

160 PAGINE!

Mensile di progettazione elettronica, attualità scientifica, novità tecnologiche.

€ 6,00

Elettronica In

oltre l'elettronica

www.elettronica.in.it

Anno XVII - n. 155
Aprile 2011



**Nucleare:
Quale futuro?**

**Aussie
Zero:
l'auto
alimentata
dal sole**



■ **ARDUIMU,**
la piattaforma
inerziale per
mille applicazioni

■ **Windbelt,**
il microeolico
a basso costo

■ **GSM Shield**
per Arduino

■ **Multimetro digitale**

■ **Ottimizzare durata
e carica delle Li-Ion**

■ **Luce psichedelica
a LED**

■ **Corso
.NET Micro Framework**

■ **Corso HW/SW
Arduino**

• **NOVITÀ** •
Corso NI Multisim

Robot Area

■ Una piattaforma
inerziale per l'UAV

■ **TETRIX:** un kit,
tanti robot

■ **News ed
Eventi**



GSM SHIELD PER ARDUINO

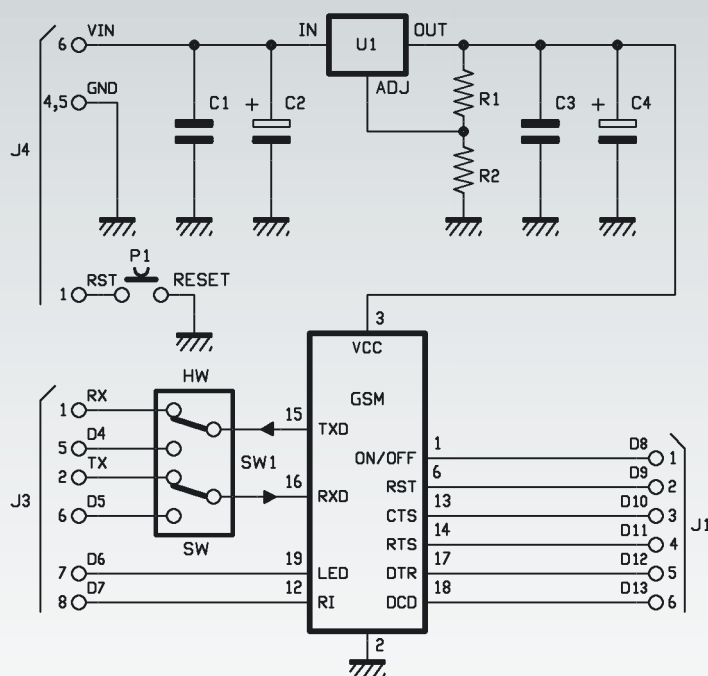
di BORIS LANDONI



Permette di interfacciare i moduli Arduino UNO, Duemilanove e simili, con la rete telefonica, per gestire SMS e chiamate vocali.

Le grandi potenzialità di Arduino risiedono certamente nel fatto che è un potente microcontrollore posto su una scheda e di cui vengono facilmente rese accessibili tutte le porte e le periferiche interne, ma anche e soprattutto nella disponibilità di routine firmware open-source condivisibili tra gli utenti e che permettono di eseguire, utiliz-

zando il software di programmazione ufficiale, qualsiasi funzione; insomma, il bello di Arduino è che il suo ambiente di sviluppo ci mette a disposizione funzionalità già pronte da eseguire, quindi se vogliamo fare qualcosa dobbiamo semplicemente dirgli di farlo ed esso lo farà nel migliore dei modi. Ad esempio, se intendiamo instaurare una connessione di rete locale dobbiamo procurarci un'interfaccia ethernet e dire ad Arduino su quale indirizzo e con quali parametri di rete deve collegarsi. Ebbene, l'interfaccia è lo "shield", che nel caso specifico è uno shield LAN; ma in generale con il termine shield si definisce una qualsiasi scheda che interconnette Arduino con il mondo esterno e gli permette di collegarsi ad altri apparati o comandare utilizzatori e controllare processi. In queste pagine vi proponiamo uno shield che vi permetterà, con



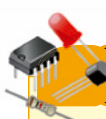
Arduino, di realizzare applicazioni che coinvolgono il mondo della telefonia cellulare, quindi gestire invio e ricezione di SMS, inviare toni di segnalazione, effettuare il controllo a distanza via GSM, accedere ad Internet o svolgere servizi dati sfruttando la connessione GPRS. Insomma, diciamo pure che con un modulo Arduino e lo shield GSM che trovate in queste pagine potete realizzare la gran parte dei progetti che avete visto in questi anni nelle nostre pagine e che si avvalgono della connessione telefonica: telecontrolli, teleallarmi, sistemi di telemetria e pubblicazione a distanza di dati sul web, termostati controllati a distanza e tante altre soluzioni simili. Il circuito che realizza tutto ciò è molto semplice ed è reso tale dal fatto che il grosso del lavoro viene compiuto da Arduino, per il quale abbiamo scritto una libreria ed una routine software in grado di gestire correttamente il dialogo con il modulo cellulare e le segnalazioni di controllo che esso fornisce. Per ora, lo sketch che abbiamo preparato e che vi

mettiamo a disposizione consente la gestione delle chiamate e degli SMS, oltre che della rubrica nella SIM del cellulare, tuttavia se ve la sentite, sulla base del nostro programma potete svilupparne uno qualitativamente più completo, allo scopo di accedere alle funzionalità GPRS e quindi ad Internet: il modulo può farlo e Arduino non ha difficoltà;

si tratta solo di preparare uno sketch adatto.

SCHEMA ELETTRICO

Vediamo subito in cosa consiste il nostro shield, analizzandone lo schema elettrico pubblicato in queste pagine: il circuito è semplicissimo e consta essenzialmente del modulo GSM/GPRS e del regolatore che provvede ad alimentarlo, ma anche di quattro pin-strip ed altrettanti connettori femmina S.I.L. a passo 2,54 mm, che realizzano le connessioni passanti col modulo Arduino e verso eventuali altri shield montabili a sandwich sopra il nostro. Per l'esattezza, i connettori dello shield sono J1 (dati D8÷D13 di Arduino) J3 (dati D4÷D7 ed RX e TX di Arduino) e J4 (alimentazione dello shield e linea di reset di Arduino). Oltre ai pin-strip per la connessione con Arduino, lo shield dispone di due file di contatti femmina a passo 2,54 mm single-in-line (una da 3 e l'altra da 16 contatti) nei quali si inserisce il modulo cellulare; in realtà sullo stampato abbiamo sdoppiato tali connessioni, in



per il MATERIALE

Lo shield GSM per Arduino descritto in questo articolo è disponibile premontato al prezzo di 63,00 Euro IVA compresa (cod. 8100-GSM SHIELD). L'insieme è composto da una scheda già montata (TDGGSM-900) completa di modulo SIM900 prodotto dalla SIMCom e alloggiamento per la SIM e da un PCB con i pochi altri componenti necessari che deve essere montato e saldato. È compresa anche l'antenna GSM con il relativo cavo. Per controllare il modulo attraverso i pin 4 e 5, abbiamo realizzato una versione modificata della libreria di HWKitchen che comprende anche il NewSoftSerial e che può essere utilizzata per inviare e leggere SMS, effettuare chiamate, controllare lo stato del GSM, eccetera

Il materiale va richiesto a:

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

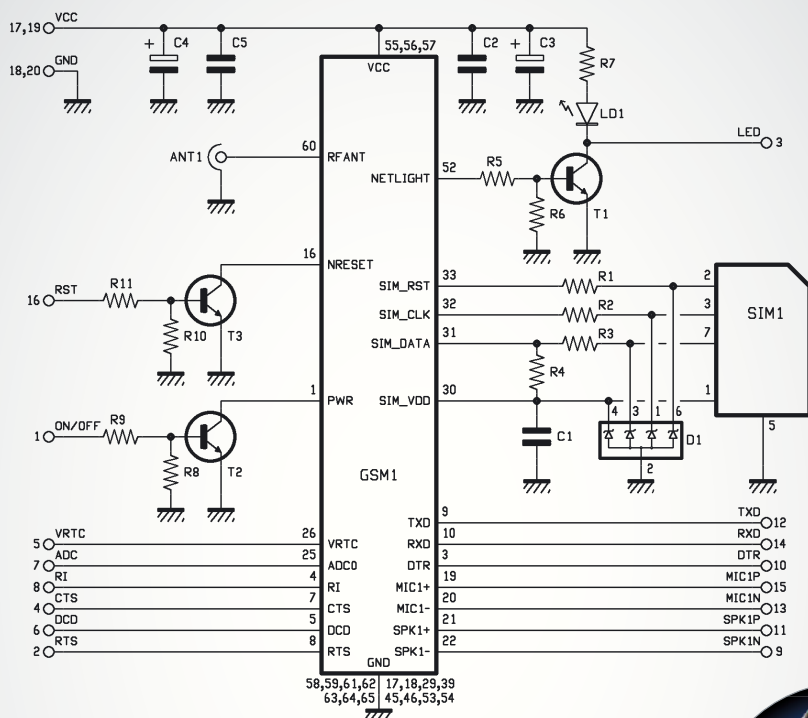
modo che chi lo desidera possa prelevare segnali come l'audio o i segnali di controllo del cellulare senza mettere mano sui connettori dedicati al montaggio del modulo che ospita il cellulare. Ciò grazie al fatto che le file da 3 e 16 contatti che abbiamo aggiunto sono in parallelo a quelle del modulo cellulare. Dunque, nel circuito shield in realtà vi sono due file di tre contatti femmina accostate da una parte ed altrettante da 16 contatti (sempre femmina) dal lato opposto. Partiamo analizzando il modulo cellulare inserito nello shield, basato sul cellulare SIM900 della SimCom, che attualmente è il più economico modulo cellulare GSM/GPRS disponibile sul mercato; per renderne semplice il montaggio (dato che ha i contatti posti immediatamente sotto i bordi e che sporgono lateralmente di pochissimo) l'abbiamo previsto già montato su una basetta adattatrice, che ne porta i piedini su dei pin-strip. Quindi sappiate che i numeri dei contatti mostrati nello schema elettrico si riferiscono ai contatti dei pin-strip della basetta adattatrice e non al modulo SIM900 vero e proprio; del modulo restano i nomi dei pin. Sappiate inoltre che quello che nello schema elettrico vedete siglato GSM, è in realtà il modulo cellulare, ossia la basetta adattatrice che contiene il SIM900. Vediamo dunque -per prima cosa- com'è fatto il circuito (basetta adattatrice) che contiene il cellulare: si tratta di un piccolo stampato che dispone di un connettore maschio a 20 contatti (due file da 10 l'una) a passo 2 mm che permette di inserirlo nel connettore femmina corrispondente sul circuito base ospitante il microcontrollore. Il connettore trasporta l'alimentazione (Vcc,

contatti 17 e 19) oltre alla linea di controllo dell'accensione (PWR), a tutti i segnali e alle linee di comunicazione seriale da e verso il modulo GSM, ma anche la massa (GND, contatti 18 e 20). Oltre ai connettori, il modulo con il cellulare ospita anche tre transistor, un LED, il porta SIM e un gruppo di diodi Zener. Quanto alle connessioni del cellulare, vediamo la linea PWR, la quale serve al microcontrollore del circuito per comandare l'accensione e lo spegnimento del modulo GSM, che comunque rimane sempre sotto tensione, quest'ultima fornita dalla linea Vcc ai piedini 55, 56, 57; la linea, dotata di una resistenza di pull-up interna, è attiva a zero logico, quindi Arduino, per accendere il modulo cellulare, pone a livello logico alto PWR (contatto 1 del pin-strip) e manda in saturazione il transistor T2, il quale pone a livello basso la linea PWR del GSM. Il controllo del reset avviene mediante una linea dedicata

(il SIM900 prevede un ingresso di reset -NRESET- attivo a zero logico e provvisto di resistore interno di pull-up) e si ottiene facendo inviare al micro l'1 logico sulla linea RST, allorché il transistor T3 va in saturazione e pone a livello basso la linea NRESET del GSM1; contestualmente, RST viene portata ad 1 logico. Procediamo ora con le linee di controllo dell'UART, ossia TXD, RXD, DTR, RTS, CTS, DCD, che vanno all'esterno mediante i contatti, rispettivamente, 12, 14, 10, 2, 4 e 6 del connettore; lo stesso dicasi per VRTC (contatto 5) e ADC0 (25). L'audio, facente capo a due contatti per il microfono (ad ingresso differenziale) ed altrettanti per l'altoparlante, transita dai contatti 19, 20, 21, 22, che corrispondono rispettivamente a MIC1P e MIC1N (positivo e negativo del microfono) ed SPK1N e SPK1P (rispettivamente negativo e positivo dell'altoparlante). Il



[schema elettrico del MODULO CELLULARE]



Elenco Componenti:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| C1: 220 nF multistrato (0805) | R8: 10 kohm (0805) |
| C2: 100 nF multistrato (0805) | R9: 4,7 kohm (0805) |
| C3: 470 µF 6,3 VL tantalio (CASE-D) | R10: 10 kohm (0805) |
| C4: 470 µF 6,3 VL tantalio (CASE-D) | R11: 4,7 kohm (0805) |
| C5: 100 nF multistrato (0805) | T1 ÷ T3: BC817 |
| LD1: LED verde (0805) | GSM1: Modulo GSM |
| D1: vedi testo | SIM900 |
| R1 ÷ R3: 15 ohm (0805) | SIM: Slot per SIM-CARD |
| R4: 10 kohm (0805) | Varie: |
| R5: 4,7 kohm (0805) | - Connettore Antenna MMCX 90° |
| R6: 10 kohm (0805) | - Strip maschio 2x10 poli 2mm |
| R7: 330 ohm (0805) | - Circuito stampato S900 |



segnale di RI (indicatore di arrivo chiamata) esce dal contatto 18 del connettore e viene usato per informare il microcontrollore o altro dispositivo che si interfaccia con il cellulare (nel nostro caso, il modulo Arduino) dell'arrivo di una telefonata. L'antenna del modulo GSM in questo caso si collega direttamente sullo stampato del cellulare. La presa d'antenna è localizzata al piedino 60. Il transistor T1 viene usato per comandare localmente il LED di campo del cellulare: la sua

base viene polarizzata dal livello logico presente sul piedino 52 (NETLED) del GSM1. Dal collettore del transistor parte la linea che porta al contatto 3 del connettore che fa capo alla linea LED, con la quale Arduino potrà, tramite il contatto 19 della scheda adattatrice, ovvero il 7 dello shield (corrispondente alla linea D6 di Arduino) informarsi sulla presenza della rete GSM e sullo stato di connessione del modulo (assenza segnale di rete, presenza rete ecc.).

Concludiamo l'analisi del modulo del cellulare descrivendo delle linee di gestione della SIM, che si interfaccia al cellulare tramite il bus formato da SIM_CLK (clock) SIM_RST (reset) e SIM_DATA (canale dati); la linea SIM_VDD viene usata per accendere e spegnere la SIM ed è gestita dal modulo GSM.

Notate la presenza del quadruplo Zener D1, i cui diodi proteggono la SIM-Card da eventuali picchi di tensione dovuti a disturbi, che possono arrivare dalla linea di alimentazione a quelle del bus di comunicazione tra SIM e cellulare.

Bene, stabilito cosa contiene il modulo che ospita il SIM900, vediamo il resto dello shield,

che consta, oltre che dei connettori S.I.L. femmina a passo 2,54 mm per accogliere i pin-strip del modulo cellulare, di un doppio deviatore e di un regolatore di tensione integrato; il doppio deviatore consente di smistare i canali TXD ed RXD dell'UART interno al SIM900 sulle linee TXD ed RXD di Arduino (accessibili dagli omonimi contatti del connettore di inserzione J3).

