel primo caso per fargli emettere un suono ci basta applicare loro la sola tensione di alimentazione; per contro, però, con un cicalino provvisto di oscillatore possiamo generare una singola nota continua o, al più, modulata. Usando un cicalino a semplice pastiglia piezo, dobbiamo realizzare un generatore con cui pilotarlo, però abbiamo il vantaggio di personalizzare la nota dal punto di vista della frequenza, del timbro e della cadenza. Da buoni progettisti, quando non è necessario preferiamo evitare circuiti aggiuntivi e utilizziamo, perciò, cicalini completi di oscillatore; però, quando dobbiamo realizzare un circuito che

impiega un microcontrollore, ci viene più comodo usare semplici pastiglie piezo (cicalini senza oscillatore) pilotandole direttamente con una linea di I/O. Nel caso dei micro della serie PIC di Microchip, ciò l'otteniamo avvalendoci dell'istruzione "SOUND PIN,[TONO,DURATA]" del PICBasic, la quale comunica al compilatore PICBasic di generare, ad ogni ricorrenza di SOUND, una routine software in grado di far oscillare il pin "PIN" alla frequenza "TONO", per un tempo pari a "DURATA".

La versatilità di questa istruzione è indubbia: ci permette, infatti, di generare una moltitudine di toni di durata e frequenza variabili impiegando una sola linea di codice per ogni suono e una sola linea di output del micro. Non è, però, tutt'oro quel che luccica, poiché la SOUND presenta uno svantaggio che il più delle volte passa inosservato senza causare problemi, ma che deve essere tenuto in considerazione durante la scrittura di un programma in PICBasic: in pratica, ad ogni ricorrenza della routine generata dal compilatore in base all'istruzione SOUND, il programma principale si ferma in quel punto per generare il segnale acustico e non procede fino a quando il suono non è terminato. Per questa ragione, quando genera un segnale acustico, il programma si ferma e riprende subito dopo; se il tono da generare è di breve durata (50 o 100 ms), il fatto che il programma si fermi per tale lasso di tempo potrebbe non rappresentare un problema. Ma cosa succederebbe se il tono da generare fosse più complesso (più toni di durata differente) e più lungo? Il nostro programma potrebbe concedersi il lusso di arrestarsi fino al termine dell'emissione del segnale? La risposta è che spesso ciò è irrilevante, ma talvolta no, specialmente quando un dispositivo basato su microcontrollore

deve processare una serie di stati e di situazioni con latenze



brevi. Se, per esempio, dovessimo analizzare costantemente un segnale 50 volte al secondo, avremmo a disposizione dei cicli da 20 ms per acquisire il segnale, processarlo, generare un output appropriato e prepararci alla successiva acquisizione, pertanto non potremmo permetterci di generare un tono di allarme che duri un secondo, poiché ci farebbe perdere ben cinquanta campionamenti.

IL NOSTRO PROGETTO

Per generare qualcosa che sia più della semplice nota acustica a singolo tono ma senza bloccare il microcontrollore, abbiamo pensato di realizzare un generatore di note autonomo, basato su un PIC12F683 opportunamente programmato, che realizza un cicalino intelligente in grado di generare una serie di suoni e motivi sia predefiniti che definibili a piacere, ogni volta che riceve un comando seriale di lunghezza compresa tra 1 e 9 byte. Siccome alla velocità di 9.600 baud questo comando richiede solo 104 microsecondi al byte, l'impegno di tempo richiesto al micro per generare un suono è irrilevante.

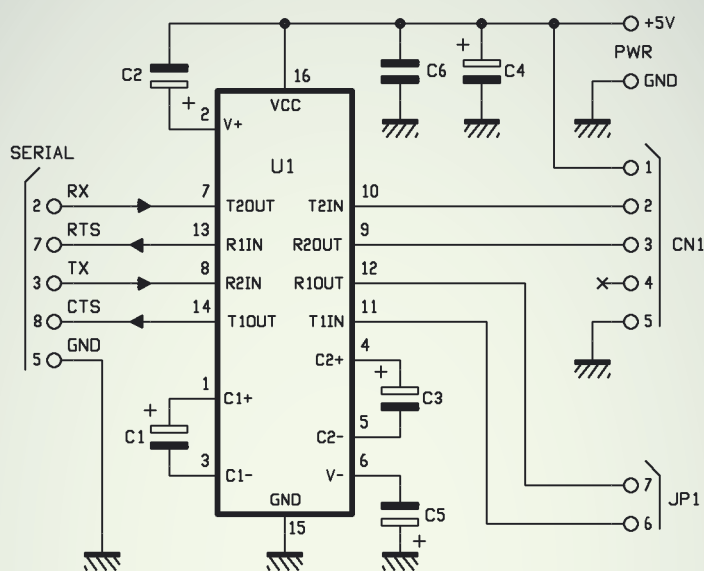
Inoltre, potendo disporre di un generatore personalizzabile, ogni progettista può contare, per le proprie applicazioni, su tante segnalazioni acustiche e quindi può segnalare diverse situazioni usando il semplice cicalino piezo. Sempre per il nostro generatore, abbiamo realizzato, a scopo puramente didattico, un programma alternativo che, facendo uso di comandi seriali, permette di generare 37 note musicali su tre ottave, da DO a DO, di intervallo compresa tra un minimo di 1/32 ed un massimo di 2 interi, considerando l'intero di durata pari a 1 secondo.

SCHEMA GENERATORE DI NOTE

Come potete notare, lo schema è molto semplice: il cuore del sistema è infatti rappresentato dal microcontrollore PIC12F683, pin-to-pin compatibile con il PIC12F675 (usato spesso nei

nostri progetti) ma caratterizzato da una maggiore memoria programma (2048 byte contro 1024), indispensabile per memorizzare un numero di segnali acustici sufficiente per tutte le esigenze. Le linee GP0 e GP1 vengono

L'interfaccia RS232

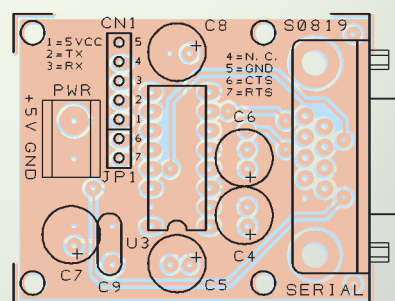
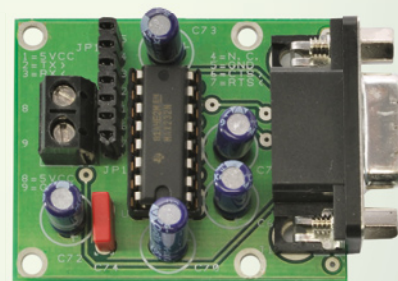


Elenco Componenti:

C1: 10 μ F 16 VL elettrolitico
C2: 10 μ F 16 VL elettrolitico
C3: 10 μ F 16 VL elettrolitico
C4: 10 μ F 16 VL elettrolitico
C5: 10 μ F 16 VL elettrolitico
C6: 100 nF multistrato
SERIAL: Connettore DB9 femmina da c.s.
U1: MAX232

Varie:

- Zoccolo 8+8
- Morsettiera 2 poli
- Strip femmina 2 poli
- Strip femmina 5 poli
- Circuito stampato





Musica e salute

È stato verificato che la musica ha effetti sulla mente e sulla psiche e, attraverso queste, sul resto del corpo. Ad esempio la musica è un pacemaker naturale e a seconda della sua velocità, il cuore si adatta aumentando o diminuendo le pulsazioni: più è veloce il ritmo, più il cuore batte in fretta e viceversa. La correlazione a livello del cuore si ripercuote sulla temperatura corporea, che si abbassa se la musica è rilassante e si alza in presenza di ritmi compulsivi. Inoltre una musica rilassante è in grado di stimolare il sistema immunitario, favorendo la produzione di linfociti, e di modificare la risposta ormonale allo stress tramite la produzione di endorfine. Alcune ricerche condotte in reparti di terapia intensiva (e, cosa molto interessante, su pazienti in stato d'incoscienza) hanno dimostrato che la musica classica ascoltata per mezz'ora produce lo stesso effetto di un sedativo. Una musica rilassante favorisce anche la forza muscolare e l'elasticità dei muscoli: la tensione muscolare diminuisce, liberando la pressione esercitata a carico delle articolazioni. La musica può anche influenzare l'appetito: se volete mangiare di meno è sufficiente che durante il pranzo ascoltiate della musica classica; viceversa, una musica veloce e allegra stimola il consumo e accelera il pasto.

impiegate sia per la programmazione ICSP, sia per la comunicazione seriale bidirezionale con il microcontrollore o il PC che devono usare il circuito; in questo caso, però, bisogna che siano protette tramite le resistenze R1 ed R2 (entrambe da 1 kohm), che servono per evitare che il programmatore ICSP, durante la programmazione, metta in cortocircuito gli I/O del micro esterno. Il quarzo X1 e i relativi condensatori C1 e C2 permettono di far funzionare il microcontrollore alla massima velocità operativa; in realtà,

l'oscillatore a 20 MHz serve solo per il programma del generatore di note musicali. Queste ultime hanno ognuna una frequenza prestabilita, ma le otteniamo con un divisore di frequenza che permette di arrivarci per approssimazione, ragion per cui la precisione è tanto più elevata quanto più è alta la frequenza del clock (20 MHz, appunto) da cui partiamo. Infatti, più dividiamo la frequenza, più ci è facile avvicinarci a valori che non sono ottenibili dividendo il clock per numeri binari interi. Con un

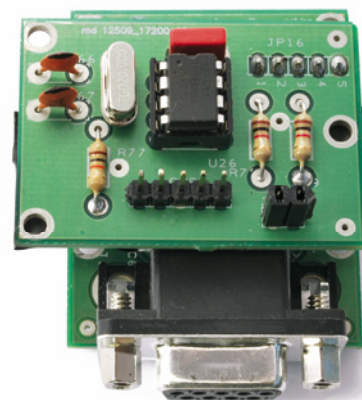
clock a 20 MHz siamo riusciti a riprodurre le note con un margine d'errore inferiore allo 0,1 %. Il programma del generatore di suoni e motivetti, invece, utilizza l'oscillatore da 8 MHz interno al micro: questa velocità è più che sufficiente per generare toni di segnalazione, in quanto anche se la frequenza reale è leggermente differente da quella teorica la cosa risulta accettabile.