Lo stadio d'alimentazione si basa sul regolatore LM317, un classico che permette di ottenere una tensione d'uscita di valore compreso fra circa 1,25 e 35 V in continua, alimentato con un massimo di 40 V, erogando fino ad 1,5 ampere. Per l'esattezza, la tensione d'uscita V_o è legata ai valori delle resistenze R1 ed R2 che vedete nello schema elettrico dello shield, dalla relazione:

$$V_o = 1,25 V (1 + R_2/R_1) + I_{adj} \times R_2$$

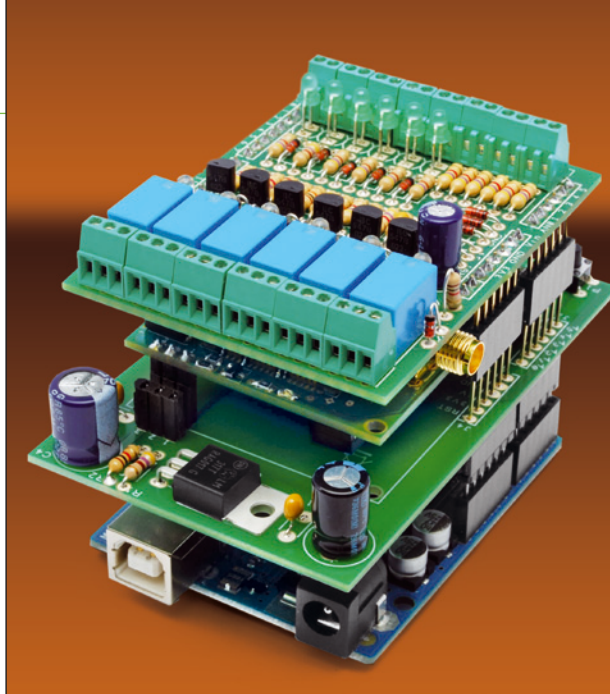
dove I_{adj} è la corrente che normalmente fluisce nella resistenza

collegata tra il piedino ADJ e massa e che sostanzialmente dipende dal potenziale del pin ADJ, che è 1,25 V. Normalmente tale corrente ammonta a 50 μ A. Nel nostro caso, essendo R1 da 470 ohm ed R2 da 1 kohm, la tensione ottenuta dall'LM317 vale:

$$V_o = 1,25 \text{ V} (1 + 1k\Omega / 0,47k\Omega) + I_{adj} \times 1 \text{ k}\Omega = (3,9 + 0,05) \text{ V} = 3,95 \text{ V}$$

Questo è il valore della tensione erogata dal regolatore e fornita al modulo che ospita il cellulare e da esso, tramite il contatto Vcc, al cellulare SIM900.

Notate che lo shield prende alimentazione dal connettore J4 e perciò dal modulo Arduino sul quale viene applicato; il modulo va quindi alimentato a 9÷12 Vcc (bastano 9 V) tenendo conto dell'assorbimento dello shield, che con il cellulare in funzione può raggiungere i 400 mA.



Sopra lo shield GSM si può applicare qualsiasi altro shield; ricordate che, con la nostra libreria, il GSM utilizza le linee D4 e D5 di Arduino per la comunicazione seriale, quindi gli altri shield non potranno impiegarle.

Quanto al doppio deviatore SW1, lo abbiamo previsto per consentire allo shield di indirizzare la linea seriale del SIM900 verso quella hardware (posizione HW) prevista in Arduino oppure verso due pin che, con un opportuno firmware, possono emulare una seriale (si tratta dei piedini 5 e 6 del J3, corrispondenti alle

linee D4 e D5 di Arduino); ciò corrisponde alla posizione SW. Il doppio deviatore SW1 può servire ad esempio se ad Arduino sono applicati più shield e già uno di essi utilizza la porta seriale, nel qual caso bisogna dirottare TXD ed RXD del cellulare verso D4 e D5 ed emulare la seriale da firmware.

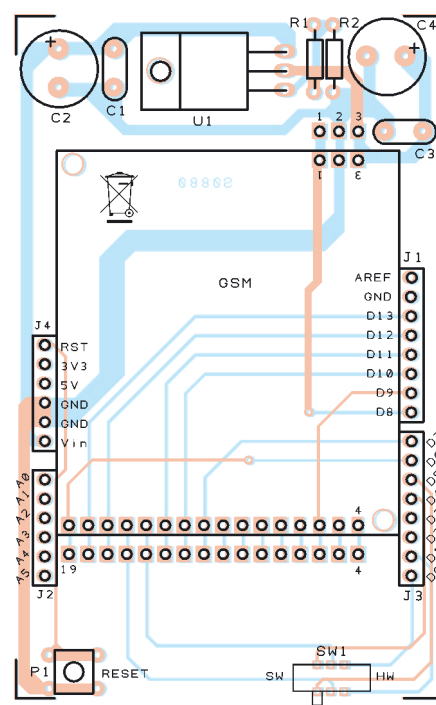
[piano di montaggio dello SHIELD]

Elenco Componenti:

- R1: 470 ohm
- R2: 1 kohm
- C1: 100 nF multistrato
- C2: 470 μ F 25 VL elettrolitico
- C3: 100 nF multistrato
- C4: 470 μ F 16 VL elettrolitico
- U1: LM317
- GSM: Modulo TDGGS900
- SW1: Deviatore 2 vie miniatura
- P1: Microswitch

Varie:

- Pin strip M/F 6 vie (2 pz.)
- Pin strip M/F 8 vie (2 pz.)
- Pin strip femmina 3 vie
- Pin strip femmina 16 vie
- Circuito stampato



Listato 1

```
/* GSM Shield example

created 2011
by Boris Landoni

This example code is in the public domain.

http://www.open-electronics.org
http://www.futurashop.it
*/

#include <GSM_Shield.h>
//for enable/disable debug rem or not the string      #define DEBUG_PRINT
// definition of instance of GSM class
GSM gsm;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("system startup");
  gsm.TurnOn(9600); //module power on
  gsm.InitParam(PARAM_SET_1); //configure the module
  gsm.Echo(1); //enable AT echo
}

void loop()
{
  int call;
  call=gsm.CallStatus();
  switch (call){
    case CALL_NONE:
      Serial.println("no call");
      break;
    case CALL_INCOM_VOICE:
      Serial.println("incoming voice call");
      delay(5000);
      gsm.PickUp();
      break;
    case CALL_ACTIVE_VOICE:
      Serial.println("active voice call");
      delay(5000);
      gsm.HangUp();
      break;
    case CALL_NO_RESPONSE:
      Serial.println("no response");
      break;
  }
  delay(1000);
}
```

Commento al LISTATO

Questo sketch per Arduino restituisce lo stato delle chiamate. Quando non c'è alcuna chiamata in arrivo, restituisce la scritta "no call", mentre quando arriva una chiamata, Arduino darà come segnalazione la scritta "incoming voice call" e dopo 5 secondi risponderà alla chiamata. Fino a quando non si interrompe la comunicazione la scritta sarà "active voice call".

REALIZZAZIONE PRATICA

Lo shield è di semplice costruzione, dato che si tratta di un semplice stampato a singola faccia che contiene pochissimi componenti; una volta ottenuta la basetta (la traccia si può scaricare dal nostro sito www.elettronica.in), con un saldatore da non più di 30 watt, saldate le due resistenze e i quattro condensatori occorrenti, prestando attenzione alla polarità degli elettrolitici, poi

sistematelo il doppio deviatore a slitta ed il pulsante miniatura per c.s., da collocare lateralmente al circuito. Procedete inserendo e saldando l'integrato LM317, che dovete sdraiare sulla basetta dopo averne piegato i terminali ad angolo retto. Per le connessioni, utilizzate delle file di connettori single-in-line femmina a passo 2,54 mm (adatte ai pin-strip di pari passo...) di due tipi: tradizionale

e con terminali lunghi 20 mm; del primo servono due file da 3 e due da 16 contatti, mentre del secondo tipo ci occorrono due file da 6 ed altrettante da 8 contatti. Noterete che introducendo i connettori femmina coi terminali lunghi nei rispettivi fori dello stampato dello shield, i terminali stessi faranno da pin-strip e permetteranno allo shield stesso di introdursi nei connettori del modulo Arduino.

Sistemato il circuito, potete pensare al modulo contenente il cellulare GSM, che potete acquistare già fatto e collaudato (si chiama TDG GSM_900 e viene venduto dalla ditta Futura Elettronica -www.futurashop.it-) oppure costruire seguendo il relativo schema elettrico illustrato in queste pagine, oppure seguendo le indicazioni fornite a pagina 39 nel fascicolo n° 147, dove il modulo viene usato nel progetto del telecomando GSM.

Completate le saldature e verificato che non vi siano falsi contatti o cortocircuiti, il vostro shield è pronto; inseritevi il modulo col SIM900 sfruttando i contatti disposti trasversalmente e potete poi inserire il tutto su Arduino.

USARE LO SHIELD

La prima cosa da fare prima di utilizzare lo shield è caricare lo sketch firmware in Arduino, in modo da poterlo gestire; se oltre a quello qui descritto, il sistema ospita altri shield, potrebbe essere necessario verificare se la seriale di Arduino è già occupata: se lo è, dovete spostare il doppio deviatore SW1 sulla posizione SW, assegnando, così, la comunicazione tra SIM900 e Arduino alle linee D4 e D5 di quest'ultimo. In tal caso dovete attivare l'emulazione firmware della seriale, assegnandola a D4 e D5. Nel caso il nostro sia

l'unico shield montato o l'unico, tra quelli montati, che adopera la seriale hardware di Arduino, spostate pure SW1 sulla posizione HW.

Fatto ciò, siete pronti per lavorare con lo shield GSM.

Prima di dare tensione all'insieme, ricordate di collegare al connettore d'antenna del modulo cellulare il cavetto dell'antenna GSM che avete scelto e che, lo ricordiamo, deve essere compatibile con le bande 850/900/1.800/1.900 MHz.

Per la comunicazione tra shield e Arduino, una volta impostata la seriale (hardware o software) selezionate la velocità di comunicazione; rammentate che usando la seriale fisica (hardware) non ci sono problemi di baud-rate (quello predefinito è 115.200) ma potreste incontrare difficoltà programmando il modulo, perché la seriale viene usata per caricare gli sketch. Invece, usando i pin 5 e 6 del J3 (seriale software) non ci sono problemi nel caricare gli sketch, tuttavia il massimo baud-rate ammesso dalla libreria che emula la comunicazione seriale (*NewSoftSerial*) è 57.600.

Per la gestione del cellulare SIM900 abbiamo messo a punto una libreria, derivata dalla di HWKitchen, modificata per il nostro modulo. Con la nostra versione controlliamo il modulo attraverso i contatti 5 e 6 del connettore J3 (sono le linee digitali D4 e D5 di Arduino) perché la nostra libreria GSM include *NewSoftSerial*; ciò vi permette di gestire il modulo, inviare e leggere SMS, effettuare chiamate, verificare lo stato del cellulare (rete agganciata ecc.) ed altro ancora. Trovate tutte le funzioni di libreria nella **Tabella 1**, opportunamente commentate: ognuna corrisponde a una funzionalità permessa dallo shield.

Tabella 1 - Funzioni utilizzate nel controllo dello shield.

Funzione	Descrizione
int LibVer(void)	restituisce la versione della libreria in formato XYZ, che significa X.YY: ad esempio 100 vuol dire vers. 1.00)
void TurnOn(baud)	accende il modulo GSM e invia i comandi AT di inizializzazione inviabili senza bisogno di registrazione
void InitParam (byte group)	invia i parametri per l'inizializzazione del modulo GSM
void Echo(byte state)	abilita o disabilita l'eco dei comandi: Echo(1) abilita ed Echo(0) disabilita l'eco
byte CheckRegistration(void)	verifica se il GSM è stato registrato nella rete cellulare; questa funzione comunica direttamente col modulo, diversamente da IsRegistered() che legge il flag da module_status
byte IsRegistered(void)	ritorna un flag se il GSM è registrato nella rete; la procedura è veloce (richiede solo 20 ms.) e conviene utilizzarla quando è necessario verificare che il GSM sia registrato nella rete quali la verifica degli SMS e delle chiamate in arrivo
byte CallStatus(void)	verifica lo stato delle chiamate e fornisce CALL_NONE se non c'è chiamata, CALL_INCOM_VOICE se c'è una chiamata a voce in arrivo, CALL_ACTIVE_VOICE se è in corso una chiamata vocale e CALL_NO_RESPONSE in caso di chiamata senza risposta
byte CallStatusWithAuth(char *phone_number, byte first_authorized_pos, byte last_authorized_pos)	verifica lo stato delle chiamate (in entrata o in corso) e autorizza le posizioni di SIM; ritorna: - phone_number: puntatore dove viene collocato il numero telefonico della chiamata in corso in modo da memorizzarlo; - first_authorized_pos: prima posizione della rubrica nella SIM da cui sono iniziati i numeri delle chiamate autorizzate; - last_authorized_pos: ultima posizione della rubrica SIM dove finiscono i numeri autorizzati alle chiamate
void Pickup(void)	risponde alla chiamata in arrivo
void HangUp(void)	rifiuta la chiamata in arrivo o interrompe quella in corso
void Call(char *number_string)	chiama il numero indicato
void Call(int sim_position)	chiama il numero memorizzato nella posizione indicata della SIM
char SendSMS(char *number_str, char *message_str)	invia l'SMS di cui è specificato il testo, al numero indicato
char SendSMS(byte sim_phonebook_position, char *message_str)	invia l'SMS di cui è specificato il testo, al numero di cui è indicata la posizione in SIM
char IsSMSPresent(byte required_status)	verifica se è presente almeno un SMS nello stato specificato; se c'è un SMS prima che la funzione sia eseguita e risulta non letto, viene automaticamente convertito in "letto"; i valori che la funzione ritorna sono: - SMS_UNREAD = SMS non ancora letto; - SMS_READ = SMS già letto; - ALL_SMS = tutti gli SMS memorizzati
char GetSMS(byte position, char *phone_number, char *SMS_text, byte max_SMS_len)	legge l'SMS dalla posizione indicata della SIM, ritornando i seguenti valori: - position = posizione SMS (<1..20>); - phone_number: puntatore dove viene messa il numero da cui proviene l'SMS, in modo che la posizione possa essere riservata; - SMS_text : puntatore dove viene collocato il testo dell'SMS; - max_SMS_len: massima lunghezza dell'SMS, escludendo il carattere terminatore 0x00
char GetAuthorizedSMS(byte position, char *phone_number, char *SMS_text, byte max_SMS_len, byte first_authorized_pos, byte last_authorized_pos)	legge l'SMS dalla posizione specificata della SIM e dà l'autorizzazione ad eseguirlo se proviene da un numero telefonico autorizzato; in tal caso ritorna GETSMS_AUTH_SMS, altrimenti restituisce GETSMS_NOT_AUTH_SMS
char DeleteSMS(byte position)	cancella l'SMS che si trova nella posizione specificata
char GetPhoneNumber(byte position, char *phone_number)	legge il numero telefonico dalla posizione specificata della SIM
char WritePhoneNumber(byte position, char *phone_number)	scrive il numero telefonico nella posizione specificata della SIM
char DelPhoneNumber(byte position)	cancella il numero telefonico dalla posizione specificata della SIM
char ComparePhoneNumber(byte position, char *phone_number)	confronta il numero specificato con quello memorizzato nella posizione specificata della SIM

Realizziamo un circuito di condizionamento che estende la durata delle batterie agli ioni di litio.

OTTIMIZZARE DURATA E CARICA DELLE LI-ION

.....di GEORGE H. BARBEHENN

Le batterie agli ioni di litio invecchiano naturalmente e in genere durano circa tre anni, durante i quali perdono progressivamente parte della

loro capacità. Ma possono avere una durata nettamente inferiore, anche meno di un anno, se trattate nel modo sbagliato. Pare, purtroppo, che le batterie vengano utilizzate male soprat-

tutto nelle applicazioni in cui un condizionamento intelligente potrebbe invece estenderne notevolmente la durata.

Il processo di invecchiamento delle batterie agli ioni di litio nasce dalla struttura di queste ultime: le moderne batterie agli ioni di litio sono costituite da un terminale negativo di

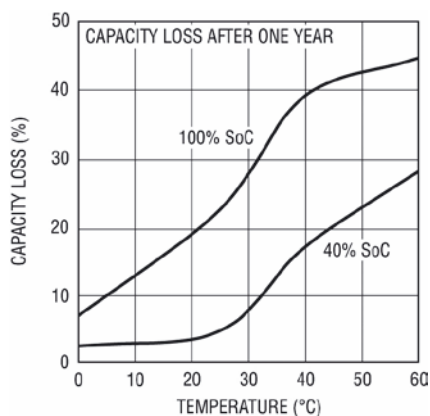


Fig. 1 - Perdita di capacità annua nelle batterie agli ioni di litio, correlata con temperatura e stato di carica (SoC).

grafite ed un elettrodo positivo di cobalto, manganese o fosfato di ferro; fra i due si trova un elettrolito, compito del quale è trasportare gli ioni di litio. L'elettrolito può essere un gel, un polimero (batterie agli ioni di litio/polimeri) oppure un ibrido di un gel e un polimero. In pratica, tuttora non è stato trovato un polimero in grado di trasportare gli ioni di litio in modo efficace a temperatura ambiente. La maggiore parte delle batterie agli ioni di litio/polimeri "a tasca" è costituita in realtà da batterie ibride che contengono una combinazione di elettroliti polimerici e gel. Con il processo di carica, gli ioni di litio escono dal materiale del terminale negativo, passano nell'elettrolito ed entrano nel materiale del terminale positivo. Il processo inverso è quello di scarica, dove gli ioni compiono il percorso opposto. Dunque, i due terminali rilasciano o assorbono ioni di litio,

a seconda che la batteria venga caricata o scaricata. Più che fondersi con i terminali, gli ioni di litio li penetrano, proprio come fa l'acqua con la spugna; questo processo è definito 'intercalazione'. Quindi, come accade spesso con i dispositivi basati su cariche elettriche come i condensatori elettrolitici, l'accumulo di carica derivante è una funzione sia dei materiali utilizzati che della struttura fisica del materiale.