Nel circuito sono presenti due strip da 5 pin: uno serve per la programmazione ICSP (ICSP) e l'altro (CN1) porta alimentazione, massa, linea di ricezione dati, linea di trasmissione dati e uscita per il cicalino. Il contatto 4 del CN1 serve per gestire un cicalino presente sul circuito dove si monta il modulo generatore di suoni; il cicalino si può comunque stagnare sulle due punte siglate BZ.

Per il circuito abbiamo previsto un piccolo stampato, in sostanza un modulo da montare in altri circuiti; ma nulla vieta di inserire direttamente sulla vostra piattaforma il solo PIC programmato ed il relativo buzzer.

IL CONVERTITORE SERIALE

Parallelamente al generatore, abbiamo realizzato anche un



Il circuito generatore di note e suoni montato sull'interfaccia RS232.

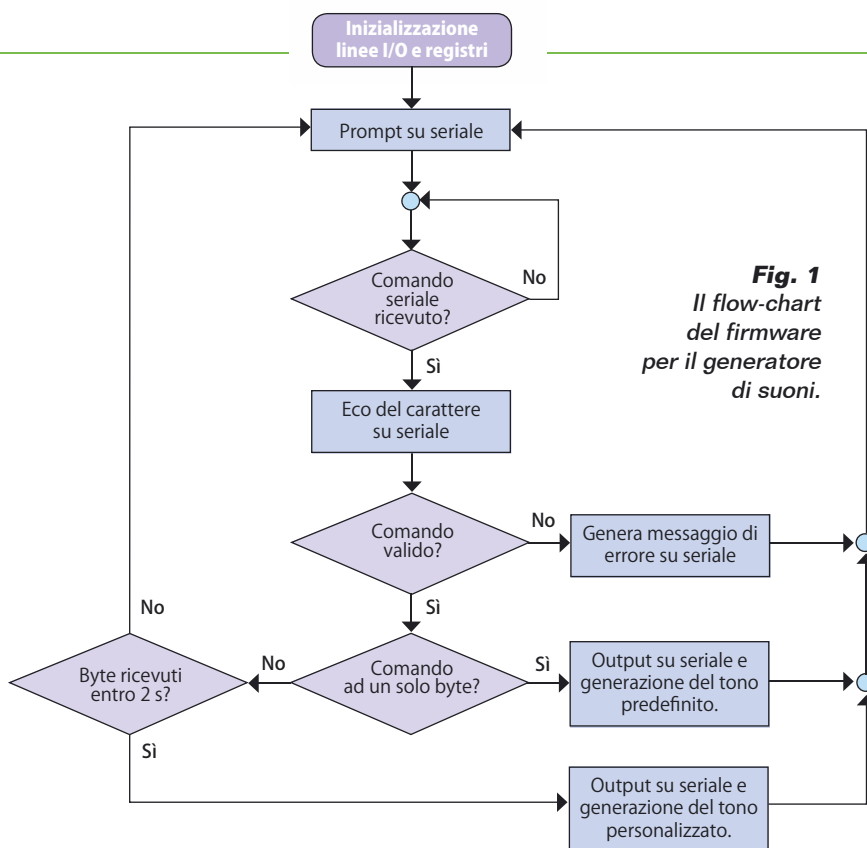


Fig. 1
Il flow-chart
del firmware
per il generatore
di suoni.

eventuali disturbi provenienti sia dall'alimentatore esterno che dai charge pump interni.

Il pin strip a 7 pin CN1/JP1 è l'interfaccia verso il circuito esterno e fornisce le linee di trasmissione (2), di ricezione (3), di alimentazione (1) e di massa (5), nell'ordine (pin 1÷5) richiesto dal circuito del buzzer.

Il pin 4, che corrisponde all'uscita speaker, e non viene utilizzato. I pin 6 e 7 di JP1 sono collegati alle linee CTS e RTS della seriale RS232 che, anche se non utilizzate nel progetto del generatore di suoni, potrebbero esserlo in altri vostri progetti.

REALIZZAZIONE PRATICA

Il circuito stampato previsto è del tipo a doppia faccia, quindi per realizzarlo scaricate dal nostro sito Internet il master

semplice convertitore seriale da TTL a RS232 funzionante a 5 V, con il quale è possibile collegare il generatore di note ad un PC qualsiasi dotato di porta seriale; il collegamento al computer permetterà di impostare il generatore per fargli riprodurre, dietro comandi seriali, le note desiderate.

Il converter è basato su un MAX232, il famoso circuito integrato che, partendo da una tensione di alimentazione di 5 V, è in grado di generare una tensione positiva ed una negativa di circa ± 10 V, con le quali alimenta la sezione di interfaccia RS232 che, come noto, funziona a tensione duale rispetto a massa. Le tensioni di ± 10 V vengono generate internamente con dei particolari convertitori a trasferimento di carica (charge pump), convertitori che si avvalgono dei condensatori C1÷C4. C5 e C6 filtrano la tensione di alimentazione (4,5÷5,5 V, da applicare alla morsettiera PWR tramite un alimentatore stabilizzato) da

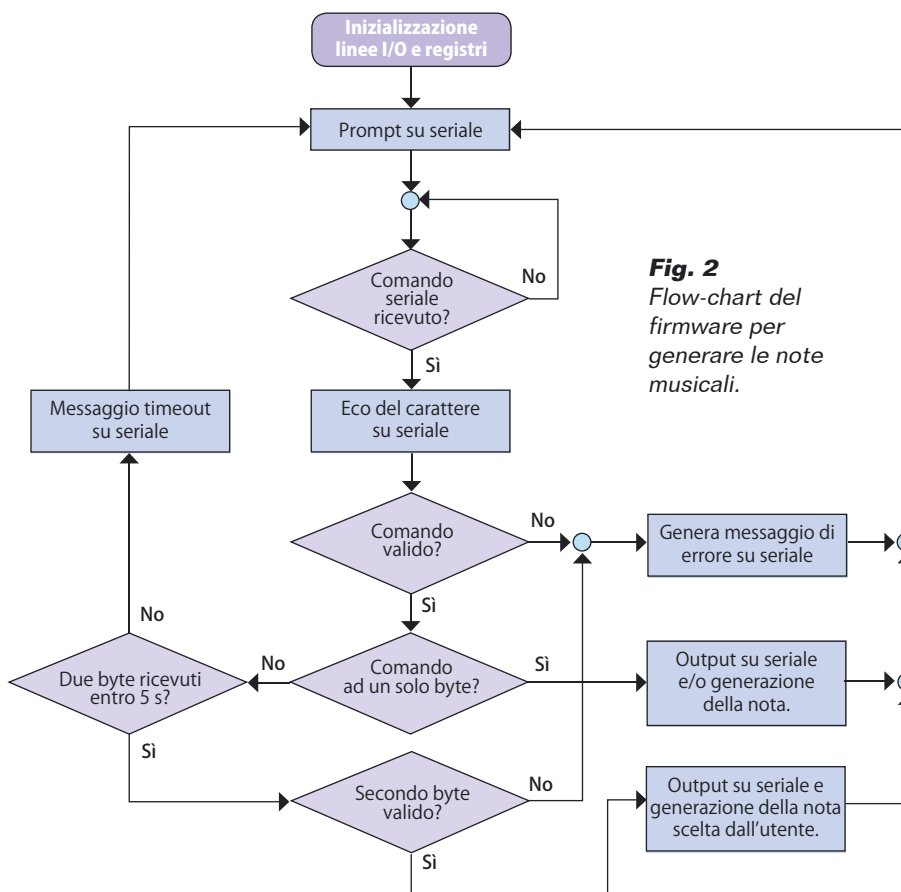


Fig. 2
Flow-chart del
firmware per
generare le note
musicali.

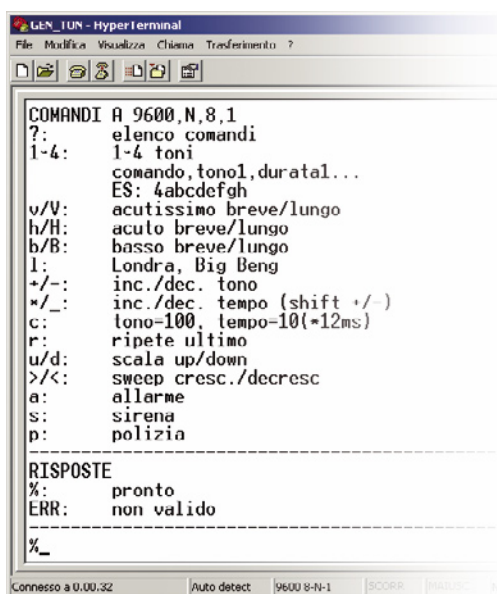


Fig. 3a - Schermata riepilogativa dei comandi del generatore di suoni.

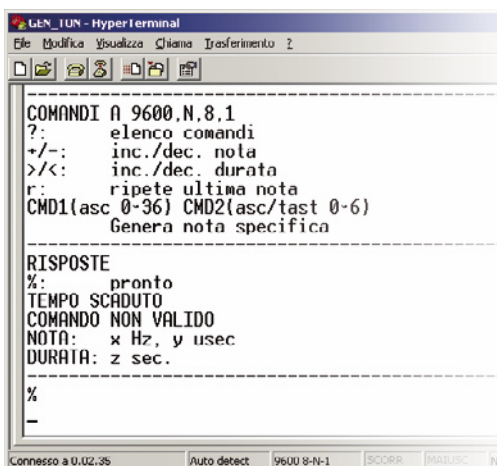


Fig. 3b - Schermata riepilogativa dei comandi del generatore di note.

(tracce lato rame delle due facce) e realizzate il c.s. con la tecnica della fotoincisione, prestando la dovuta attenzione alla corretta sovrapposizione delle tracce; finita l'incisione forate le varie piazzole ed iniziate il montaggio con le "vie", ossia i ponticelli che collegano le piste disposte su lati differenti. Montate quindi le tre resistenze, lo zoccolo a 8 pin DIL, i due condensatori da 15 pF, il

condensatore da 100 nF, il quarzo da 20 MHz e le due strip da cinque pin, una per l'ICSP e l'altra per l'interfaccia di collegamento. Potete aiutarvi con le illustrazioni relative al piano di montaggio. Inserite il PIC nel proprio zoccolo e fornite alimentazione (2÷5,5 V) al circuito che, per poter funzionare, deve anche essere collegato ad un dispositivo in grado di inviare dei comandi seriali a 9.600 baud. Collegate adesso il cicalino piezo al connettore CN1 oppure direttamente alle punte BZ, a seconda delle vostre necessità. Quanto al convertitore seriale, scaricate anche per esso i file con la traccia lato rame e stampate il master del c.s., quindi realizzate la scheda con la tecnica della fotoincisione, praticate i fori e saldate i ponticelli nelle vie. Saldate poi lo zoccolo dell'integrato, il connettore pin strip femmina CN1/JP1, il condensatore C6, quindi la morsettiera PWR, i condensatori C1÷C5 (attenzione alla polarità), ed infine il connettore DB9 da stampato. Il circuito, una volta alimentato e collegato alla porta seriale del PC, funzionerà immediatamente. Ultimata la realizzazione del convertitore RS232/TTL, collegatelo al Personal Computer e al nostro circuito.

IL FW DEL GENERATORE DI SUONI

Per il nostro dispositivo abbiamo previsto due programmi: uno per sintetizzare note musicali e l'altro per costruire avvisi acustici personalizzati o riprodurre suoni standard. Quest'ultimo, funzionante sfruttando il clock a 8 MHz interno al microcontrollore, genera una serie di suoni e motivi predefiniti tra i quali ci sono una scala di note crescente ed una decrescente, uno sweep in salita e uno in discesa, una sirena, l'in-

confondibile Big Beng di Londra ed altro ancora. È intuibile che tutto il programma orbiti attorno all'istruzione SOUND che, come abbiamo già detto, permette di generare dei suoni di durata e frequenza prestabiliti. In effetti non vi è alcuna ragione per cui si debba reinventare la ruota: l'istruzione funziona bene e, noto il suo unico svantaggio (il blocco del programma fino al termine dell'istruzione stessa), può essere utilizzata a proprio piacimento. Noi l'abbiamo associata ad un efficiente "parser" di comandi seriali, ossia ad un processo di riconoscimento e convalida di caratteri ricevuti tramite seriale, processo che termina con l'emissione di un tono e di un messaggio su seriale (se previsti) oppure con un messaggio di errore qualora il carattere ricevuto non dovesse essere valido. Come visibile dal diagramma di flusso nella Fig. 1, all'avvio il programma inizializza il microcontrollore quindi invia sulla seriale il prompt ("%") con cui segnala di essere pronto a ricevere i comandi. Inizia quindi un ciclo di attesa di un carattere comando su seriale, ricevuto il quale il programma, dopo avere fatto l'eco verso il PC del comando testè ricevuto, passa al successivo livello di verifica. Se il comando è ignoto, il programma genera un messaggio di errore su seriale ("ERR.") altrimenti verifica che si tratti di un comando a singolo byte. In questo caso viene generato il tono associato a quel comando, eventualmente accompagnato da una comunicazione su seriale. A tal proposito è necessario aprire una breve parentesi: alcuni comandi (v, V, h, H...) non prevedono alcun output su seriale perché richiamano l'esecuzione di un suono o motivo predefinito, mentre altri

Listato 1

```
PROMPT:
... Ricezione e riconoscimento dei comandi
...
NOTE = NOTE_COUNTER      ' Assegna sia la nota
TIME = TIME_COUNTER      ' che la sua durata.
select case NOTE          ' Processa la nota per frequenza e periodo.
                          ' Note e periodo sono assegnate in base a una tabella.

    case D01
        FREQ_NOTE= 262
        PERIOD_NOTE= 1911

    case xx
        ...

    case D04
        FREQ_NOTE= 2093
        PERIOD_NOTE= 239

end select
serout TXD,T9600,["Nota:  ",#FREQ_NOTE," Hz",#PERIOD_NOTE," usec"]
call CRLF
serout TXD,T9600,["Durata: "]
select case TIME
    case 0
        cycle = FREQ_NOTE * 4
        serout TXD,T9600,["2"]
    case 1
        cycle = FREQ_NOTE * 2
        serout TXD,T9600,["1"]
    case 2
        cycle = FREQ_NOTE ' Calcola la durata del ciclo.
        serout TXD,T9600,["1/2"] ' Invia durata su seriale.
    case 3
        cycle = FREQ_NOTE / 2
        serout TXD,T9600,["1/4"] ' Invia durata su seriale.
    case 4
        cycle = FREQ_NOTE / 4
        serout TXD,T9600,["1/8"] ' Invia durata su seriale.
    case 5
        cycle = FREQ_NOTE / 8
        serout TXD,T9600,["1/16"] ' Invia durata su seriale.
    case 6
        cycle = FREQ_NOTE / 16
        serout TXD,T9600,["1/32"] ' Invia durata su seriale.
    case else
        ' Casi differenti non contemplati.
        ' Fine controllo.
end select
serout TXD,T9600,[" sec."]
call CRLF
call NOTE_OUT
goto PROMPT
*****

NOTE_OUT:
NOTE = NOTE_COUNTER      ' Routine che genera la nota.
TIME = TIME_COUNTER      ' Imposta la nota.
serout TXD,T9600,["#NOTE,",",",#TIME] ' Imposta la durata.
call CRLF                ' Invia nota su seriale.
for TMP = 0 to cycle
    toggle SPK            ' A capo.
    pauseus (PERIOD_NOTE-10) ' Ciclo di emissione nota.
next TMP                 ' Muove uscita speaker.
low SPK                  ' Pausa calcolata dal periodo.
return                   ' Ripete il ciclo.
                          ' Azzera uscita altoparlante.
                          ' Fine esecuzione nota.
*****
```

Commento al LISTATO

La routine che genera la nota.

Dopo aver convalidato il comando della nota, il programma va ad identificare la frequenza ed il periodo di tale nota. Conosciuta la frequenza, infatti, è possibile calcolare la durata: un LA a 440Hz della durata di ¼ di secondo è infatti costituito da 110 vibrazioni distanti tra loro un tempo pari a 1/440 secondi. Allo stesso modo, un DO a 2093 Hz da un intero è costituito da 2093 oscillazioni aventi periodo pari a 1/2093 secondi e così via. Si può quindi affermare quanto segue:

Nota da 2 interi: "Frequenza nota x 4" cicli di durata pari a 1/Frequenza nota
 Nota da 1 intero: "Frequenza nota x 2" cicli di durata pari a 1/Frequenza nota
 Nota da ½: "Frequenza nota x 1" cicli di durata pari a 1/Frequenza nota
 Nota da ¼: "Frequenza nota x ½" cicli di durata pari a 1/Frequenza nota
 Eccetera. Viene, infine, chiamata la routine che genera la nota: essa imposta un ciclo for-next di tante iterazioni quante ne occorrono per ottenere la nota della durata scelta e, ad ogni iterazione, inverte lo stato della linea di comando del buzzer ad intervalli regolari di valore 1/Frequenza Nota. I periodi di ogni nota sono stati calcolati in fase di scrittura del programma.

(?, r, 1, 2, +, -...) lo prevedono in quanto non solo generano un suono, ma comunicano all'utilizzatore anche i parametri di tale suono. Potete comunque fare riferimento alla Tabella 1, che riassume tutti i comandi e le relative risposte. Il comando

"?" determina l'invio su seriale dell'elenco dei comandi previsti, insieme ad una breve descrizione della relativa funzione. Chiusa questa parentesi, torniamo al riconoscimento del comando che, quando è composto da più byte, viene gestito da una

procedura differente da quella già vista. Mentre nella precedente il programma legge dalla memoria dei parametri predefiniti e genera un tono in base ad essi, in questa il tono viene costruito con i parametri che l'utente invia al programma attraverso la seriale.

Tabella 1 - I comandi seriali del generatore di toni.