Nel caso del condensatore elettrolitico, il foglio di alluminio viene inciso per aumentarne la superficie. Nel caso della batteria agli ioni di litio, i terminali devono avere una struttura fisica spugnosa che possa accogliere gli ioni di litio.

La scelta del materiale del terminale positivo (cobalto, manganese o fosfato di ferro) determina la capacità, la sicurezza e le proprietà di invecchiamento della batteria; in particolare, il cobalto offre una capacità e caratteristiche di invecchiamento eccellenti, ma è relativamente poco sicuro rispetto ad altri materiali. Il litio metallico è infiammabile e il terminale positivo di cobalto tende a formare litio metallico durante il processo di scarica. In caso di fallimento delle misure di sicurezza, il litio metallico derivante può provocare una violenta

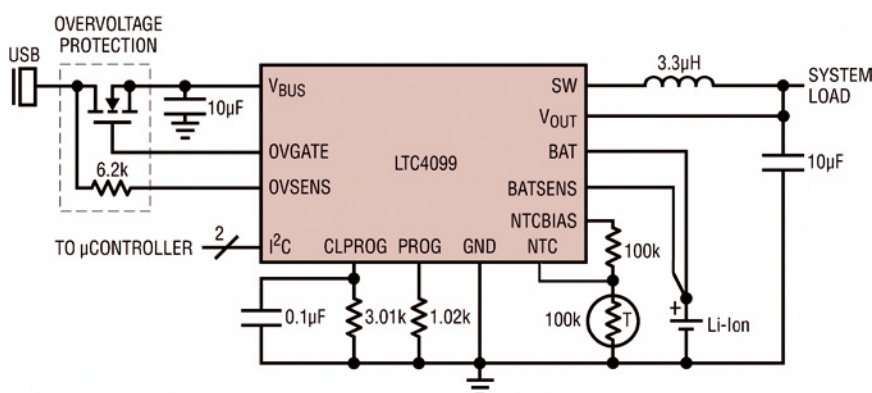
fiammata ("vent with flame"). Per questo le moderne batterie agli ioni di litio adottano un terminale positivo a base di manganese o fosfato di ferro. Il prezzo da pagare per avere una sicurezza migliore si concretizza in una capacità ridotta e un invecchiamento più rapido.

L'invecchiamento è dovuto alla corrosione, solitamente ossidazione, del terminale positivo dell'elettrolito; ciò comporta una riduzione dell'efficacia dell'elettrolito nel trasporto degli ioni di litio e della capacità di assorbimento degli ioni di litio da parte del terminale positivo. L'invecchiamento delle batterie provoca un aumento della resistenza in serie della batteria e una riduzione della capacità perché il terminale positivo è sempre meno in grado di assorbire gli ioni di litio.

Il processo di invecchiamento inizia nel momento in cui la batteria viene prodotta e non può essere fermato; il modo in cui l'accumulatore viene utilizzato influisce molto sulla velocità di tale processo.

Le condizioni che influiscono sul processo di invecchiamento sono molteplici; una di esse è la corrosione del terminale positivo, dovuta a un processo chimico che ha una funzione di distribuzione di probabilità

Fig. 2 - L'integrato LTC4099 con circuito di condizionamento delle batterie basato su I²C.



(PDF) dell'energia di attivazione. L'energia di attivazione può derivare dal calore della tensione del terminale: più l'energia di attivazione sviluppata da queste due fonti è elevata, maggiore sarà la velocità della reazione chimica e del processo di invecchiamento.

Le batterie agli ioni di litio usate nel settore automotive devono durare dai 10 ai 15 anni; per questo i fornitori consigliano di non caricarle oltre i 3,8 V, un valore che non consente di sfruttare completamente la capacità della batteria, ma è abbastanza basso sulla PDF dell'energia di attivazione per mantenere al minimo la corrosione. Il terminale positivo a base di fosfato di ferro ha una curva di scarica più bassa, ma mantiene una capacità maggiore a 3,8 V.

I produttori normalmente conservano le batterie a 15 °C (59 °F) e con uno stato di carica (SoC) del 40 % per ridurre al minimo l'invecchiamento. Teoricamente lo stoccaggio dovrebbe avvenire con un SoC del 4 % o 5 %, ma senza mai arrivare allo 0% per non danneggiare la batteria. L'apposito circuito di protezione impedisce alla batteria di raggiungere un SoC dello 0 %, ma non può evitare l'autoscarica; inoltre consuma egli stesso corrente. Sebbene le batterie agli ioni di litio abbiano un'autoscarica inferiore rispetto ad altre batterie secondarie, il tempo di accumulo non è ben determinato. Quindi un SoC del 40 % è un compromesso tra ridurre al minimo l'invecchiamento ed evitare danni quando la batteria è in deposito in attesa di essere venduta e non viene utilizzata (Fig. 1).

Nelle applicazioni portatili, la riduzione di capacità derivante da una strategia SoC di questo tipo

è considerata negativamente, ma è sufficiente per individuare la combinazione tra calore elevato nell'ambiente e SoC elevato per implementare un algoritmo che riduca al minimo l'invecchiamento, pur garantendo la massima capacità possibile.

L'INTEGRATO LTC4099

Ciò può essere fatto mediante l'LTC4099, un integrato carica-batterie e sistema di gestione dell'alimentazione, contenente un circuito di condizionamento basato su I²C, che massimizza la vita utile delle batterie e, allo stesso tempo, ne ottimizza la durata e la velocità di carica (vedere Fig. 2).

Il circuito di condizionamento delle batterie basato sull'integrato della Linear Technology evita le condizioni che accelerano l'invecchiamento; infatti l'LTC4099 è dotato di un circuito di condizionamento integrato che può essere attivato o disattivato (questa è l'impostazione predefinita in fabbrica) mediante l'interfaccia I²C. Se il circuito è attivato e l'LTC4099 rileva che la temperatura della batteria è superiore a circa 60 °C, la batteria viene scaricata per ridurre al minimo gli effetti dell'invecchiamento.

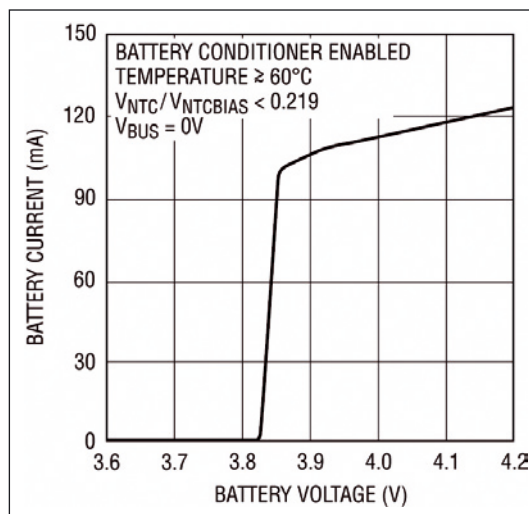


Fig. 3 - Corrente e tensione di scarica della batteria durante la funzione di condizionamento implementata dall'LTC4099.

La misurazione della temperatura effettuata dall'LTC4099 mediante un termistore NTC, è sempre attiva e disponibile per controllare la temperatura delle batterie. L'integrato in questione è di tipo 'micropower' e consuma solo 50 nA, pur garantendo il funzionamento ottimale.

La quantità di corrente usata per scaricare la batteria segue la curva indicata nella Fig. 3, raggiungendo lo zero quando la tensione tra i terminali è di circa 3,85 V. Se la temperatura del pacco di batterie scende al di sotto dei 40 °C ed è disponibile una fonte di energia per la carica, l'LTC4099 avvia nuovamente la fase di carica. In questo modo, la batteria è protetta dalle peggiori condizioni di invecchiamento. In conclusione, possiamo dire che per quanto non sia possibile arrestare il processo di invecchiamento delle batterie agli ioni di litio, però il circuito di condizionamento LTC4099 può garantire la massima durata evitando condizioni simultanee di alta tensione e alta temperatura. Inoltre il circuito micropower di monitoraggio NTC sempre attivo garantisce la protezione della batteria da condizioni che possono pregiudicarne la vita utile. ■



Quella elettrica sarà l'auto del futuro. Non è uno slogan, ma una realtà che va sempre più consolidandosi, non solo per l'evidente ascesa dei prezzi dei combustibili fossili e la contemporanea necessità di ridurre l'inquinamento da essi generato, ma anche perché oggi prendono corpo soluzioni a tempo improponibili. Per conoscere meglio e farvi comprendere le problematiche connesse ai veicoli elettrici, ci siamo posti un obiettivo: realizzare una piccola vettura a propulsione elettrica in grado di trasportare due persone, alimentata da batterie che vogliamo ricaricare prevalentemente mediante pannelli solari, sia in sosta che in marcia. È un'occasione per sperimentare le problematiche relative alla mobilità sostenibile ed all'alimentazione a batterie, ma anche per provare alcuni sistemi di guida automatica su un veicolo reale, sistemi che potrebbero poi essere trasportati su altri tipi di

veicolo. Abbiamo chiamato questo progetto Aussie, rendendone noti gli sviluppi in un blog Internet (<http://aussie.elettronica.it/>) appositamente creato, dove però ci siamo limitati

a descrivere le fasi della realizzazione dell'automobile, che è ormai pronta e collaudata. L'auto è formata da una struttura meccanica e da vari sistemi elettronici che vi descriveremo nei prossimi mesi, parten-



Realizziamo una vettura a trazione elettrica alimentata da batterie che si caricano tramite pannelli fotovoltaici, capace anche di circolare autonomamente o comandati a distanza. Prima puntata.

AUSSIE ZERO: L'AUTO ALIMENTATA DAL SOLE

di DAVIDE SCULLINO



do dal caricabatteria ad energia solare ed arrivando fino al modulo che consentirà la guida a distanza della vettura tramite modem GSM, con l'ausilio di un ricevitore GPS.

La nostra auto elettrica ha la classica struttura di un'automobile, quindi quattro ruote e un telaio, un abitacolo con dei posti a sedere (sono due, come nella celebre "Smart") un volante e i pedali per comandarla; è mossa da due motori elettrici da 1,1 kW ciascuno e raggiunge una velocità di circa 60 km/h. L'alimentazione dei motori è ricavata, mediante un regolatore di velocità collegato al pedale dell'acceleratore, da quattro accumulatori da 12 V posti in serie tra loro.

LA MECCANICA

Inizialmente la nostra intenzione era realizzare un "risciò elettrico", ossia un'auto tipo quelle a pedali che si vedono al mare e in certe città nelle isole pedonali, però motorizzata elettricamente. Poi, man mano che

studiavamo il progetto ci siamo detti: "fatto trenta, perché non fare trentuno?" E allora ci siamo resi conto che metterci quel qualcosa in più, alla fine non avrebbe complicato eccessivamente la vita al progettista e si sarebbe risolto con qualche giornata di lavoro in più. Siamo partiti da un telaio, che non è solo una H formata da longheroni di ferro, come nei risciò a pedali, ma un vero pianale tanto resistente da reggere almeno 10 persone; merito della scelta dei materiali e della particolare geometria, che conta su una serie di profilati scatolari in Fe40 organizzati in due travi longitudinali su cui sono stati saldati altri due scatolari trasversali e intercalati da un altro scatolare longitudinale che contribuisce a sorreggere il corpo avanzato, compito del quale è sostenere il ponte anteriore.

Inizialmente ci siamo posti il quesito su quale fosse il materiale con cui realizzare il telaio. La struttura dovrebbe reggere almeno 500÷600 kg tenendo conto che non

bisogna considerare solamente il peso del veicolo (peso statico) ma anche l'effetto delle sollecitazioni durante la marcia (peso dinamico). A questo proposito abbiamo deciso, in prima battuta e per semplificare il lavoro, di utilizzare dello scatolare rettangolare in ferro di 60 x 30 millimetri. Il tutto pesa circa 20÷30 kg e quindi rimane nei parametri di progetto. L'impiego di un telaio in lega di alluminio avrebbe comportato un dimezzamento del peso, ma a scapito di costi superiori e, soprattutto, di una grande difficoltà nella

saldatura. Il ferro, invece, si salda facilmente, costa poco ed è molto robusto. Al pianale realizzato con gli scatolari di ferro abbiamo saldato un rialzo ad L, con il duplice scopo di sorreggere i sedili, creare il vano per ospitare le batterie e agganciare -in futuro- gli ammortizzatori del retrotreno. Sempre dal pianale, siamo partiti con il sostegno ad U che sorregge il volante e la plancia della vettura; per rinforzare tale sostegno, abbiamo saldato due barre ausiliarie. Il pavimento dell'auto, dove conducente e passeggero appoggeranno

i piedi, è formato da una lastra di alluminio mandorlato spessa 4 mm, avvitata al pianale. Completa il telaio un sostegno ad U per la pedaliera, che comprende i pedali di freno e acceleratore. Progettato il telaio ci siamo posti un altro problema: dotare o meno il veicolo di un sistema di sospensioni? Avere le sospensioni aiuta a ridurre le sollecitazioni sulla struttura durante la marcia e a garantire stabilità e tenuta di strada, però complica la meccanica ed aumenta costi e tempi di realizzazione. In questa prima versione



Le batterie sono ricaricate tramite pannelli fotovoltaici per complessivi 340 Wp, collocati sul tetto.

I sedili sono comode poltrone da ufficio.

Il telaio è in robusto tubolare in ferro verniciato.

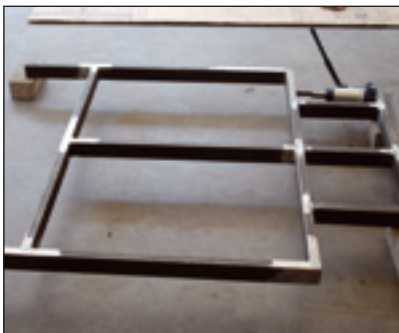
Il freno idraulico ha una doppia pompa e dischi posteriori con pinze fisse.

La trazione è assicurata da due motori in CC, collegati a differenziale elettrico e alimentati da 4 batterie a 12 V.

Le ruote sono quelle di un ciclomotore, dotate di cerchi in lega leggera.

Le ruote girano sui mozzi mediante due cuscinetti; i porta mozzo ruotano su cuscinetti piatti.

Lo sterzo è a cremagliera con registro della convergenza sui tiranti e volante da go-kart dotato di piantone snodato.



Il telaio della vettura è formato da scatolare di ferro ben saldato.



della vettura abbiamo deciso di farne a meno, in quanto, almeno nelle intenzioni, essa dovrebbe marciare esclusivamente su strade assolutamente lisce, prive di buche e avvallamenti. In ogni caso abbiamo predisposto almeno l'assale posteriore in modo da poter montare molle ed eventualmente ammortizzatori.

L'avantreno del veicolo è ad assale rigido, come quello dei camion, solo che è fissato solidamente al telaio e non ha sospensioni; insomma, è fatto un po' come quello dei trattori agricoli. A ciascuna estremità dell'assale è presente una forcella verticale in cui è imperniato il porta mozzo di ciascuna ruota, in modo che possa ruotare orizzontalmente e sterzare; il porta mozzo è un cilindro cavo vincolato assialmente da un perno e cuscinetti a sfere interni e superiormente l'estremità dell'assale gli si appoggia mediante cuscinetti piatti a rulli. Il mozzo è infilato in un foro realizzato radialmente nel cilindro e poi saldato; la sua estremità è filettata in modo da avvitarsi il dado che



Il piantone dello sterzo ruota su cuscinetti all'interno di un cilindro che gli fa anche da sostegno e permette di fissarlo al cruscotto.