Funzione	Comando	Risposta all'esecuzione comando	Note
Elenco comandi online	?	Elenco comandi seguito da prompt%	Vedere Fig. 3a
Generazione di un tono particolare	1<T1><D1> T1 e D1 valgono 0÷255	Eco comando seguito da valori decimali di T1 e D1 e prompt%.	Es. risp: %1 107,15 %
Generazione di due toni particolari	2<T1><D1><T2><D2> Tx e Dx valgono 0÷255	Eco comando seguito da valori decimali di Tx e Dx e prompt %.	Es. risp: %2 107,15,100,20
Generazione di tre toni particolari	3<T1><D1><T2><D2><T3><D3> Tx e Dx valgono 0÷255	Eco comando seguito da valori decimali di Tx e Dx e prompt %.	Es. risp: %3 107,15,100,20,95,10 %
Generazione di quattro toni particolari	4<T1><D1><T2><D2><T3><D3><T4><D4> Tx e Dx valgono 0÷255	Eco comando seguito da valori decimali di Tx e Dx e prompt %.	Es. risp: %4 107,15,100,20,95,10,60,100 %
Tono acutissimo breve	v	%	Minuscolo
Tono acutissimo lungo	V	%	Maiuscolo
Tono acuto breve	h	%	Minuscolo
Tono acuto lungo	H	%	Maiuscolo
Tono basso breve	b	%	Minuscolo
Tono basso lungo	B	%	Maiuscolo
Big Beng	l	%	Minuscolo
Incrementa frequenza tono	+	SOUND PIN,[TONO,DURATA] %	Utile in fase di progettazione per identificare toni differenti da quelli predefiniti, riproducibili con i comandi da 1 a 4.
Decrementa frequenza tono	-	SOUND PIN,[TONO,DURATA] %	Come sopra
Incrementa durata tono	*	SOUND PIN,[TONO,DURATA] %	Come sopra
Decrementa durata tono	-	SOUND PIN,[TONO,DURATA] %	Come sopra
Ripristino tono predefinito legato ai comandi +/-*/_	c	SOUND PIN,[100,10] %	Minuscolo
Ripetizione ultimo tono generato con +/-*/_	r	SOUND PIN,[TONO,DURATA] %	Minuscolo
Scala crescente di tre note	u	%	Minuscolo
Scala decrescente di tre note	d	%	Minuscolo
Sweep crescente	>	%	
Sweep decrescente	<	%	
Segnale di allarme	a	%	Minuscolo
Sirena	s	%	Minuscolo
Polizia	p	%	Minuscolo
Comando non valido	Qualsiasi carattere differente da quelli elencati	ERR %	
Prompt all'accensione	nn	PRONTO %	Inviato solamente dopo l'accensione
Prompt di libero ad eseguire un nuovo comando	Un comando valido	%	Utile qualora il micro utilizzato disponga di un buffer di ricezione: in questo caso è possibile verificare il termine del comando.

Non è previsto, in questo caso, un controllo dell'errore in quanto l'istruzione SOUND può accettare come parametri tutti i valori ASCII (0÷255) generabili tramite la tastiera del PC oppure tramite un output di un byte effettuato da un qualsiasi processore. L'unico controllo che viene effettuato riguarda il tempo di inserimento dei byte, limitato a due secondi.

In altre parole, i comandi a più byte devono essere ricevuti entro due secondi dalla ricezione del primo byte, utilizzato sempre come comando (i byte successivi sono sempre e solo parametri). Quando il comando viene eseguito, il programma genera il suono e invia alla seriale i parametri seguiti dal prompt. In caso di timeout, invece, viene inviato il

solo prompt.

Come si vince da quanto appena esposto, questa soluzione sgrava il processore principale dall'incombenza della generazione del tono: sia che si tratti di un segnale predefinito, sia che si tratti di un tono personalizzato, il microcontrollore principale deve solo inviare al buzzer intelligente un comando via seriale, spen-

dendo così meno cicli macchina di quanti ne spenderebbe per generare il tono da sè.

IL FIRMWARE DEL GENERATORE DI NOTE

Questo secondo programma (funzionante a 20 MHz con il quarzo esterno al micro) a differenza del primo non gene-

ra dei toni o motivi predefiniti (sirena, polizia, beep acuto breve e così via), bensì delle note reali sintetizzate in base a una tabella di parametri e ad una routine matematica differente dall'istruzione SOUND. In altre parole, il programma permette di usare il nostro dispositivo come uno strumento musicale gestito da

PC: genera le stesse note che verrebbero generate, ad esempio, pigiando i tasti di un pianoforte. È in grado di riprodurre con buona precisione in frequenza (errore inferiore allo 0,1%) tutte le note (alterazioni diesis e bemolle incluse) comprese tra il DO a 262 Hz (terza ottava) e il DO a 2093 Hz (sesta ottava), assegnando ad esse una durata compresa tra 2 interi e 1/32, considerando un intero pari alla durata di un secondo. Chiaramente, non dovete aspettarvi di ascoltare la timbrica di un pianoforte a coda: dopotutto le nostre note vengono generate con un'onda quadra che pilota un buzzer piezoelettrico. Concettualmente, il diagramma di flusso (Fig. 2) è simile a quello già visto: si tratta sempre di un parser di comandi seriali che genera una nota ed un messaggio seriale in funzione della validità del comando ricevuto. Esistono però alcune differenze nella gestione dei parametri assegnati ai comandi a due byte (qui i comandi sono sempre a 1 o 2 byte): in questo caso viene verificata la validità del secondo byte (durata della nota) oltre al tempo di ricezione del comando. In pratica, quando il micro riceve dalla seriale un carattere il cui valore ASCII sia compreso tra 0 e 36 (le note da DO 3^a ottava a DO 5^a ottava sono 37, come visibile nella Tabella 3), sa che deve generare la nota associata a quel valore, per un tempo che dipende dal secondo byte ricevuto. Ora il programma attende per cinque secondi anche il secondo byte, generando un messaggio di timeout seguito dal prompt comandi quando non riceve il secondo byte entro tale tempo, oppure un messaggio di errore (sempre seguito da prompt comandi) o una nota specifica in frequenza e durata a seconda

Tabella 2 - I comandi seriali del generatore di note.

Funzione	Comando	Risposta all'esecuzione comando	Note
Elenco comandi online	?	Elenco comandi seguito da prompt%	Vedere Fig. 3b
Incrementa frequenza nota	+	% Nota: x Hz,y usec Durata: z sec. nota,durata %	Permette di ascoltare una nota e di identificarne i due parametri, in modo da generarla in seguito con il solo invio dei due parametri.
Decrementa frequenza nota	-	% Nota: x Hz,y usec Durata: z sec. nota,durata %	Come sopra
Incrementa durata nota	>	% Nota: x Hz,y usec Durata: z sec. nota,durata %	Come sopra
Decrementa durata nota	<	% Nota: x Hz,y usec Durata: z sec. nota,durata %	Come sopra
Ripetizione ultima nota generata con +/-/>/<	r	% Nota: x Hz,y usec Durata: z sec. nota,durata %	Come sopra
Nota di durata e frequenza specifiche	<Nota><Durata>	% Nota: x Hz,y usec Durata: z sec. nota,durata %	Nota può valere 0÷36 (in ascii) Durata può valere 0÷6 (in ascii) oppure 48÷54 (che in ascii rappresentano i numeri da 0 a 6)
Prompt all'accensione	nn	PRONTO %	Inviato solamente dopo l'accensione.
Prompt di libero ad eseguire un nuovo comando	Un comando valido	%	Utile qualora il micro utilizzato disponga di un buffer di ricezione: in questo caso è possibile verificare il termine del comando.
Comando non valido	Qualsiasi carattere differente da quelli elencati	COMANDO NON VALIDO %	
Superato tempo massimo immisione comando nota/durata	nn	TEMPO SCADUTO %	

Tabella 3 - Corrispondenza 1° byte comando-nota.

Nota	Comando
DO3	0
DO3#	1
RE3	2
RE3#	3
MI3	4
FA3	5
FA3#	6
SOL3	7
SOL3#	8
LA3	9
LA3#	10
SI3	11
DO4	12
DO4#	13
RE4	14
RE4#	15
MI4	16
FA4	17
FA4#	18
SOL4	19
SOL4#	20
LA4	21
LA4#	22
SI4	23
DO5	24
DO5#	25
RE5	26
RE5#	27
MI5	28
FA5	29
FA5#	30
SOL5	31
SOL5#	32
LA5	33
LA5#	34
SI5*	35
DO6	36

che il secondo byte sia errato o valido. Va da sè che questo applicativo non può condividere tutti i comandi del precedente e pertanto fate riferimento alla Tabella 2, specifica per questo caso. Ogni nota viene sempre preceduta dall'invio su seriale dei suoi parametri.

UTILIZZO IN PRATICA

Quale che sia il firmware caricato nel microcontrollore, per il corretto funzionamento è necessaria la presenza di un altro "oggetto intelligente" (microcontrollore

Tabella 4 - Corrispondenza 2° byte comando-durata.

Durata	Comando ASCII	Comando testo ed Hex
2 secondi	0	"0", hex 30
1 secondo	1	"1", hex 31
½ secondo	2	"2", hex 32
¼ secondo	3	"3", hex 33
1/8 secondo	4	"4", hex 34
1/16 secondo	5	"5", hex 35
1/32 secondo	6	"6", hex 36

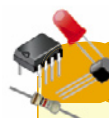
più potente o PC controllato da un operatore) che invii al micro del generatore di suoni i comandi seriali necessari. Per le nostre note operative noi abbiamo utilizzato un PC su cui è aperta una sessione Hyper Terminal (9600, N, 8, 1, No Flow Control).

Siamo certi che, una volta attivato il sistema e collegato il PC, non avrete difficoltà ad utilizzare il dispositivo con entrambi i firmware. Qui ci limitiamo ad alcuni semplici esempi.

Il comando per mostrare l'elenco comandi è il ?. In entrambi i programmi è a singolo byte e genera gli output visibili nelle figure 3a e 3b. Il prompt comandi è sempre % ed r ripete ogni volta l'ultimo tono o nota emesso. Vediamo ora alcuni casi specifici per entrambi i FW, iniziando da quello del generatore di suoni e motivi. Data l'istruzione SOUND PIN,[NOTA,DURATA], + e - permettono di variare il parametro NOTA entro il campo di validità 0÷127. Analogamente

* e _ (shift+ e shift- su tastiera italiana) variano il parametro durata (sempre tra 0 e 127). L minuscolo simula il Big Beng di Londra, mentre u e d generano una scala crescente e una decrescente di tre note. 2 seguito da quattro parametri ascii di valore 0÷255 generano due toni di durata e frequenza definibili secondo la sintassi 2<tono1><durata1><tono2><durata2>. Per tutti gli altri casi, vi rimandiamo alla Tabella 1 e alla sperimentazione pratica. Il programma del generatore di note, invece, dispone di un

minor numero di comandi. + e - incrementano o decrementano la nota, un po' come se si stessero pigiando uno dopo l'altro i tasti di un pianoforte. < e >, invece, variano la durata della nota secondo la sequenza crescente o decrescente di "2 interi, 1 intero, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32". Un valore ASCII da 0 a 36 identifica una nota specifica tra le 37 comprese tra il DO della terza ottava e il DO della sesta ottava e deve essere seguito da un secondo byte che definisca la durata di tale nota. Questo byte può valere da 0 a 6 in ASCII (0 = 2 interi, 6 = 1/32) oppure un alfanumerico da 0 a 6 (pari a hex30÷36, cioè 48÷54 in ascii codificato in decimale). Ad esempio, il comando <15><3> genera il RE# della quarta ottava della durata di ¼ di secondo. Ora ci fermiamo qui, lasciando a voi l'opportunità di procedere con la sperimentazione, aiutandovi con le tabelle 2, 3 e 4. ■



per il MATERIALE

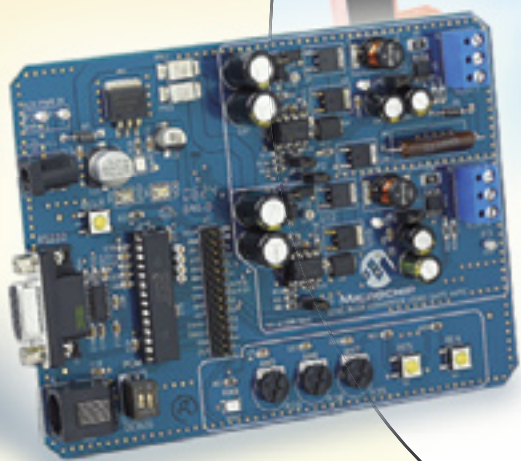
Tutti i componenti utilizzati in questo progetto sono di facile reperibilità. Il master del circuito stampato ed il firmware del micro possono essere scaricati gratuitamente dal sito della rivista. Il micro è anche disponibile già programmato al costo di 8,00 Euro (cod. MF818).

Il materiale va richiesto a:
Futura Elettronica, Via Adige 11,
21013 Gallarate (VA)
Tel: 0331-799775 • Fax: 0331-792287
<http://www.futurashop.it>

Introduzione ai dsPIC

Concludiamo lo studio dei DSC Microchip con un'applicazione pratica dell'algoritmo PID: il controllo di un motore in corrente continua.

di CALOGERO LOMBARDO



I sistemi di controllo sono un settore in cui trovano largo impiego i DSP; ecco perché in questa puntata conclusiva del nostro corso faremo una breve ma significativa esplorazione al mondo dell'automatica, spiegando l'algoritmo più impiegato nei sistemi di controllo: il regolatore Proporzionale – Integrativo – Derivativo (in breve, PID). Quando avrete capito di cosa si tratta, vi faremo vedere come applicarlo al controllo di un motore in corrente continua. In questa trattazione troverete

il giusto equilibrio fra teoria e pratica: partendo dalla formulazione matematica del controllo, si arriverà presto all'implementazione su un dsPic del PID. Questa è sicuramente l'occasione giusta per tanti di voi che conoscono i principi teorici del controllo retroazionato di un motore DC a cui, però, mancano le fondamentali informazioni che permettono la realizzazione pratica del sistema.

È anche l'opportunità per coloro che hanno sempre voluto realizzare il controllo del loro motore DC, ma che non sanno come muoversi, perché non hanno alcuna conoscenza di "automatica". Se avete seguito le due precedenti puntate di questo corso (introduzione ai dsPIC e alla periferica Motor Control PWM e lettura di un Encoder in Quadratura con dsPIC) avrete capito benissimo che le pagine che leggerete sono un naturale tassello da aggiungere al puzzle che vi darà la visione d'insieme.

I SISTEMI DI CONTROLLO RETROAZIONATO

Sappiamo tutti che un sistema di controllo automatico è quel congegno capace di comandare una particolare grandezza fisica di un processo o di una macchina, senza che l'uomo debba intervenire, se non per indicare che valori deve assumere quella grandezza. Una situazione in cui è necessario un controllo, potrebbe essere quella di un serbatoio contenente un liquido di cui si vuol mantenere costante il livello (grandezza fisica) regolando opportunamente l'afflusso del liquido stesso. Un altro esempio è ovviamente il classico motore in corrente continua, di cui vogliamo controllare la velocità di rotazione; se ciò viene fatto da un sistema di controllo automatico, noi dovremo solo occuparci di comunicare il valore che la grandezza fisica deve assumere, chiamato, in gergo tecnico, *riferimento* (o se preferite, *set point*). In altre parole, il numero di giri al minuto desiderati. Sarà poi compito del controllore, agire sul motore, regolando

opportunamente la tensione d'alimentazione, per far sì che effettivamente la velocità segua il riferimento. La velocità reale del motore è detta *uscita del sistema* o *variabile controllata*, mentre la tensione d'alimentazione è la *variabile di controllo*.

I sistemi di controllo si possono suddividere in due tipologie, che sono le seguenti.

- Ad *anello aperto*, dove l'azione del sistema di controllo non è dipendente dall'uscita del sistema, nel senso che il controllore cerca di far seguire il riferimento, senza però essere a conoscenza del valore che effettivamente sta assumendo l'uscita. Questo è un tipo di controllo che si basa sulla predizione o su opportuni modelli matematici del processo da controllare.
- Ad *anello chiuso* o detto anche *retroazionato*: l'azione di controllo dipende dall'uscita, nel senso che il controllore conosce l'andamento reale dell'uscita e in base alla differenza che c'è fra questa ed il riferimento, corregge di conseguenza la sua azione, secondo un'opportuna legge.

Resta inteso che entrambi i sistemi di controllo esplicano la loro azione mediante la variabile di controllo; la legge utilizzata dal controllo per eseguire l'azione correttiva è proprio il PID.

Le **figure 1 e 2** sintetizzano le due definizioni appena date.

Notate che nel controllo retroazionato la differenza fra riferimento e uscita reale viene chiamata errore; più in generale, nei sistemi di controllo automatico il segnale di errore risulta dalla differenza tra quello di uscita e quello atteso. Notate ancora che un tipico sistema di controllo ad anello aperto è la lavatrice comandata dal selettore elettromeccanico: questa macchina esegue un programma scandito da tempi prefissati, che vengono calcolati in linea di massima per dare all'acqua il tempo di scaldarsi o far compiere al cestello un certo numero di rotazioni. Invece un sistema a retroazione è, ad esempio, una moderna lavatrice con centralina elettronica che verifica la tempe-

Fig. 1 - Sistema di controllo ad anello aperto.



Fig. 2 - Sistema di controllo retroazionato.



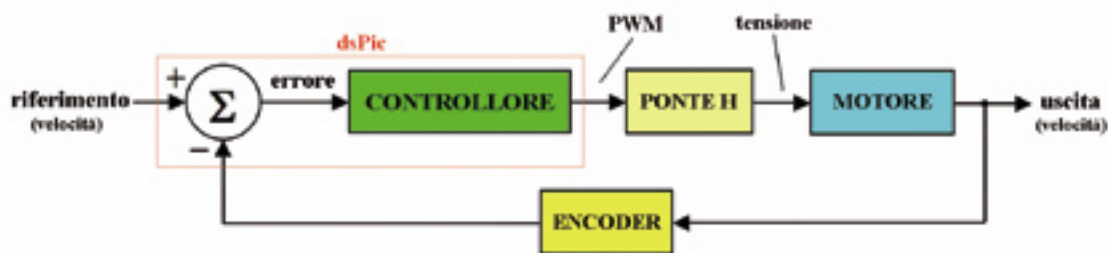


Fig. 3 - Schema a blocchi del controllo retroazionato di un motore DC.

ratura dell'acqua nella vasca ed eventualmente ritarda il programma per dare il tempo alla resistenza di raggiungere il valore voluto.

Il controllo retroazionato prende spunto da fenomeni naturali che noi tutti incontriamo ogni giorno. Prendiamo il caso di quando guidiamo la nostra automobile: il riferimento consiste nella traiettoria e nella velocità da far tenere all'auto; ognuno di noi, osservando le condizioni del tracciato e il traffico, in accordo con le opportune esigenze di sicurezza, regola l'acceleratore e l'angolo di sterzata (variabili di controllo), conferendo al mezzo una direzione e una velocità di marcia (uscite) di volta in volta adatte alle circostanze.

Sempre restando in tema automobilistico, immaginiamo la regolazione del regime del minimo di un motore diesel: in un propulsore tradizionale ad iniezione meccanica, la portata di combustibile corrisponde a un certo regime di giri solo in certe condizioni, perché se viene inserito il condizionatore o si lascia la frizione, i giri calano. In un motore moderno con iniezione gestita elettronicamente, un sensore rileva il numero di giri e la centralina, quando il motore viene caricato dal condizionatore o da altro, aumenta la portata di combustibile in modo da stabilizzare i giri al valore minimo desiderato.