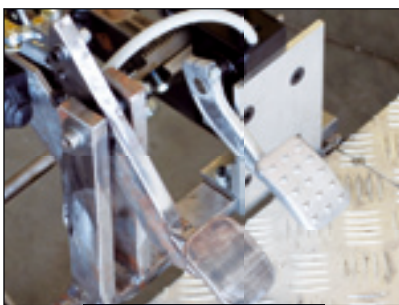


ferma le ruote, ciascuna delle quali scorre su due cuscinetti (uno interno e l'altro esterno rispetto all'auto) distanziati da un tubo che li mantiene in sede. Il dado del mozzo, mediante una grossa rondella stringe sul cuscinetto esterno.

In una futura versione potremo dotare l'avantreno di un minimo

di molleggio, semplicemente alzando la forcella posta a ciascuna estremità dell'assale anteriore ed inserendo una robusta molla che attutisca l'impatto delle ruote con il terreno.

A proposito di ruote, dopo aver abbandonato definitivamente l'idea di adottare quelle da bicicletta, ne abbiamo scelte quattro



La pedaliera con freno e acceleratore.



Il pulsante di stop per togliere tensione in caso di emergenza.



Il quadro con chiave di accensione e selettore avanti/indietro.



Dettaglio del sostegno della ruota e della leva di sterzo con la testina.

del ciclomotore Piaggio Liberty, in lega leggera, comperate usate complete di cuscinetti, gomme e dischi, che abbiamo lasciato sulle ruote posteriori per realizzare i freni. Dato che il foro interno ai cuscinetti era di soli 15 mm e il mozzo avrebbe dovuto avere tale diametro, li abbiamo sostituiti con altri aventi il foro più grande (17 mm) in modo da adattarli al diametro scelto in fase di progetto per i mozzi, calcolato per presentare la dovuta resistenza al taglio (sollecitazione cui è sottoposto il mozzo quando sulla ruota grava il peso).

Quanto al retrotreno, lo abbiamo realizzato con un ponte rigido oscillante a bracci longitudinali, agganciato alle estremità posteriori dei longheroni (travi) esterni del telaio mediante boccole e robusti bulloni, senza scordare di ingrassare bene il tutto; ogni braccio sostiene una ruota, libera di girare mediante cuscinetti e impernata tramite un semiasse cilindrico ed una chiavetta. Sul lato interno, ciascun semiasse è



I porta mozzo e i cuscinetti dei mozzi con i loro distanziali.

calettato -sempre con una chiavetta- ad una corona dentata che serve per ricevere la trasmissione del moto.

In pratica la sospensione posteriore è formata da una U impernata sulla base e avvitata al telaio; ognuno dei bracci longitudinali ospita i cuscinetti del semiasse corrispondente alla relativa ruota, in modo da sostenerlo. Dato che la sollecitazione nel punto di sostegno avrebbe potuto essere troppa (sia per il peso, sia per la trazione) per evitare che il braccio si danneggiasse o che il semiasse si piegasse, abbiamo aggiunto un secondo braccio di supporto in prossimità della corona; il ponte posteriore oscillante ha quindi assunto la forma di una U con due gambe intermedie (come due E attaccate). In questa prima versione, avendo deciso di risparmiare le sospensioni, il ponte è stato vincolato superiormente al telaio (sotto la seduta) mediante due barre metalliche imbullonate, al cui posto, in futuro, potremo montare degli ammortizzatori completi di molle coassiali, del tipo utilizzato nelle motociclette. Naturalmente, ottenuto il telaio e montate le ruote, abbiamo dovuto pensare allo sterzo di quelle anteriori; tra le varie soluzioni (comando elettrico, vite senza fine, cremagliera) abbiamo adottato quella normalmente usata nelle moderne automobili di serie: il sistema a cremagliera. La scatola guida è stata costruita da zero impiegando una barra dentata, un pignone con denti di passo idoneo ad essa, una serie di tondini metallici, cuscinetti per farli scorrere e due giunti cardanici per gli snodi necessari a far percorrere al piantone dello sterzo il percorso desiderato e a mantenere il volante nella posizione più comoda per la guida.

Il volante è di quelli per i go-kart, avvitato e sostenuto da un piattello che abbiamo saldato all'estremità del piantone che si affaccia nell'abitacolo; l'altra estremità del piantone finisce nel pignone dentato cui è rigidamente collegata mediante due grani. Ciascun lato della cremagliera è stato avvitato, mediante un robusto bullone, ad un tirante dotato di ball-joint su ciascuna testina, in modo da garantire un certo grado di libertà e permettere, quando l'avantreno sarà dotato di sospensioni, l'oscillazione dei tiranti senza che venga danneggiata la scatola guida. Ogni testina è cava dall'estremità opposta al giunto a sfera e filettata in modo da potervi avvitare il rispettivo tirante; ciò permette di registrare la distanza della ruota dal corrispondente lato della cremagliera, quindi, in ultima analisi, di registrare la convergenza anteriore. Per bloccare la testina



Ogni ruota gira su due cuscinetti mantenuti in posizione da un distanziale e fermati dal dado del mozzo, che mediante una rondella trattiene la ruota stessa.



una volta regolata la convergenza, è stato previsto un dado che agisce secondo il meccanismo dado/controdado. Sistemato il telaio, collegate le ruote e realizzato lo sterzo, cosa manca per completare l'automobile? Beh, indubbiamente un motore per muoverla e dei freni per arrestarne la corsa, onde evitare incontri troppo "ravvicinati" con alberi, pali e ostacoli vari. Ebbene, per muovere Aussie Zero abbiamo impiegato due motori elettrici da 24 V con una potenza di ben 1.000 watt (circa 1,35 CV) ciascuno, che garantiscono una potenza complessiva di 2,7 CV: più che sufficienti per una vettura che a pieno carico -ossia con a bordo due persone (75 kg l'una) e le quattro batterie- pesa circa 400 kg. Sviluppare una simile potenza impone una serie di problemi, primo fra tutti l'assorbimento di corrente, che a parità di potenza è inversamente

proporzionale alla tensione di lavoro.

Abbiamo quindi optato per lavorare con 48 V, forniti mettendo in serie quattro batterie al piombo per l'avviamento delle automobili, di capacità pari a 60 Ah. Con tale tensione, a piena potenza l'assorbimento è dell'ordine dei 46 A, sebbene le prove pratiche ci abbiano dimostrato che affondando l'acceleratore da fermo il picco supera i 100 A.

Per la trazione abbiamo adottato una soluzione che prevede una trasmissione a ruote indipendenti con un motore per ciascuna ruota di trazione, soluzione, questa, scelta per tre ragioni:

- reperire con maggior facilità i motori, visto che due elementi da 1,1 kW a 24 V si trovano più facilmente di uno da 2,2 kW a 48 V;
- ripartire lo sforzo di trasmissione dal motore alle ruote su due elementi;
- risparmiarci il differenziale meccanico.

Il differenziale serve perché se due ruote di uno stesso asse sono solidali tra loro e girano insieme, quando la vettura curva, la ruota interna deve girare a una velocità maggiore di quella esterna, dato che percorre una traiettoria più lunga e che la velocità angolare delle ruote di uno stesso asse è identica. Quindi la ruota interna frenerebbe quella esterna, determinando instabilità, eccessivo consumo delle gomme ecc.

Si può in parte aggirare l'ostacolo applicando la trazione alle ruote sterzanti (le anteriori, nel nostro caso) in quanto, teoricamente (ammettendo che siano parallele e non convergenti o divergenti come invece è negli autoveicoli), girano alla stessa velocità anche in curva, tuttavia ciò avrebbe richiesto l'applicazione del moto alle ruote mediante un albero



Dettaglio del ponte posteriore e dei semiassi delle ruote di trazione.



Particolare del volante e del piantone dello sterzo.



La scatola guida è formata da un'asta dentata su cui è calettato un pignone comandato dal volante.



Il ponte posteriore è vincolato al telaio mediante due barre.

trasversale accoppiato ai mozzi tramite giunti capaci di concedere un elevato grado di libertà: cardanico, doppio cardanico oppure omocinetico. In tutti e tre i casi avremmo complicato eccessivamente la meccanica, quindi abbiamo optato per la soluzione a trazione posteriore con ruote indipendenti, ognuna mossa da un proprio motore; in questo modo manteniamo la semplicità della trazione dietro, avendo però i benefici del differenziale, ottenuto in questo caso dalla connessione in serie dei motori. Infatti, se alimentassimo i motori con la stessa tensione, in curva la ruota che gira più lentamente frenerebbe il motore corrispondente, provocando maggiore sforzo, il che significherebbe sprecare energia elettrica; invece ponendo in serie i due motori realizziamo il differenziale elettrico: con questa soluzione, in curva il motore che aziona la ruota interna viene frenato e perciò aumenta il proprio sforzo, cosa che fa incrementare la corrente assorbita. Siccome

I magnifici 9 dell'elettrico

Nello stabilimento di Lipsia, BMW investe 400 milioni di euro per creare, a partire dal 2013 e grazie ai 800 nuovi occupati, la i3 elettrica e la ibrida plug-in i8.



Ford prepara la strada a cinque modelli elettrici (tra cui la C-Max plug-in) che arriveranno nel 2013; tra gli obiettivi della casa americana, avvicinare il costo delle elettriche a quello delle vetture tradizionali.



Forte delle batterie al litio della LG Chem, la joint-venture coreana propone la Hyundai Sonata ibrida (venduta in U.S.A.) e nel 2012 lancerà la Hyundai BlueOn EV. 1,4 miliardi di euro, la cifra investita.



Tre accordi per la "stella a tre punte": uno con Byd per un'auto elettrica per il mercato cinese, uno con la Bosch (motori elettrici) ed uno con la Smart, per vendere nel 2012 la versione elettrica.



A fine anno Opel lancerà la sua Ampera, ibrida capace di caricare le batterie col motore a benzina. Un investimento di 1 miliardo di euro porterà nel 2013 una nuova city-car tutta elettrica.



L'accordo tra Nissan (che già vende la sua Laef in U.S.A. e Giappone) e Renault vede in campo 4 miliardi di euro per aggiungere alla gamma 4 modelli elettrici nel 2012.



Il lancio, previsto nel 2013, della E-Up e delle E-Golf ed E-Jetta, è il passo con cui la Volkswagen (con 51,6 miliardi di euro stanziati) punta a diventare leader nel mercato delle auto elettriche.



Sulla scia del successo della ibrida Prius, Toyota annuncia per il 2012 la versione 7 posti e la plug-in del suo "cavallo di battaglia", oltre alla Yaris HSD. Quest'anno è previsto l'arrivo anche della iQ EV elettrica.



Il gruppo francese si allea con la Mitsubishi (con la quale produce la Peugeot iOn e la Citroën C-Zero, derivate dalla i-MiEV giapponese) e con BMW (100 milioni di euro investimenti per sviluppare tecnologie ibride).



i due motori sono posti tra loro in serie, l'aumento della corrente li riguarda entrambi, quindi quello frenato fa aumentare la potenza in quello della ruota esterna, il quale accelera e viene incontro alle esigenze della sterzata.

La struttura meccanica della trazione è simmetrica, quindi la sistemazione dei motori li vuole rivolti uno verso l'altro, ovvero con i pignoni dei due affacciati verso l'interno dell'auto; per questa ragione, affinché in marcia le due ruote girino nella stessa direzione, abbiamo dovuto collegare i motori in antiserie (il + di uno deve toccare il positivo dell'altro e l'alimentazione viene fornita ai negativi o viceversa). Se avessimo collegato in serie normalmente i motori, entrambi avrebbero girato nello stesso verso, però essendo montati uno al contrario dell'altro, le ruote avrebbero girato discordemente.

Dunque, la trazione avviene mediante due motori, ciascuno dei quali -provvisto di un pignone fissato al proprio albero grazie a una chiavetta- comanda la corona del rispettivo semiasse tramite una catena; ogni semiasse aziona una delle ruote di trazione.

Ciascun motore è stato fissato al telaio mediante una staffa che riporta due occhielli: uno, giusto per ospitare il bullone di serraggio della flangia (del motore) e l'altro che in realtà è un'asola rettangolare la quale ci permette di aggiustare la distanza dell'albero motore dal semiasse corrispondente, in modo da tendere più o meno la relativa catena. Tale soluzione, peraltro adottata nelle automobili per tendere la cinghia dei servizi (nelle più semplici si distanzia l'alternatore) ci consente di ottenere la tensione ottimale delle catene di trazione senza ricorrere a tendicatena aggiunti-

vi, che avrebbero complicato la meccanica (il tendicatena di solito è ammortizzato mediante molle o con olio idraulico).

Sistemata la trazione, dovevamo pensare ai freni: visti il ridotto peso della vettura e la bassa velocità raggiungibile, abbiamo adottato la frenatura di servizio solo sull'assale posteriore; per il momento, niente freno di stazionamento (freno a mano) anche perché non dobbiamo parcheggiare in pendenza). Avevamo a disposizione svariate soluzioni, tra le quali:

- freno a ganasce sui cerchi, come nelle biciclette;
- freno a tamburo sui semiassi o sulle ruote;
- freno a disco sui semiassi o sulle ruote.

Il primo l'abbiamo scartato perché poco efficace, visto che la nostra macchina non è una bicicletta e l'energia cinetica posseduta alla massima velocità teorica è tale da richiedere un sistema più potente e affidabile; infatti l'energia cinetica ammonta a circa:

$$E_c = 1/2 m \times v^2 = 200 \text{ kg} \times (16,67 \text{ m/s})^2 = 55.578 \text{ joule}$$

Volendo esaurire quest'energia in una frenata di pochi secondi, dovevamo orientarci verso la frenatura a disco o a tamburo;



Ogni ruota è mossa dal proprio motore, la cui staffa di sostegno permette di tendere la catena.

abbiamo optato per la prima visto che le ruote da noi comperate erano già provviste di dischi. Dunque, non abbiamo dovuto fare altro che procurarci delle pinze freno idonee ed approntare una staffa di sostegno per ciascuna ruota, in modo da collocarla a cavallo del relativo disco. Le pinze che abbiamo comprato sono due (una per ciascuna ruota posteriore) e, avendo delle ruote per il ciclomotore Liberty della Piaggio, abbiamo chiaramente scelto quelle adatte ad esso, che sono di tipo idraulico. Per azionarle avevamo bisogno di una pompa dell'olio mossa dal pedale del freno e di tubi capaci di reggere le pressioni in gioco, per portare l'olio stesso nelle camere di pressione delle pinze. L'olio con cui abbiamo riempito il circuito è quello specifico per i freni delle automobili, ovvero il DOT4. Ogni pinza è di tipo fisso, quindi a stretto rigore avremmo dovuto montarla interponendo tra i bulloni e il loro corpo delle molle, così da consentirgli di ondeggiare per seguire le pur minime ondulazioni dei dischi; nella pratica abbiamo evitato ciò, basandoci su una considerazione: le pinze freno idrauliche hanno i pattini d'attrito (le pastiglie che premono sui dischi per esercitare l'azione frenante) mossi ognuno da un pistone posto da un lato, che scorre in un cilindro comunicante con quello del lato opposto, ragion per cui la pressione si compensa e così pure l'escursione di un pattino. In altre parole, se il disco deformato, girando allontana un pattino, questo spinge il proprio pistone e rimanda indietro l'olio; però, mantenendo premuto il pedale del freno, il pistone rimane alla medesima pressione, cosicché l'aumento nel circuito va a riflettersi sulla pastiglia più distante, avvicinandola e

garantendo la frenatura. Certo, in frenata questo "aggrapparsi" al disco da parte delle pastiglie fa comunque ondeggiare un po' le pinze, ma l'ondulazione, lo hanno dimostrato le prove in campo, grazie alla lunghezza delle staffe di montaggio e alla conseguente elasticità di queste ultime, non provoca alcun danno.

La pompa che manda in pressione l'olio dei freni è in realtà doppia e ciascuna sezione che la compone viene azionata dal pedale del freno contemporaneamente all'altra; il meccanismo di comando è stato studiato per consentire alle due singole pompe di fornire la pressione richiesta dalla pinza corrispondente, adeguandosi ad eventuali variazioni dovute, ad esempio, alle vibrazioni dei dischi. In pratica le pompe sono montate una accanto all'altra e vengono azionate da un bilanciere tirato al centro dal pedale del freno; in questo modo la forza impressa dal pedale viene ripartita fra le pompe, ognuna delle quali preme quanto richiesto, poiché l'escursione del pistone di ciascuna è indipendente da quello dell'altra.