Nella pratica i controlli retroazionati sono molto più diffusi di quelli ad anello aperto; cerchiamo di capire il perché e per farlo prendiamo il caso del nostro motore DC: pur sapendo che la velocità del motore è lineare con la tensione (conoscenza del modello matematico), si può verificare che è praticamente impossibile riuscire ad effettuare un controllo accurato ad anello aperto. Se riuscissimo comunque ad effettuare un buon controllo ad anello aperto, non è detto che lo stesso sia efficiente se applicato ad un altro motore del-

lo stesso tipo. Ciò è dovuto alle tolleranze di costruzione, che rendono diverso un prodotto da un altro.

Non dimentichiamo che all'asse del nostro motore sarà applicato un carico, che potrebbe avere dinamiche molto variabili; il carico perturba la velocità che stiamo imponendo con il controllo a catena aperta, quindi senza una conoscenza del carico (che rappresenta la variabile d'uscita reale) è molto difficile riuscire ad eseguire un'azione correttiva.

Nella **Fig. 3** potete osservare lo schema del controllo in retroazione, applicato al motore DC.

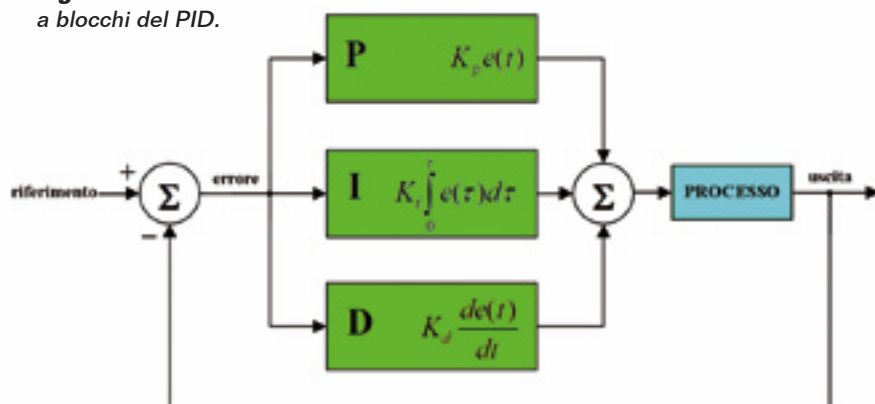
La retroazione della velocità avviene tipicamente mediante encoder incrementale, mentre, come già detto, la variabile di controllo è la tensione, la quale viene generata da un opportuno stadio amplificatore, che a sua volta è pilotato dal controllore.

Questa è una prassi: il controllore genera sulla sua uscita un segnale di bassa potenza che andrà a comandare un altro elemento del sistema, che si occupa di tradurre tale segnale (che magari giunge in formato digitale) in un segnale ad alta potenza, appunto la variabile di controllo, direttamente applicabile al processo.

Nel nostro caso l'uscita del controllore è un segnale PWM, che andrà a comandare opportunamente una scheda provvista di ponte H e impiegata per ricavare la tensione da applicare al motore. Se avete seguito le due puntate precedenti, questi ultimi concetti vi saranno certamente già noti.

Il controllore del caso sarà il dsPIC30F4012, che ormai conosciamo abbastanza bene; nell'applicazione qui analizzata si occuperà di leggere l'encoder, calcolare l'errore, produrre un'azione di controllo e pilotare la scheda basata sul ponte ad H.

Fig. 4 - Schema a blocchi del PID.



L'ALGORITMO PID

Spiegare cosa sia esattamente l'algoritmo PID è argomento certamente non facile, perché per comprenderlo sono necessarie solide basi di matematica ed occorre conoscere almeno i concetti fondamentali della teoria dei controlli automatici. Nella letteratura specializzata si trovano centinaia di pagine sul PID: si parte dall'algoritmo, teorico, passando per alcuni accorgimenti che ne migliorano le prestazioni, per arrivare alle tecniche per ottenere la formulazione in digitale, che permette di implementare l'algoritmo in un microcontrollore o DSP.

Il nostro obiettivo, come preannunciato nell'introduzione, è quello di avvicinarci all'argomento nella maniera più semplice possibile e spingerci fino all'implementazione reale del controllo; lo faremo vedendo come strutturare il codice sorgente, aspetto, questo, che quasi nessuno riporta nei testi specializzati.

L'algoritmo PID può essere espresso dalla seguente equazione matematica:

$$C(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \cdot \int_0^t e(\tau) / d\tau + k_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

dalla quale appare che in pratica il segnale d'uscita del controllore è la somma di tre componenti. Per comprenderne le azioni, sarebbe necessario conoscere almeno i concetti di derivata e integrale di una funzione. La prima componente è proporzionale all'er-

rore $e(t)$ secondo la costante k_p . Questa è l'azione più intuitiva.

La seconda componente è proporzionale all'integrale dell'errore, secondo la costante k_i ; l'azione corrispondente tiene conto "della storia dell'errore" proprio perché dipende da quanto tempo e con quale intensità, l'uscita è stata maggiore o minore del riferimento.

Infine, la terza componente è proporzionale alla derivata dell'errore, secondo la

costante k_d ed analizza la tendenza dell'errore, rafforzando il contributo delle altre azioni se l'errore sta aumentando, ovvero mitigandolo se l'errore stesso sta diminuendo. Se per qualche motivo l'errore si mantiene costante, quest'azione non si realizza, quindi è da escludersi un suo utilizzo autonomo.

Da tale formulazione si evince anche che nel caso in cui l'errore sia nullo, il controllore non agisce. Di questo aspetto ci occuperemo più avanti.

Per descrivere le caratteristiche delle tre azioni, è necessario prima distinguere delle grandezze che caratterizzano la risposta di un sistema ad un riferimento a gradino. Senza addentrarci troppo nella terminologia tecnica, ci limitiamo a distinguere due intervalli di tempo:

- il transitorio, costituito dagli istanti necessari affinché l'uscita del sistema, passi dal valore in cui si trovava prima di ricevere il nuovo riferimento, all'istante in cui l'uscita può considerarsi (secondo una ben determinata percentuale) assestata in prossimità del nuovo valore;
- il regime permanente, costituito dagli istanti di tempo successivi al transitorio.

Per chi volesse approfondire la materia, si rimanda a dei testi specializzati quali: *Fondamenti di Controlli Automatici*, autori P. Bolzern, R. Scattolini, N. Schiavoni, editore MacGraw-Hill e *Sistemi Automatici*, di W. Parigi ed E. Perano, editore Paravia.

Adesso, nella **Fig. 5** osservate il tipico andamento dell'uscita di un sistema controllato da



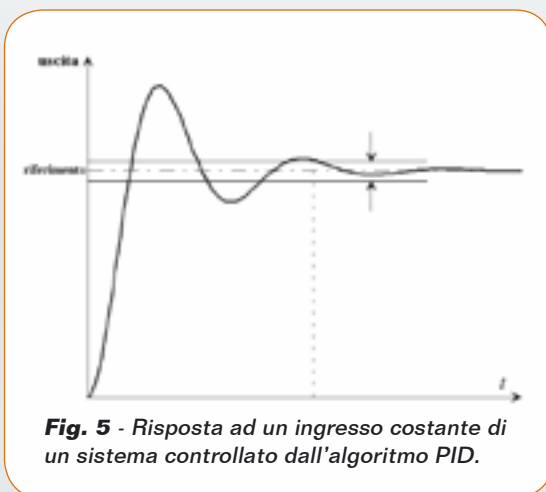


Fig. 5 - Risposta ad un ingresso costante di un sistema controllato dall'algoritmo PID.

un PID, in risposta ad uno stimolo costante, dove sono qualitativamente distinguibili sia il transitorio che il regime permanente. Nel caso in cui volessimo far inseguire al nostro motore un riferimento di velocità costante pur applicando un'eventuale coppia resistente all'albero, anch'essa costante, si distinguono dei comportamenti ben precisi dovuti alle tre azioni, che sono i seguenti.

- L'azione proporzionale, sempre presente nei controllori, avrà l'effetto di rendere più reattivo il sistema, infatti questo si muoverà verso il riferimento in maniera rapida. Ciò non significa che si abbreviano i transitori, perché, ad esempio, una costante proporzionale elevata provoca oscillazioni elevate che non si smorzano facilmente; semplicemente, riduce l'errore a regime permanente, ma non è certo che lo estingua totalmente.
- Sommando un'azione integrale, dopo un certo tempo viene eliminato l'errore a regime; questa caratteristica molto importante si paga con un aumento del transitorio e delle oscillazioni.
- Aggiungendo anche l'azione derivativa, grazie alla sua azione predittiva, si accorciano i transitori e si mitigano le oscillazioni.

Le combinazioni possibili sono P, PI, PD e PID, ma in generale, tranne casi strettamente particolari, le più diffuse sono PI e PID.

IL PID A TEMPO DISCRETO

Per poter trasferire l'algoritmo su un microcontrollore o DSP è necessario discretizzare (ossia formulare discretamente) l'equa-

zione matematica del PID vista in precedenza. Noi scegliamo la forma più semplice, ottenuta con il metodo di Eulero indietro:

$$C(n) = k_p \cdot e(n) + k_i \cdot T_s \cdot \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{k_d}{T_s} / [e(n) - e(n-1)]$$

dove n rappresenta le grandezze all'istante corrente, $n-1$ quella all'istante precedente, T_s il tempo di campionamento.

Notate che nei testi specializzati esistono diverse formulazioni del PID digitale, che si differenziano in base a come sono approssimati l'integrale e la derivata. L'equazione può essere facilmente tradotta in linguaggio C. Scaricando il progetto MPLAB da www.elettronica.in troverete la funzione che implementa il PID nel file *Qei_and_Pid.c*. La formulazione discreta vista, può essere modificata con alcuni piccoli accorgimenti che ne migliorano le prestazioni. Vediamone alcuni qui di seguito.

- Negli istanti in cui l'errore è zero, l'uscita del controllore è nulla. In alcune situazioni, può essere conveniente che in caso d'errore nullo si continui a fornire la variabile di controllo pari a quella dell'istante precedente. Così l'equazione diviene:

$$C(n) = C(n-1) + k_p \cdot e(n) + k_i \cdot T_s \cdot \sum_{i=0}^n e(i) / + \frac{k_d}{T_s} [e(n) - e(n-1)]$$

- Ricordiamo che la variabile di controllo, in uscita al PID, è una grandezza fisica, nel caso del motore DC una tensione con un intervallo ben preciso, quindi è opportuno limitare, mediante una saturazione, l'uscita del controllore. In linguaggio C basta fare una verifica (mediante degli *if*) sul valore assunto dalla variabile, dopo che è effettuata la somma di tutti i contributi.
- A causa del problema appena descritto, in taluni casi l'uscita del PID, sarà di valore inferiore a quello teorico che avrebbe avuto senza saturazione. La minore potenza di controllo a disposizione, provoca una più lenta diminuzione dell'errore e di conse-

guenza un aumento del termine integrale in misura maggiore di quanto si avrebbe nel caso teorico. Quando l'errore tenderà ad annullarsi e a cambiare di segno, ci ritroveremo con un valore dell'integrale ancora molto elevato, che verrà ridimensionato soltanto dopo una buona permanenza ad errore di segno opposto; tutto ciò provoca sovraelongazioni e un allungamento del transitorio. Questo fenomeno prende il nome di *wind-up*. Per cercare di rimediare, non appena l'uscita totale del PID satura, s'interviene sull'integrale, impedendogli di incrementare. Nella pratica si può, ad esempio, sottrarre all'integratore il contributo d'errore che gli era stato sommato in quell'istante di campionamento.

- In un'implementazione su microcontrollore, visto che i tipi di dato numerici hanno un range finito, è buona norma limitare a priori, prima della somma totale, tutte e tre le azioni. Quindi le bloccheremo al valore di saturazione dell'uscita totale del PID. La saturazione preventiva dell'integrale è già un'azione anti *wind-up*, anche se la modalità vista prima è più efficace, perché in caso di saturazione dell'azione totale viene bloccato l'integrale, ancora prima che esso stesso raggiunga il valore di saturazione.

IMPLEMENTAZIONE DEL PID IN UN MICROCONTROLLORE

Bene, dopo tutto il discorso introduttivo, adesso è necessario trasferire su dsPIC l'algoritmo PID a tempo discreto finora spiegato. Innanzi tutto precisiamo che il PID che trovate nel progetto MPLAB d'esempio è realizzato esclusivamente con numeri interi; rispetto ad un'implementazione di tipo floating-point (a virgola mobile) ciò ci consente di ottenere più velocità nell'esecuzione dei calcoli e minore occupazione di memoria, anche se poi ci fa perdere leggermente in fatto di precisione. Per evitare di moltiplicare o dividere per il T_s , s'ingloba quest'ultimo nelle costanti k_i e k_d . Per quanto riguarda la moltiplicazione delle costanti stesse, se fosse necessario ricorrere a valori minori dell'unità basterà lavorare con i reciproci, rimanendo comunque con tipi di dato interi.

Se ricordate, nella trattazione della prima puntata di questo corso era stato impostato il

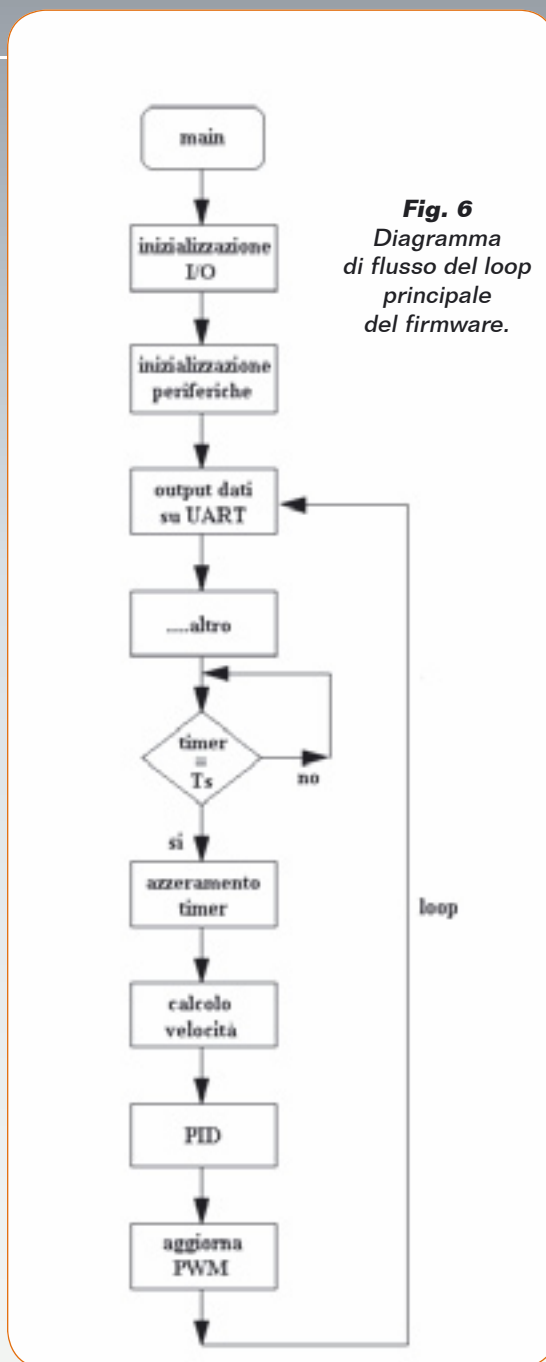


Fig. 6
Diagramma di flusso del loop principale del firmware.

PWM ad una risoluzione di 12 bit. Utilizzando la tecnica di modulazione *Locked Anti Phase* sappiamo che:

- 0 = PWM 0% = motore alla massima velocità in una direzione;
- 4095 = PWM 100% = motore alla massima velocità nella direzione opposta;
- 2048 = PWM 50% = motore fermo.

Viene dunque spontaneo comprendere che l'uscita del controllo dovrà mantenersi entro il range che va da 0 a 4095. In particolare, nella nostra applicazione imposteremo PDC1 a 2048, valore cui sommeremo quello derivante



dall'azione del PID, che bloccheremo mediante saturazioni nell'intervallo che va da -2047 a +2047. Adesso passiamo allo *scheduling dei task* da compiere, ricordando, a proposito, che il calcolo del PID deve essere eseguito ogni T_s , quindi è importante che la somma totale di tutti task occupi un tempo inferiore a T_s . Sarebbe intuitivo inserire il calcolo del PID all'interno di una ISR, ma si tratta di un'operazione che può portare degli inconvenienti imprevedibili.

Solitamente è consigliabile eseguire nelle ISR solo operazioni veloci, come il setup di qualche flag.

Inoltre una ISR di questo tipo, che necessariamente è ad alta priorità, trattiene con sé per molto tempo il flusso d'esecuzione, impedendo di fatto altre operazioni basate su interrupt, come, per esempio, una comunicazione seriale.

Una valida alternativa è quella di inserire tutte le operazioni nel main loop. Per eseguire tutto alla medesima frequenza, si può utilizzare un timer in "free-running" deputato a creare un ritardo.

Il diagramma di flusso illustrato nella Fig. 6 chiarisce meglio la situazione.

Precisiamo che nel caso che prospettiamo non è stato fatto ricorso a ISR collegate a timer, neanche per il calcolo della velocità, come invece era avvenuto nel progetto MPLAB descritto nella seconda puntata di questo corso, a proposito della lettura di un encoder in quadratura mediante un dsPIC. Stavolta è il timer stesso che ci garantisce l'esecuzione a frequenza costante dei task critici. Per rendere le cose più precise, questa volta come oscilla-

tore è stato utilizzato il quarzo esterno (vedi `configuration_FOSC`).

In riferimento alla Fig. 6, il blocco "...altro" sta ad indicare qualsiasi operazione eseguibile prima che il timer raggiunga T_s , intervallo temporale che abbiamo fissato in 5 ms. Ad esempio, nel main del progetto trovate alcune righe di codice che implementano un segnale ad onda quadra da imporre come riferimento, utile nella sintonizzazione del PID (vedi sezione successiva).

Come già detto prima, la cosa importate è che tutte le operazioni da compiere nel main loop si compiano in meno di $T_s = 5$ ms.

I file del progetto riguardanti l'invio su UART dei dati (la velocità) sono due: il primo, chiamato `Uart.c`, mette a disposizione la funzione `UART_Init()` che inizializza la periferica (non necessita di parametri) e la funzione `WriteUART_to_RS232()`, la quale non fa altro che prendere una stringa di testo opportunamente formattata e spedirla sul bus.

Queste due funzioni sono usate nel `main()`: la prima solo una volta, la seconda ciclicamente dentro il main loop.

Il secondo file è `DisplayRoutines.c`, che implementa le funzioni per creare e formattare la stringa di testo da visualizzare: una prima funzione converte tipi di dati numerici in stringa e una successiva funzione crea la variabile buffer, usata da `WriteUART_to_RS232()`.

SINTONIZZAZIONE DEL PID

La scelta delle costanti k_p , k_i , k_d è un argomento sul quale la letteratura specializzata dà ampio spazio, tuttavia, purtroppo è anche un

Sei un appassionato di elettronica? Ti piacerebbe collaborare con una delle più prestigiose riviste di elettronica applicata? Pensi di essere in grado di progettare e costruire qualcosa di originale e innovativo? Vorresti rendere partecipe delle tue conoscenze ed esperienze un pubblico molto vasto? Ritieni di poter esporre chiaramente e per iscritto i tuoi lavori?