L'IMPIANTO ELETTRICO

Bene, dopo un po' di meccanica passiamo a descrivere la parte elettrica ed elettronica della vettura, partendo da una premessa: per viaggiare in sicurezza ed evitare pericolose sollecitazioni, dobbiamo poter modulare la potenza fornita ai motori, per diverse ragioni: la prima è che dobbiamo accelerare gradualmente e in base alle necessità. Poi è impensabile dare ai motori la tensione delle batterie per muovere l'auto o toglierla per lasciarla rallentare, in quanto innanzitutto la corrente di spunto, applicando da fermo la corrente delle batterie, sarebbe tale da



Il comando del freno è ottenuto con un pedale che aziona due pompe.



Il freno posteriore è a disco con pinza fissa e disco autoventilante.

surriscaldare i fili e determinare scintille e surriscaldamenti delle zone di contatti degli interruttori o altro usato per dare e togliere alimentazione. Dunque, abbiamo optato per un controllo dei motori a tensione variabile, per operare il quale avevamo due possibilità: la prima era ricorrere a un reostato di potenza o a resistori a filo (di nichel-cromo o nichel-costantana) commutati da un selettore e la seconda affidarci all'elettronica, realizzando un controllo PWM. Abbiamo subito scartato la prima per una ragione principale ed altre secondarie: quella principale è che la variazione della velocità si ottiene giocando sulla tensione e trattando sulle resistenze la potenza che non va al motore, ragion per cui alle batterie viene richiesta pressappoco sempre la stessa potenza, sia a bassa velocità, sia alla massima velocità di marcia.

Poi, le resistenze, oltre ad essere grandi e a dissipare la potenza che non va al motore, scaldano molto, quindi vanno protette dal contatto degli occupanti dell'auto, che altrimenti potrebbero ustionarsi; ancora, commutare più resistenze richiede un commutatore pesante e ingombrante e, peraltro, soggetto ad usura dei contatti. In ultimo, limitare la potenza con delle resistenze non consente, a basso regime di giri, di sfruttare coppie motrici adatte a partire celermente, senza contare che la tensione ricevuta dal motore, quando in serie c'è una resistenza, dipende dalla corrente assorbita e perciò non si può regolare agevolmente, in quanto per una certa resistenza inserita, la velocità del motore è tanto maggiore quanto più scende il carico. Un simile sistema poteva andare bene ai tempi dei primi treni elettrici (in cui peraltro si adottavano particolari configurazioni dei motori che cambiavano dall'avviamento alla marcia ordinaria) ma oggi non si usa più neanche nella trazione ferroviaria. Ci siamo dunque orientati verso un sistema di variazione allo stato solido. Come accennato, la scelta è caduta su un regolatore PWM, che nella fase prototipale, per accelerare il collaudo, è stato acquistato già pronto, mentre ora, che siamo più tranquilli, abbiamo progettato da noi e ve ne proporremo il progetto in una delle prossime puntate.

Il regolatore del prototipo è gestito da microcontrollore e accetta all'ingresso il segnale di tensione ricavato collegandogli il potenziometro contenuto nel gruppo acceleratore: in pratica il pedale dell'acceleratore comanda un potenziometro a filo che colleghiamo al modulatore, il quale regola di conseguenza il duty-cycle dell'onda quadra con

cui alimentiamo il motore.

La soluzione del PWM ci consente di avere un'ottima regolazione della velocità e una coppia motrice elevata anche a basse tensioni, dato che la tensione con cui è alimentato il motore consta di impulsi tutti della stessa ampiezza (massima) e per variare la potenza inviata ai motori giochiamo sul rapporto tra la loro durata e la pausa. L'alimentazione principale del regolatore, che poi è quella dei motori, è protetta da un fusibile posto in serie alla linea delle batterie; inoltre abbiamo previsto un interruttore di emergenza (tipo quelli delle macchine utensili e delle scale mobili) sempre in serie all'alimentazione, finalizzato a spegnere istantaneamente la macchina se qualcosa va storto.

L'accensione e lo spegnimento per via ordinaria dell'impianto elettrico vengono ottenuti mediante un interruttore a chiave, come si conviene per un'auto-vettura; un deviatore a posizione centrale ci permette di scegliere tra la marcia avanti e la retromarcia, il che si ottiene semplicemente ordinando al regolatore PWM di invertire la tensione di uscita. Prima di procedere con la realizzazione dell'impianto elettrico abbiamo fissato al telaio che sorregge i sedili, il controller, i



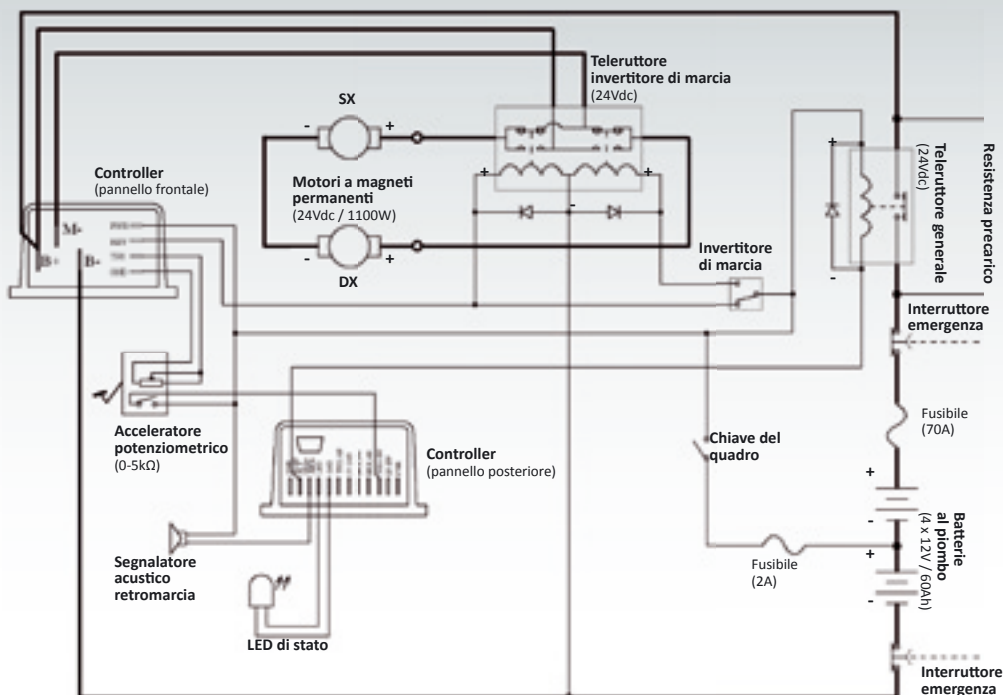
Le batterie attualmente sono quelle per l'avviamento degli autoveicoli.

teleruttori, il portafusibile e il pulsante d'emergenza; per quest'ultimo è stato realizzato un apposito supporto utilizzando una piastra di alluminio, da 3 mm, sagomata a dovere con una piega lamiera. Tutti i collegamenti elettrici di potenza sono stati realizzati con cavi da 16 mmq (di colore rosso e nero), mentre quelli di controllo sono fatti con cordine in rame isolato da 1mmq e un cavo schermato a 10 conduttori da 0,5 mmq. Per il quadro di comando (fissato a fianco del volante) abbiamo utilizzato un contenitore in materiale plastico da 95x48x38mm; sul lato frontale sono stati installati il blocchetto d'accensione, il LED che indica la messa in tensione dell'impianto e il selettore marcia avanti/indietro. I collegamenti con i cavi provenienti dal controller e dall'acceleratore sono stati realizzati utilizzando due connettori a 16 vie (uno maschio da pannello e uno femmina) tipo Minifit della Molex. Successivamente abbiamo collegato in serie le batterie (dopo aver ricoperto i relativi poli con grasso) ed allacciato il cavo positivo (con fusibile da 70A) e negativo all'interruttore d'emergenza. Dopo aver ricontrollato tutto il cablaggio (il cui schema è riportato in queste pagine), abbiamo sollevato le ruote posteriori del veicolo, riarretto l'interruttore d'emergenza e girato la chiave d'accensione; ciò ci ha permesso di collaudare la trazione prima di metterci in marcia. Quanto al posto guida e a quello del passeggero, li abbiamo realizzati usando come sedili due poltroncine da ufficio, private del piedistallo girevole e avvitate in maniera stabile al sostegno ad L del telaio.

L'ELETTRONICA DI BORDO

Alla vettura così come ve l'abbiamo descritta aggiungeremo

presto un po' di elettronica, allo scopo di realizzare particolari funzioni e implementare caratteristiche di sicuro interesse. Per prima cosa realizzeremo un nostro controller PWM per la trazione ed anche un carica-batterie solare installato permanentemente a bordo: questo circuito sarà oggetto della prossima puntata. Subito dopo vi proporremo un sistema di monitoraggio dove vedere velocità, stato di carica delle batterie, autonomia residua, ecc. In futuro doteremo la nostra vettura anche di un sistema di frenatura elettrica, per recuperare in rallentamento e frenata parte dell'elettricità fornita ai motori e quindi ricaricare le batterie anche con essa; il sistema si basa sul fatto che qualsiasi motore elettrico in continua, se fatto ruotare privo di alimentazione, fornisce corrente sull'indotto. Caricando con un utilizzatore il circuito d'indotto, il motore viene frenato da una coppia resistente che gli fa dissipare meccanicamente poco più della potenza elettrica fornita all'utilizzatore stesso (in teoria la potenza è la stessa, ma in pratica bisogna tener conto delle perdite). Per il momento abbiamo montato



Cablaggio dell'impianto elettrico della nostra auto.

sul tetto quattro pannelli fotovoltaici cristallini da 85 Wp ciascuno; ogni pannello, della tensione nominale di 12 V, eroga fino a 18 V se privo di carico. L'interconnessione, in serie, è stata realizzata mediante l'apposito cavo per pannelli fotovoltaici e specifici connettori con i quali porteremo l'alimentazione direttamente al caricabatterie. Abbiamo anche provato a vedere se con i soli pannelli riuscivamo a muovere l'autovettura, ma

sfortunatamente ci è andata buca: la potenza di spunto richiesta dai motori supera le capacità dei pannelli, che pure tutti insieme fornirebbero 340 watt, sicuramente sufficienti in marcia. Il tetto, che in realtà è formato dai pannelli fotovoltaici, è stato appositamente realizzato con quattro montanti in scatolare di ferro più delle traverse in scatolare d'alluminio cui abbiamo avvitato i pannelli; i montanti sono a loro volta fissati al telaio dell'auto. ■

Elettronica In
Rivista mensile di progettazione elettronica

Sei un appassionato di elettronica? Ti piace progettare, costruire, modificare qualsiasi cosa purché abbia a che fare con transistor, display o microcontrollori? Vorresti condividere le tue conoscenze con gli altri lettori?

Cosa aspetti? ... Entra subito a far parte dei COLLABORATORI HARDWARE della nostra Rivista

Realizzare un progetto per ElettronicaIn è molto semplice!

Dopo aver concordato con la redazione le linee guida del progetto, ti invieremo il materiale necessario con quale farai le prove e realizzerai un primo prototipo, anche su breadboard. Successivamente ci manderai il disegno dello stampato: alla sua realizzazione pratica provvederemo noi che ti rimanderemo la basetta ed i componenti per realizzare il prototipo finale, quello che poi andremo a fotografare e che presenteremo sulle pagine della rivista. Agli schemi elettrici definitivi provvederemo sempre noi mentre a te non rimarrà altro che descrivere il progetto nello stile della rivista.

Manda una mail a: redazione.hardware@elettronica.in

Non perdere questa opportunità!
Contattaci oggi stesso!



ELETTRONICA IN - Aprile 2011

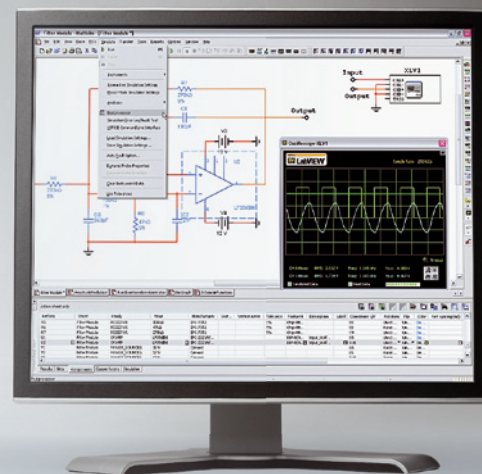
45

Conoscere e usare NI Multisim

Progettazione più semplice,
migliore simulazione.



Cimentiamoci nell'analisi delle diverse possibilità di simulazione con Multisim, occupandoci in particolare di quelle nel dominio del tempo. Terza puntata.



di Enrico Ambrosini

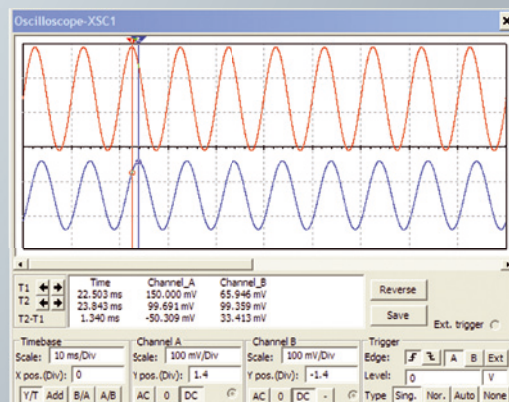
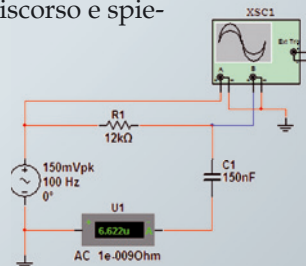
Se avete seguito con attenzione le puntate precedenti del corso e messo in pratica le nozioni che vi abbiamo dispensato, ormai dovrete saper fare le simulazioni più semplici, ossia quelle in corrente continua. Dando ciò per scontato, vogliamo proseguire questa trattazione su Multisim, affrontando lo studio delle altre possibilità di simulazione offerte dal software di National Instruments, occupandoci in particolare di quelle che riguardano il dominio del tempo.

Prima di entrare nel merito, bisogna innanzitutto porre le basi del discorso e spie-

gare come può avvenire l'analisi nel dominio del tempo, dopodiché vedremo come compierla con gli strumenti messi a disposizione da Multisim. Innanzitutto possiamo dire che la predetta analisi può riguardare due situazioni tipiche, che prenderemo in considerazione:

- 1) l'analisi a regime periodico;
- 2) l'analisi in regime transitorio.

Fig. 1 - Analisi, tramite l'oscilloscopio, di un circuito RC a regime sinusoidale con le misure rispetto a massa.



ANALISI A REGIME PERIODICO CON L'OSCILLOSCOPIO

Per descrivere le funzionalità disponibili in Multisim, iniziamo da un semplice circuito RC e lo colleghiamo all'oscilloscopio a due tracce, come illustrato nella Fig. 1 (file **circuito_AC_1**). Il generatore (**AC_VOLTAGE**) lo trovate tra i componenti nel gruppo **Sources** (famiglia **SIGNAL_VOLTAGE_SOURCE**) mentre la massa (**GROUND**) si trova nel gruppo **Sources** della famiglia **POWER_SOURCES**; infine, il resistore (**RESISTOR**) e il condensatore li trovate nel gruppo **BASIC**. L'oscilloscopio è stato inserito per valutare i segnali all'ingresso (canale A) e ai capi del condensatore (canale B); fate attenzione al fatto che, sebbene il simulatore funzioni comunque correttamente, abbiamo preferito evidenziare anche sull'oscilloscopio i collegamenti di massa, così come si fa nella realtà (su questo discorso torneremo più avanti).

Facendo il solito doppio clic con il mouse sull'oscilloscopio, si può ingrandire lo strumento virtuale e vedere i comandi come appaiono nella Fig. 1. Se l'immagine dell'oscilloscopio appare con il fondo nero, potete ottenere lo sfondo chiaro (come mostrato nella solita Fig. 1) usando il tasto **Reverse**; se volete, potete fare questa modifica in modo permanente impartendo il comando accessibile dal percorso **Options\Global Preferences\Simulation** e scegliendo in **Graphs** l'opzione **White**. Osservate anche come assegnando ai fili del circuito colori diversi (portate il puntatore del mouse sul filo, cliccate con il tasto destro e scegliete **Color Segment**) sia possibile avere anche sull'oscilloscopio tracce degli stessi colori. Rinunciamo a una descrizione dettagliata delle funzionalità di un oscilloscopio, che riteniamo conosciute già, e ci limitiamo ad osservare gli aspetti più significativi di questo caso specifico. In particolare, esiste la possibilità di regolare l'asse dei tempi (**Time/Div**) e gli assi delle tensioni (**Channel A** e **Channel B**): per questi ingressi è possibile sia il funzionamento in **DC** che in **AC**; il normale funzionamento con base dei tempi si ottiene facendo clic sul pulsante **Y/T**, mentre con **Add** si visualizza la somma delle due tensioni. Il funzionamento **X/Y** e **Y/X** si ottiene rispettivamente con i pulsanti **B/A** e **A/B**. Per quanto riguarda il trigger, si ottiene l'uso normale

facendo clic sul pulsante **Auto**, mentre molto utile è il pulsante **Sing**, che permette di fermare l'immagine al termine della singola spazzolata (sweep) ottenendo così un'immagine stabile anziché in movimento continuo (se si usa il pulsante **Sing** o il **Nor** e l'immagine non appare, dovete regolare a un valore diverso il **Level**). Osservate poi i pulsantini freccia **T1** e **T2**, utilizzabili per spostare i cursori mobili 1 (rosso nel nostro caso) e 2 (blu nel nostro caso) che, in alternativa, possono anche essere spostati trascinandoli con il mouse; tali cursori ci permettono la lettura dei tempi e delle tensioni nei punti in cui sono posizionati. In particolare, notate che è possibile misurare anche la differenza dei tempi **T2-T1** che, nel caso considerato, permette di valutare lo sfasamento tra le due sinusoidi; nello specifico, lo sfasamento della tensione sul canale B (quella sul condensatore) rispetto a quella sul canale A (quella del generatore) è pari a:

$$\Delta\varphi^\circ = -360 \cdot f_{Hz} \cdot (T2 - T1)_{sec} = -360 \cdot 100\text{Hz} \cdot 1,340 \cdot 10^{-3}\text{s} = -48,24^\circ$$

ovvero la tensione sul condensatore è in ritardo di $48,24^\circ$ rispetto alla sinusoide del generatore. Noterete che nel circuito c'è anche un amperometro, che abbiamo inserito per evidenziare che stiamo misurando il valore efficace della corrente. Anche qui procediamo con un esempio, dicendo che la corrente in questo circuito risulta pari a:

$$I = \frac{V_1}{Z} \quad \cos Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f \cdot C}\right)^2}$$

Se come tensione si usa il valore di picco (**Vpk**), detto anche massimo, della sinusoide, che nel caso del nostro generatore vale 150 mV, si trova il valore di picco della corrente sinusoidale, che vale:

$$I_{pk} = \frac{150 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{12k\Omega^2 + \left(\frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 150 \cdot 10^{-9}}\right)^2}} = 9,368 \mu\text{A}$$

se invece usiamo il valore efficace di **V1**, pari a quello di picco diviso per la radice quadrata di 2, otteniamo:

$$I_{eff} = \frac{\frac{150 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2}}}{\sqrt{12k\Omega^2 + \left(\frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 150 \cdot 10^{-9}}\right)^2}} = 6,62 \mu\text{A}$$

che è il valore fornito dall'amperometro.

ANALISI IN REGIME PERIODICO CON L'OSCILLOSCOPIO E LE SONDE

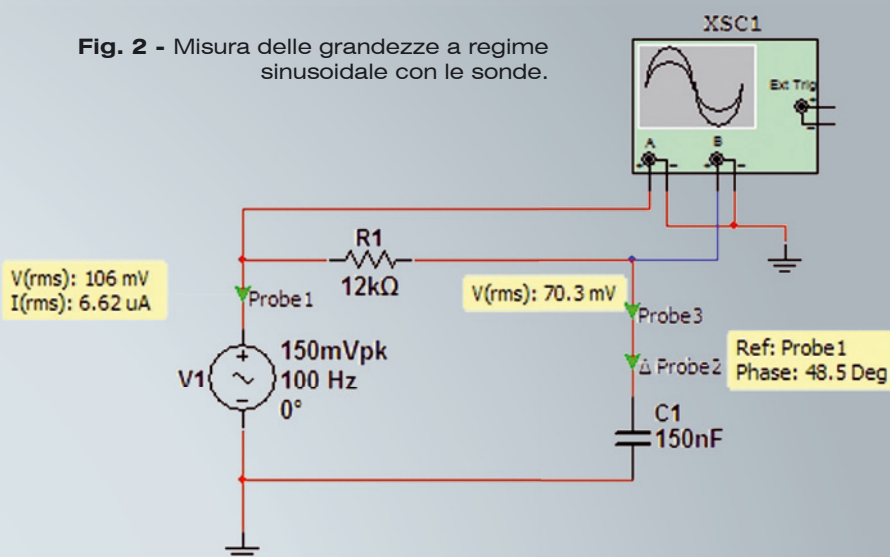
Possiamo semplificare ed ottimizzare le misure sul precedente circuito usando le sonde (**Probe**), secondo lo schema riportato nella **Fig. 2** (file **circuito_AC_1.1**). La sonda 1 misura i valori efficaci (notate la sigla RMS) della corrente e della tensione del generatore, la sonda 3 misura la tensione efficace ai capi del condensatore e la 2 misura la fase della tensione sul condensatore rispetto a quella della 1 (generatore), presa come riferimento. Per aiutarvi nell'impostazione delle sonde riportiamo, nella **Fig. 3**, quello che abbiamo fatto nei nostri test.

I più attenti avranno notato che, a parte la piccola e trascurabile differenza di valore, la fase letta con la sonda è positiva anziché negativa, come visto nella misura precedente e come d'altronde dice la teoria; ma in effetti Multisim misura le fasi con una convenzione opposta a quella che usiamo normalmente. Comunque potete settare Multisim secondo una vostra convenzione; ciò può essere fatto con il comando accessibile dal percorso **Options\Global Preferences\Simulation** e spuntando la voce **Shift right**, come mostrato nella **Fig. 4**, tuttavia questa impostazione agisce solo sulla fase dei generatori in c.a. ma non sulla lettura della fase con la sonda. In conclusione, questa modifica, se usiamo le sonde, può risultare fuorviante perché assegna ai generatori una convenzione diversa da quella delle sonde stesse. Preferiamo quindi assegnare le fasi ai generatori con segni opposti a quelli giusti, secondo la nostra convenzione (ma corretti rispetto alla convenzione delle sonde) e poi, quando si leggono le fasi con la sonda, cambiare segno ai valori trovati (o adeguarci alla convenzione di Multisim).

ANALISI A REGIME PERIODICO CON GLI INGRESSI DIFFERENZIALI DELL'OSCILLOSCOPIO

Ritorniamo ora al circuito di **Fig. 1** e modifichiamolo come mostrato in **Fig. 5** (file **circuito_AC_1.2**). Come potete notare, i terminali

Fig. 2 - Misura delle grandezze a regime sinusoidale con le sonde.



Probe Properties

Display | Font | Description Box | Parameters

☒ Use reference probe: Probe1

Name	Show	Minimum	Maximum	Precision
V	No	1.000e-012	1.000e+012	3
V(p-p)	No	1.000e-012	1.000e+012	3
V(rms)	No	1.000e-012	1.000e+012	3
V(dc)	No	1.000e-012	1.000e+012	3
Freq.	No	1.000e-003	1.000e+012	3
I	No	1.000e-012	1.000e+012	3
I(p-p)	No	1.000e-012	1.000e+012	3
I(rms)	No	1.000e-012	1.000e+012	3
I(dc)	No	1.000e-012	1.000e+012	3
Vgain(dc)	No	1.000e-012	1.000e+012	3
Vgain(ac)	No	1.000e-012	1.000e+012	3
Phase	Yes	1.000e-012	1.000e+012	3

Fig. 3 - Impostazione del Probe 2.

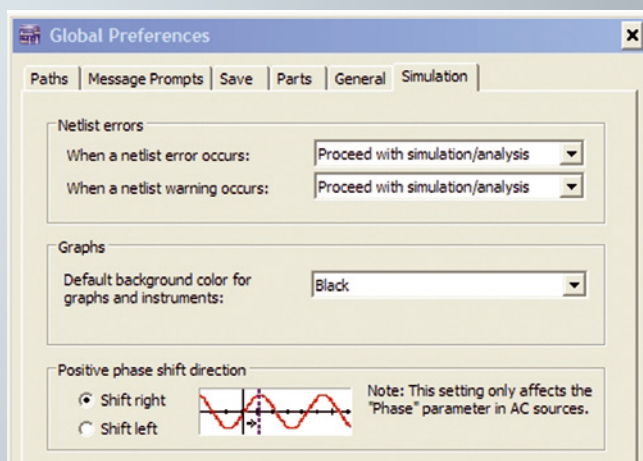
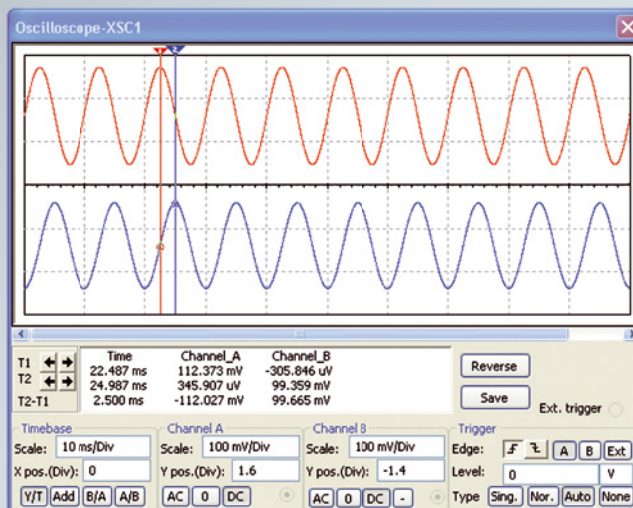
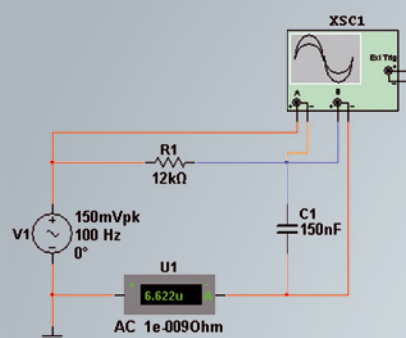


Fig. 4 - Impostazione per assegnare le fasi ai generatori secondo la nostra convenzione.

Fig. 5 - Analisi con l'oscilloscopio di un circuito RC a regime sinusoidale, sfruttando gli ingressi differenziali dello strumento.



– (negativi) degli ingressi dell'oscilloscopio sono utilizzati per misurare le tensioni ai capi di R e di C; ciò è possibile perché in questo oscilloscopio gli ingressi sono di tipo differenziale e distinti dalla massa dello strumento.

Si tratta di una situazione comoda perché semplifica molte misure, rispetto alla condizione tipica in cui i terminali – degli ingressi dello strumento sono in comune con la massa, cosa che rende inevitabile la misura solo di tensioni valutate rispetto a massa, come è stato fatto nel circuito di Fig. 1. Dall'analisi all'oscilloscopio, possiamo visivamente osservare lo sfasamento di 90° tra le due tensioni, confermando ciò che ci dice la teoria (anche numericamente, usando i valori letti di T2 e T1 si trova uno sfasamento di 90°).

USO DEL GENERATORE DI FUNZIONI PER L'ANALISI IN REGIME PERIODICO

In alternativa agli strumenti presenti nella barra dei componenti, si può usare come sorgente di segnale lo strumento Generatore di Funzioni (G.d.F.). Realizziamo inizialmente il circuito illustrato nella Fig. 6; come si vede, sull'oscilloscopio le uscite + e – del generatore forniscono due segnali (nel nostro esempio sinusoidali) in opposizione di fase rispetto al terminale centrale qui usato come massa.

Notate anche che con il G.d.F. possiamo ottenere tre tipi di segnali alternati (cioè periodici a valor medio nullo) con tre forme d'onda (sinusoidale, triangolare e quadra); possiamo poi regolare ampiezza e frequenza e aggiungere un offset di tensione.

Nella situazione mostrata nella Fig. 7 (ricordate che se si usa il pulsante **Sing** o il **Nor** e

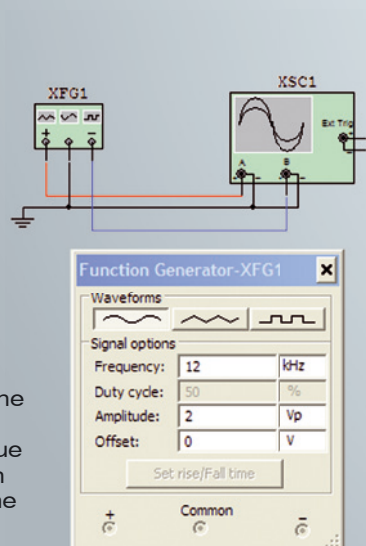


Fig. 6
Generazione tramite il G.d.F. di due sinusoidi in opposizione di fase.

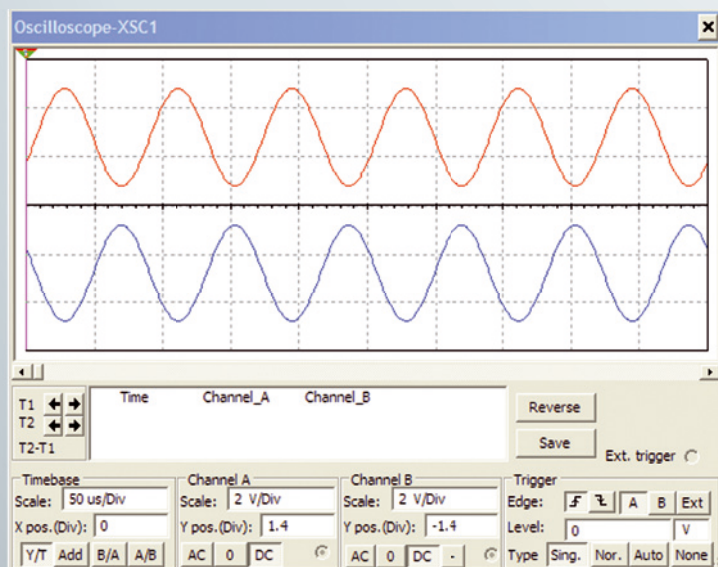
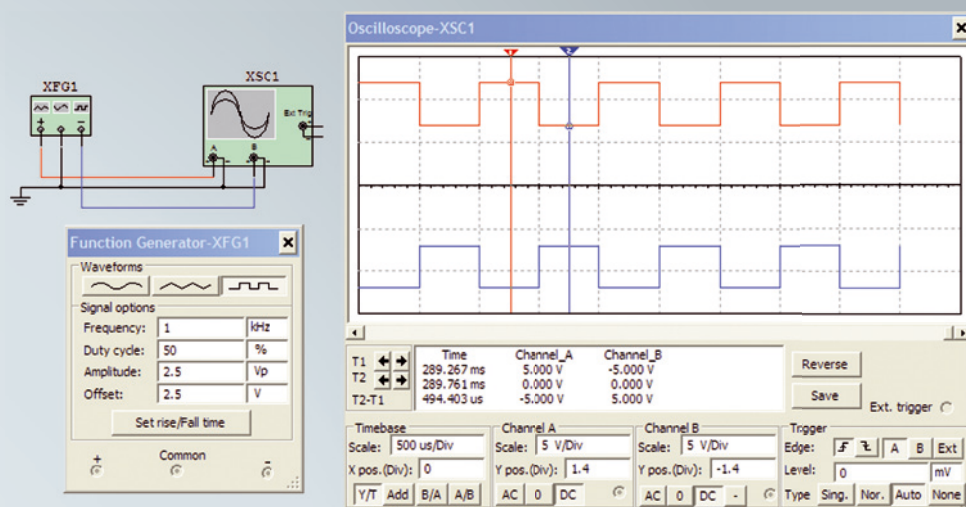


Fig. 7
Generazione, tramite il G.d.F., di due onde quadre in opposizione di fase compatibili TTL e visualizzate in DC.



l'immagine non appare, vuol dire che dovete regolare a un valore diverso il **Level**; se usate il pulsante **Auto** non avrete problemi) abbiamo sfruttato la possibilità di introdurre un offset per sovrapporre a un'onda quadra alternata di 2,5 V di picco una componente continua di +2,5 V, in modo da ottenere un'onda quadra che oscilla tra 0 e 5 V (compatibile TTL o CMOS). È questa la situazione tipica dei circuiti digitali. Gli ingressi dell'oscilloscopio sono in DC; noterete, dalla lettura dei cursori, che le tensioni assumono i due livelli 0 V e 5 V.