In questo caso sappi che,

Elettronica In

La più prestigiosa rivista italiana di elettronica applicata

CERCA

TECNICI ed APPASSIONATI DI ELETTRONICA, programmazione, robotica e tecnologie alternative cui affidare - come collaboratori esterni - la progettazione (hardware e software) di dispositivi elettronici e la stesura di articoli e corsi didattici. Le proposte debbono essere assolutamente originali ed il livello tecnico adeguato agli standard della rivista.

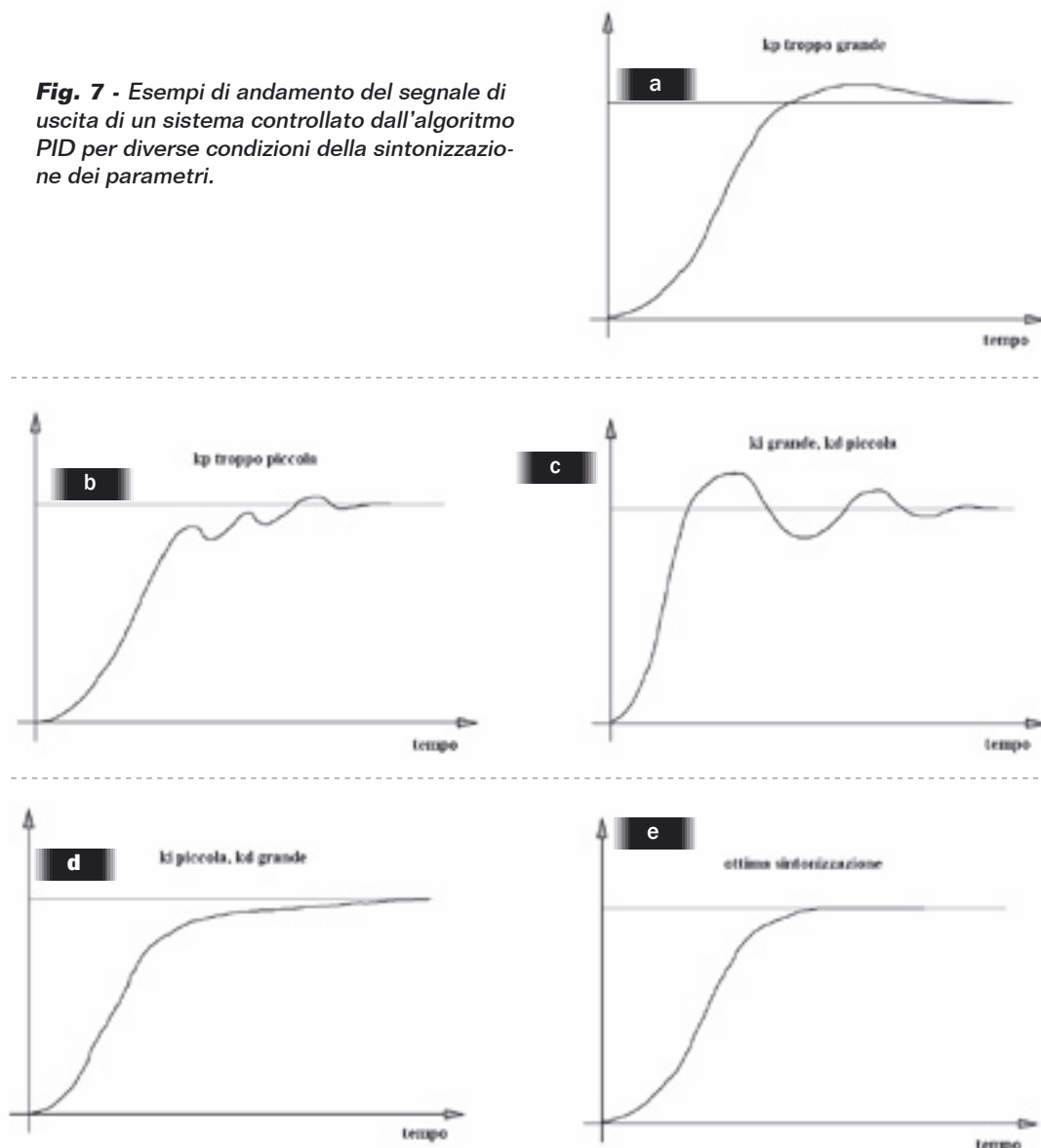
Contattaci subito!!!

Elettronica In - Vispa Edizioni

Via Adige 11, 21013 Gallarate (VA)

fax 0331/ 778112 - redazione@elettronica.in

Fig. 7 - Esempi di andamento del segnale di uscita di un sistema controllato dall'algoritmo PID per diverse condizioni della sintonizzazione dei parametri.



tema abbastanza ostico.

La prima tecnica utilizzabile, riservata solamente a chi ha padronanza della teoria dei controlli automatici, si fonda su un calcolo analitico delle costanti in base a delle ben precise specifiche di progetto, le quali sono espresse mediante una serie di parametri che misurano le prestazioni del sistema; alcuni di questi parametri sono, ad esempio, la durata del transitorio e la prontezza.

Lo svantaggio delle tecniche analitiche è soprattutto quello di dover necessariamente conoscere il modello matematico del sistema da controllare.

Una seconda strada è quella di utilizzare delle

tecniche empiriche, che in base al comportamento del sistema, in risposta a delle particolari sollecitazioni, permettono d'individuare i parametri in apposite tabelle. Le tecniche empiriche più famose sono quelle di Ziegler e Nichols. Il vantaggio di tali metodi è che non richiedono la conoscenza del modello matematico del sistema da controllare; è questo uno dei motivi di successo del PID.

Dopo aver applicato questi metodi si può raffinare la sintonizzazione, modificando le costanti ottenute, mediante prove sperimentali. In base all'esperienza che si ha riguardo al sistema sotto esame, si riusciranno ad apportare le giuste modifiche.



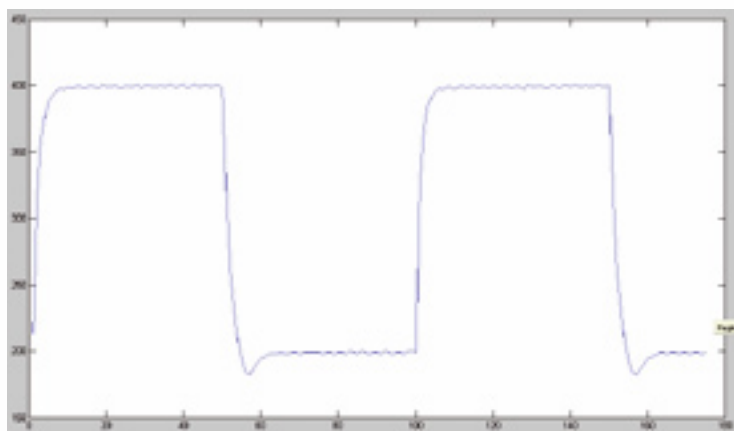


Fig. 8 - Risposta del PID realizzato nel progetto MPLAB.

Nel nostro caso eseguiremo la sintonizzazione direttamente con le prove sperimentali: prima inseriremo la sola azione proporzionale (quindi $k_i = k_d = 0$) e solleciteremo il sistema con riferimenti a gradino, di diversa intensità, e con onde quadre. Parlando nello specifico del nostro motore DC, si cercherà di ottenere una rotazione fluida e di mantenere la velocità intono al valore di riferimento senza eccessive oscillazioni. Per verificare l'uscita, com'è stato fatto nel progetto MPLAB, basta inviare i campioni su un terminale seriale aperto su un PC, mediante l'UART del dsPIC, ed effettuare il plot con un software tipo MATLAB.

In seguito si inserisce l'azione integrale (partendo da valori molto piccoli), per diminuire l'errore a regime. Infine, si ripetono nuovamente le prove, aggiungendo l'azione derivativa per smorzare le oscillazioni.

Precisiamo che se si utilizza la formulazione del PID che contiene il valore dell'uscita PWM nell'istante precedente, quasi certamente saranno necessarie k_p e k_i inferiori all'unità. Nella fase di sintonizzazione è molto importante che abbiate ben compreso quello che è stato spiegato nella prima sezione di questa puntata del corso, cioè le caratteristiche che le varie azioni conferiscono al controllo.

Nelle figure 7 a, b, c, d, e, sono riportati alcuni andamenti dell'uscita di un sistema controllato da PID; in particolare è evidenziato, in maniera qualitativa, il comporta-

mento dell'uscita in diverse situazioni della sintonizzazione dei parametri.

Nella Fig. 8 è visualizzata la risposta reale del PID implementato nel dsPic, con i parametri che trovate nel sorgente, ottenuti con prove sperimentali. Il riferimento utilizzato per la taratura è un'onda quadra di periodo 4 s e in ascissa trovate il valore della velocità in rpm (giri al minuto) moltiplicato per 3.

Ricordiamo una cosa già detta nella seconda puntata, quando abbiamo trattato la lettura di un encoder in quadratura con il dsPIC e cioè che la velocità è espressa in $\text{rpm} \times 3$ perché è così che viene restituita dalla routine che la calcola. Non è riportata in rpm per evitare un'inutile divisione, e per avere la massima risoluzione disponibile ricorrendo solo a numeri interi.

Per chi vuole replicare il progetto MPLAB sulla dsPicDem2, ricordiamo di configurare quest'ultima, mediante gli appositi jumper, in modo che possa lavorare correttamente con il dsPic30F4012.

Nella Fig. 9 potete osservare il sistema da noi usato per la sperimentazione delle applicazioni descritte nelle tre puntate del corso, completo in tutte le sue parti; per vederlo in azione, visitate l'indirizzo web www.calogero-lombardo.altervista.org.

Fig. 9 Un'immagine complessiva del sistema.