Se portate gli ingressi dell'oscilloscopio in AC come si vede nella **Fig. 8**, sembra tutto uguale ...ma non è vero: adesso i due valori dell'onda quadra sono +2,5 V e -2,5 V perché in AC l'oscilloscopio non "sente" la tensione continua che abbiamo aggiunto con l'offset di 2,5 V del generatore.

Osservate anche la possibilità, con questo segnale, di variare il Duty-Cycle (ricordiamo che questo parametro è definito come il rapporto tra la durata del livello alto e il periodo dell'onda; nel nostro esempio vale 0,5 ovvero il 50 %).

Infine, notate anche la possibilità di modificare i tempi di salita (Rise Time) e di discesa (Fall Time): nella **Fig. 9** questi tempi sono impostati a 100 μ s, valore che, con la nostra onda quadra, determina sull'oscil-

loscopio un'immagine in cui questi tempi risultano visivamente significativi.

ANALISI A REGIME PERIODICO CON IL MENU SIMULATE

Per l'analisi a regime periodico con il menu **Simulate** facciamo riferimento al circuito di **Fig. 10** (file **circuito_AC_2**), relativo ad un esempio di raddrizzatore ad onda intera di precisione (raddrizza con buona linearità e annulla le tensioni di soglia dei diodi). In particolare, regolando il resistore variabile al valore di 11,1 k Ω il valore in uscita letto sul voltmetro in DC è uguale a quello efficace del segnale in ingresso. Il circuito può quindi essere usato per realizzare un voltmetro in AC, usandone uno in DC (attenzione la conversione è corretta solo con tensioni sinusoidali).

Prima di procedere nella realizzazione del circuito vi ricordiamo dove potete trovare i

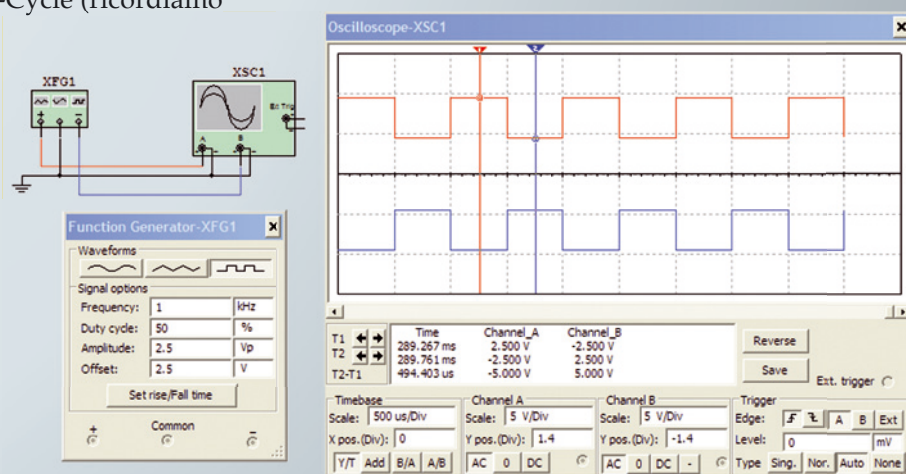


Fig. 8 - Generazione, tramite il G.d.F., di due onde quadre in opposizione di fase compatibili TTL e visualizzate in AC.



Fig. 9 - Settaggio a 100 μs dei tempi di salita e di discesa e conseguente effetto visivo sull'oscilloscopio.

componenti circuitali che non avete già usato:

- diodo 1N4148: **Master Database\Diodes\DIODE**;
- operazionale LF351D: **Master Database\Analog\OPAMP**;
- trimmer da 20 k: **Master Database\Basic\POTENTIOMETER**.

A proposito del trimmer, con un doppio clic apriamo la finestra per l'impostazione dei suoi parametri, come in **Fig. 11**: notate la possibilità di assegnare a un tasto della tastiera del PC la funzione di incremento/decremento del cursore del potenziometro; nel nostro caso si usa la lettera A: maiuscola incrementa, mentre minuscola decrementa. In alternativa, potete spostare (trascinandola con il mouse) la manopola che appare avvicinando il puntato-

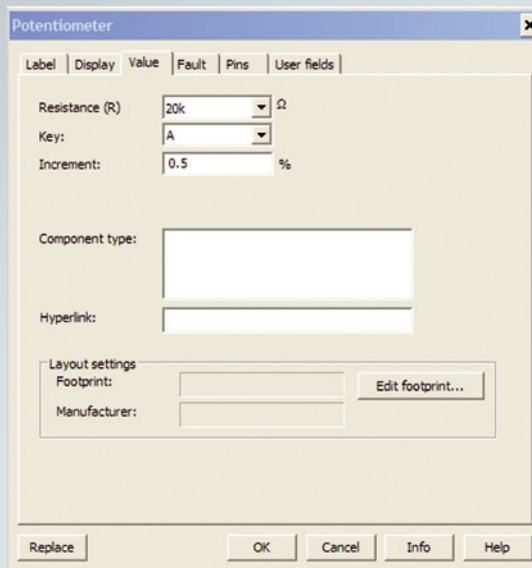
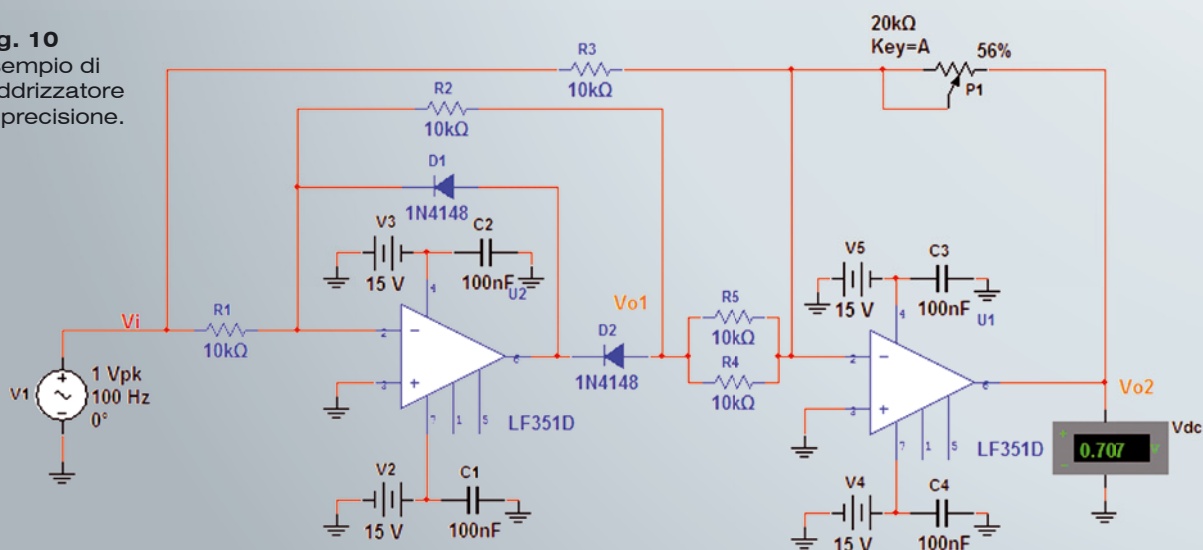


Fig. 11 - Definizione dei parametri del potenziometro.

re del mouse al potenziometro. Notate anche la possibilità di assegnare al singolo step di incremento/decremento una frazione percentuale del valore resistivo del potenziometro (nel nostro caso 0,5 %). Per la taratura del circuito dovremo agire su questo potenziometro fino a leggere sul voltmetro il valore di 0,707 V che è il valore efficace della sinusoide di ingresso da 1 V di picco.

Dopo avere realizzato, tarato e salvato il circuito, prima di procedere con la simulazione conviene, se già non appaiono, assegnare dei nomi ai nodi del circuito che ci interessano per l'analisi del segnale; noi abbiamo deciso di chiamare **Vi** il nodo che fa capo al generatore di ingresso, **Vo1** l'uscita del primo stadio e **Vo2** l'uscita finale. Per farlo dovete

Fig. 10
Esempio di raddrizzatore di precisione.



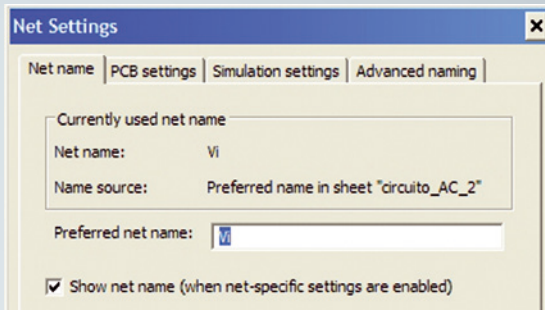


Fig. 12 - Impostazione di un nodo.

posizionare il cursore del mouse in corrispondenza dei tratti di collegamento facenti capo ai punti considerati e, con un doppio clic, aprire la finestra **Net Setting**. La Fig. 12 mostra l'impostazione per il nodo **Vi**.

Ora con il percorso **Simulate\Analyses\Transient Analysis** è possibile aprire la finestra **Transient Analysis** di Fig. 13.

Osservate innanzitutto che l'analisi a regime periodico si effettua analogamente a quella che useremo per lo studio dei transitori, ossia utilizzando l'analisi sul numero di periodi che ci interessano.

Per il resto osservate l'assegnazione automatica delle condizioni iniziali, nonché l'impostazione come istante iniziale dell'analisi (Start time) dello 0 s. e come istante finale (End time) dello 0,05 s. (con il nostro segnale di 100 Hz, questo tempo è pari a 5 periodi). Abbiamo anche portato a 1.000 il numero di punti da calcolare, perché il valore predefinito di 100 non sempre garantisce un grafico sufficientemente preciso.

Cliccando ora su **Output**, possiamo stabilire le variabili da simulare (Fig. 14). A sinistra vedete la scelta delle variabili da simulare (abbiamo scelto solo tensioni ma si può optare anche per correnti e potenze) e a destra potete inviare una alla volta, con il tasto **Add**, quelle scelte. Nella Fig. 14 vedete le nostre scelte. A questo punto, cliccando su **Simulate** potrete vedere i grafici di Fig. 15.

Nella Fig. 16 sono indicati i valori numerici dei grafici nelle posizioni indicate dai due cursori mobili (spostabili con il mouse) e inseribili/disinseribili con il pulsante ; il cursore rosso è il numero 1 ed il blu il numero 2. Il pulsante permette di definire lo sfondo bianco o nero. Il pulsante permette di inserire, come nel nostro caso, una griglia di sfondo nel grafico. Per conoscere le corrispondenze tra colori e grandezze elettriche si

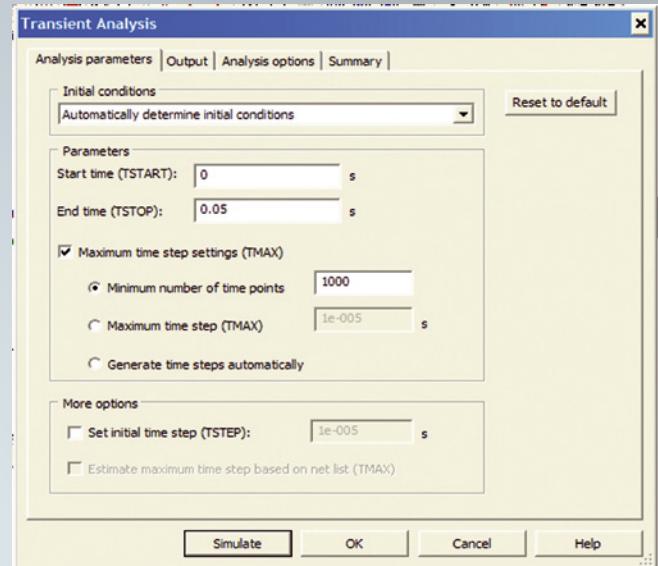


Fig. 13 - Definizione dei parametri per l'analisi.

usa il pulsante e queste appariranno, come in Fig. 15, in basso a sinistra. Con i pulsanti è possibile scegliere il grafico a linea continua, a punti e a linea e punti; nel nostro caso abbiamo scelto la linea, perché la scelta di fare il grafico a punti ha senso solo se si usa un numero di punti non eccessivo (ad esempio 100, che è il valore predefinito). Scegliendone 1.000 il grafico apparirebbe comunque continuo. Ancora, con i pulsanti si ha la possibilità di esportare i dati numerici dei punti calcolati dei grafici in Excel o di salvarli in vari formati numerici.

Da questi grafici si vede in particolare che:

- il tratto rosso indica V_i e la sua ampiezza massima è di 1 V (y_1 e y_2 indicano due

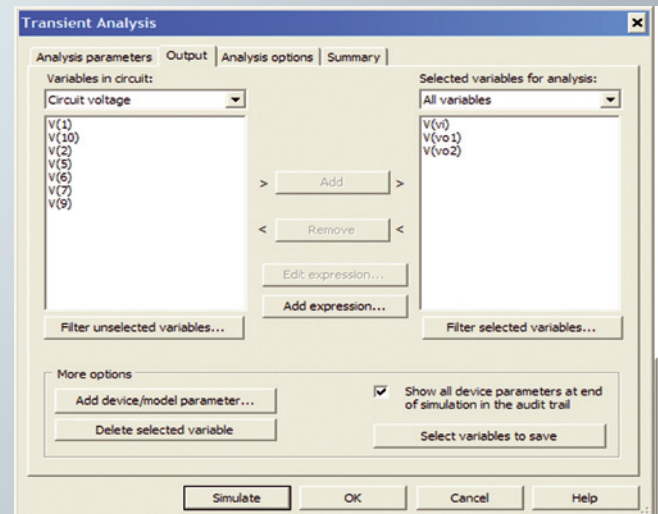


Fig. 14 - Scelta delle variabili da simulare.

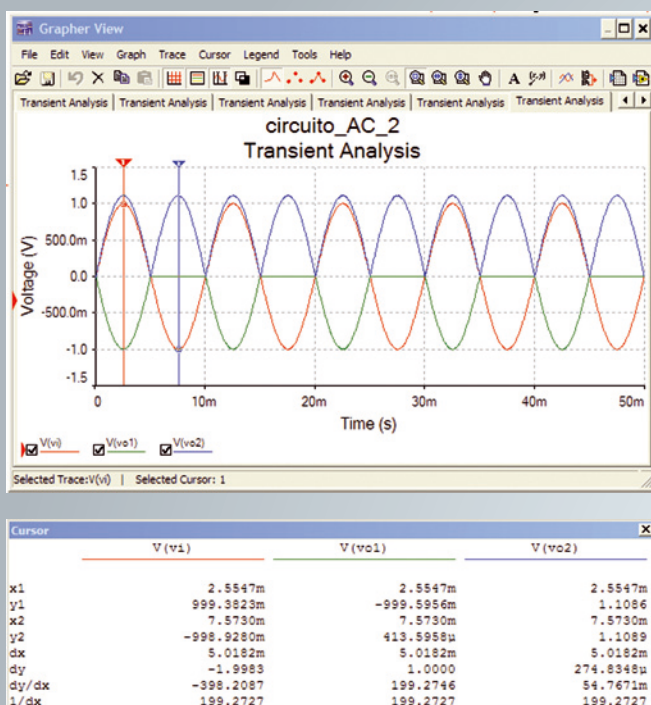


Fig. 16 - Lettura dei grafici con i cursori mobili.

picchi, rispettivamente di 999,382 mV e di -998,928 mV);

- il grafico verde indica Vo1, che è un segnale raddrizzato a semionda e invertito di fase di ampiezza massima di -1 V (y1=-999,5956 mV);
- il grafico blu indica Vo2, che è un segnale raddrizzato a onda intera di 1,11 V (y2=1.1089); ricordate che in un segnale sinusoidale raddrizzato a onda intera il

Fig. 15 - I grafici della nostra simulazione.

valore medio (ovvero il valore letto dal voltmetro in continua) è pari a $(2VP/\pi)$, ovvero nel nostro caso $(2 \cdot 1,11/\pi=0,707)$ che è il valore efficace della Vi.

Si possono anche personalizzare i grafici (titolo, colore, spessore delle tracce, ecc.) o le scale degli assi, aprendo la finestra **Graph Properties** con il comando accessibile dal percorso **Graph\Properties** (Fig. 17). Notate in particolare la possibilità di assegnare un titolo (quello predefinito è *Transient Analysis*), di definire le caratteristiche della griglia (Grid) tramite lo stile (Style), lo spessore (Size) e il colore, oltre alla possibilità di attivare e disattivare la legenda dei colori (in basso a sinistra nel grafico) e i segni di evidenziazione (Marks) sul singolo grafico. Premendo in questa finestra il tasto **Traces**, si ottiene l'immagine di Fig. 18 dove si vede, in particolare, la possibilità di assegnare alle tracce dei singoli grafici lo spessore, il colore desiderato e il nome. Ancora, con i tasti **Left axis**, **Bottom axis**, **Right axis** e **Top axis** possiamo accedere rispettivamente alle proprietà dell'asse y sinistro, dell'asse x inferiore, dell'asse y destro e dell'asse x superiore. In particolare, nella Fig. 19 trovate il caso dell'asse y a sinistra: notate la possibilità di assegnare un nome, le caratteristiche del carattere usato, il tipo di scala (lineare, logaritmica ecc.), gli estremi della scala (Range), il numero di divisioni (Total

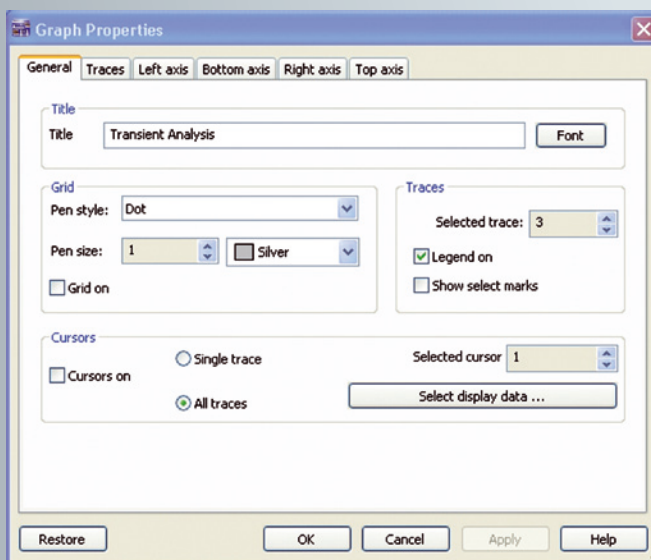


Fig. 17 - Definizione dei parametri generali dei grafici.

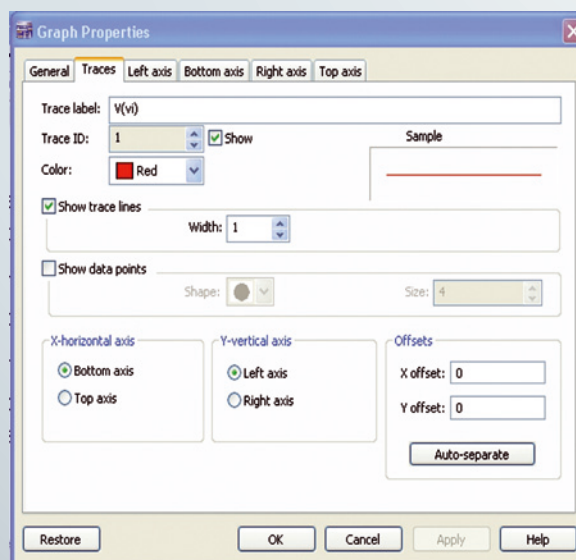


Fig. 18 - Definizione delle caratteristiche della singola traccia dei grafici.

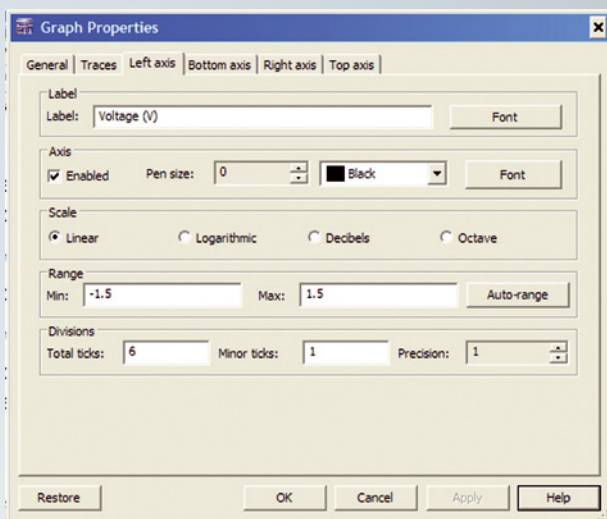


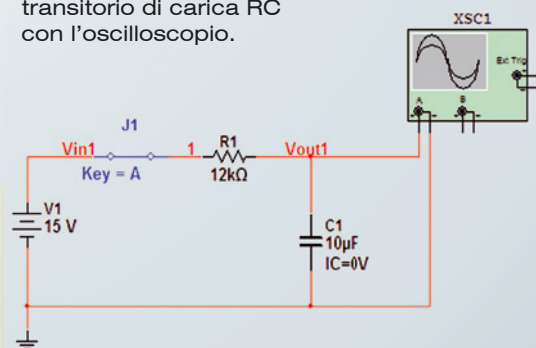
Fig. 19 - Definizione dei parametri dell'asse y di sinistra.

ticks), ogni quante divisioni riportare il valore numerico (Minor ticks) e quante cifre -oltre la virgola- dobbiamo considerare (Precision). Vogliamo, infine, ricordare che le caratteristiche dei grafici sono anche accessibili facendo clic con il pulsante destro del mouse sulla traccia o sull'asse scelto.

ANALISI IN TRANSITORIO CON L'OSCILLOSCOPIO

Consideriamo il caso del transitorio di carica di un condensatore nel circuito illustrato nella Fig. 20 (file **transitorio_1**). L'interruttore lo trovate tra i componenti di base (**Master Database\Basic\SWITCH\SPST**). Si tratta di un

Fig. 20 - Studio del transitorio di carica RC con l'oscilloscopio.



caso classico. Iniziamo la simulazione con l'interruttore aperto (si può aprire o chiudere con il tasto Space della tastiera -predefinito- o con quello da voi stabilito, acce-

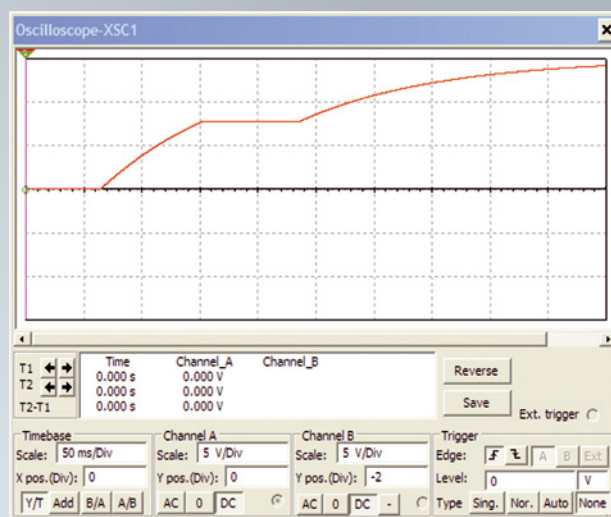
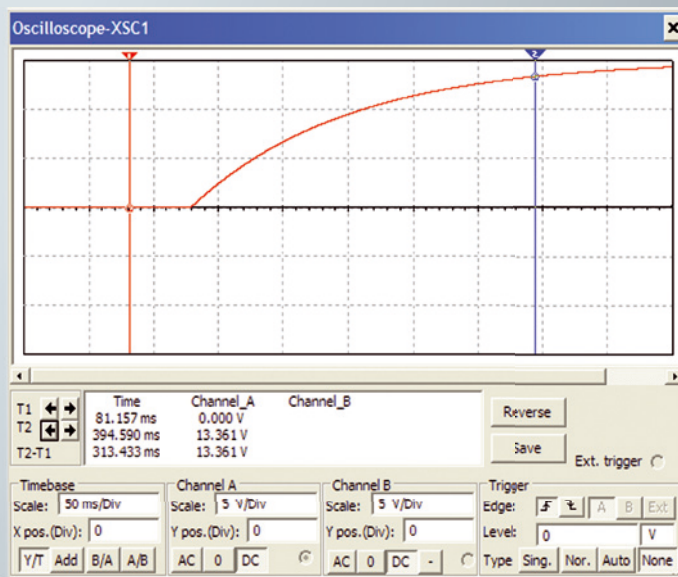


Fig. 21 - Transitorio RC di carica con un'apertura e chiusura intermedia dell'interruttore.

dendo alle proprietà del potenziometro con il solito doppio clic o con il pulsante destro del mouse); appena premeremo il tasto vedremo iniziare il transitorio di carica. Al solito, con i cursori potremo leggere tempi e tensioni. Notate che, anche se possiamo assegnare al condensatore una condizione iniziale diversa da zero (condensatore inizialmente carico), valutando il transitorio con l'oscilloscopio la simulazione avverrà considerando il componente scarico (che poi è quello che avviene nella realtà: un condensatore preso dal cassetto e messo in circuito, difficilmente è carico). Comunque, se durante il transitorio riapriamo e richiudiamo il circuito, il transitorio stesso



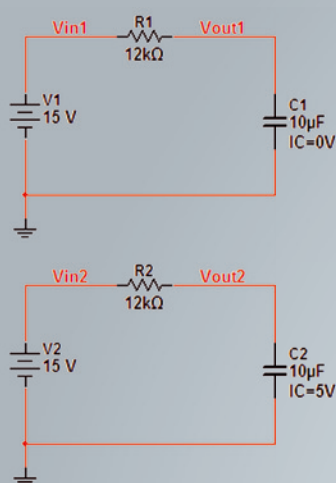
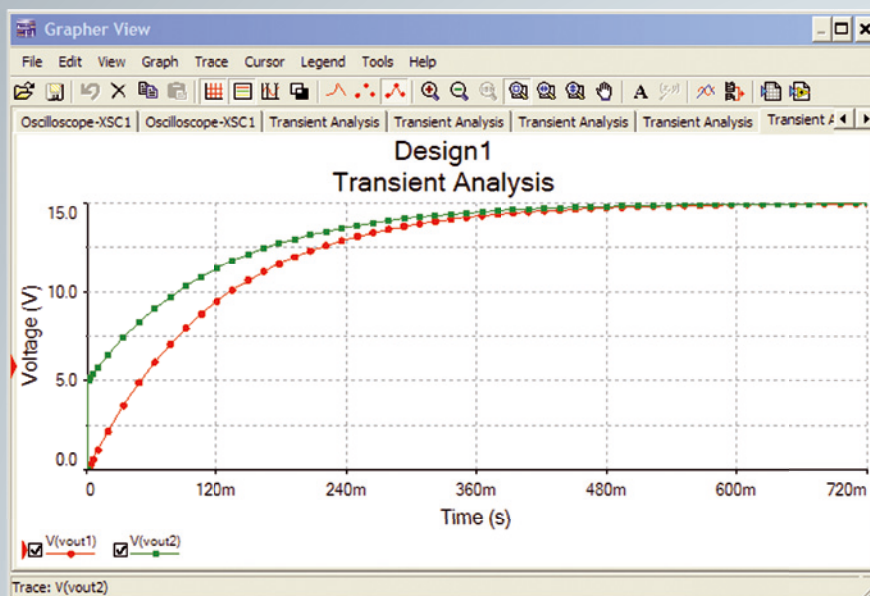


Fig. 22 - Simulazione del transitorio di carica RC.



ripartirà dal valore raggiunto prima dell'interruzione (Fig. 21).

ANALISI IN TRANSITORIO CON IL MENU SIMULATE

In questo caso possiamo realizzare il circuito assegnando al condensatore il valore di tensione iniziale (dovete accedere alle proprietà del condensatore, spuntare la voce Initial Conditions e fissare il valore numerico).

Abbiamo previsto due circuiti uguali, con tensione iniziale rispettivamente di 0 e 5 V (Fig. 22, file **transitorio_2**). Si devono poi evidenziare i nodi che interessano (ricordatevi quanto detto nell'analisi a regime periodico con il

menu **Simulate**). Con il comando accessibile dal percorso **Simulate\Analyses\Transient Analysis** si possono stabilire le condizioni di analisi (Fig. 23).

Noi abbiamo stabilito una durata della simulazione di 0,72 s, perché essendo la costante di tempo di 120 ms, si possono analizzare 6 costanti di tempo e valutare completamente il transitorio che dura 5-RC. Abbiamo anche imposto che la simulazione inizi dalle condizioni iniziali fissate (**User-defined**) sul condensatore. Abbiamo previsto un numero limitato di punti (50) per poter osservare i grafici per punti.

Attenzione che 50 non è il numero di punti fissato, ma il minimo stabilito (Minimum number of time setting); il numero di punti effettivo dipende dal tempo massimo di un singolo intervallo. Comunque, come detto in precedenza, se il grafico con il numero minimo predefinito (100) non risulta sufficientemente preciso, conviene portare questo valore a 1000 e lasciare il resto come viene.

Con il tasto **Output** siamo poi entrati nella finestra per stabilire i grafici da visualizzare; qui abbiamo previsto la simulazione delle due tensioni sui condensatori (Vout1 e Vout2). I nomi dei nodi li avevamo stabiliti in precedenza con le modalità ormai note.

Per quanto riguarda le scelte sulle modalità di visualizzazione dei grafici, rifatevi a quanto già spiegato relativamente alle figure 17, 18 e 19.

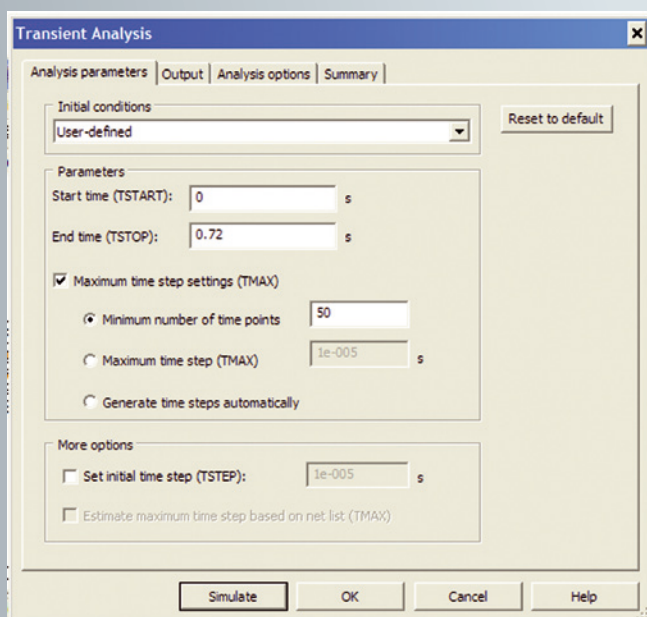


Fig. 23 - Assegnazione delle condizioni di simulazione.

LUCE PSICHEDELICA

A LED

Comandiamo uno o più diodi luminosi facendo loro emettere lampi di luce a ritmo della musica captata da un microfono.

di PAOLO GASPARI



Le luci psichedeliche sono sempre state un classico delle realizzazioni hobbistiche perché si usano in casa per dare un po' di "colore" e ritmo alla musica diffusa dall'impianto hi-fi; naturalmente vengono spesso impiegate anche in ambito professionale, nei locali da ballo e nei concerti, ovviamente con le dovute proporzioni. Il sistema tradizionale consta di lampade a incandescenza a 220 V pilotate mediante TRIAC, a loro volta eccitati da impulsi che la centralina ricava dalla musica, ma la rivoluzione portata dai LED nel mondo dell'illuminazione, potrebbe in breve tempo farci assistere alla sostituzione delle luci della scena musicale con faretto a diodi luminosi, che già esistono e vengono proposti per l'uso nei locali al chiuso e per piccole potenze in gioco. Il progetto che vi proponiamo in queste pagine va in tale direzione, perché è proprio una piccola centralina per luci psichedeliche ad un canale (cioè comanda le lampade

a ritmo di musica senza discriminare le bande di frequenza come avviene nei sistemi a 2, 3 o più canali) fatta per pilotare lampadine a LED invece che a incandescenza. La nostra idea è dunque un aggiornamento di un classico, rivisitato in chiave moderna alla luce (è proprio il caso di dirlo...) della progressiva sostituzione delle lampade tradizionali con quelle a diodi luminosi, più efficienti e durature, robuste e affidabili; inoltre, diversamente dalla canonica centralina per luci psichedeliche, non prevede alcun collegamento alla fonte di segnale audio, giacché dispone di un microfono grazie al quale preleva il suono nell'ambiente risparmiandoci l'onere di dover tirare i fili verso l'impianto hi-fi, che possono essere lunghi e qualche volta finiscono col capitare "in mezzo ai piedi". Il nostro circuito è in grado di pilotare faretto a LED funzionanti a bassa tensione (da 12 a 24 V, per l'esattezza) e richiedenti una potenza massima

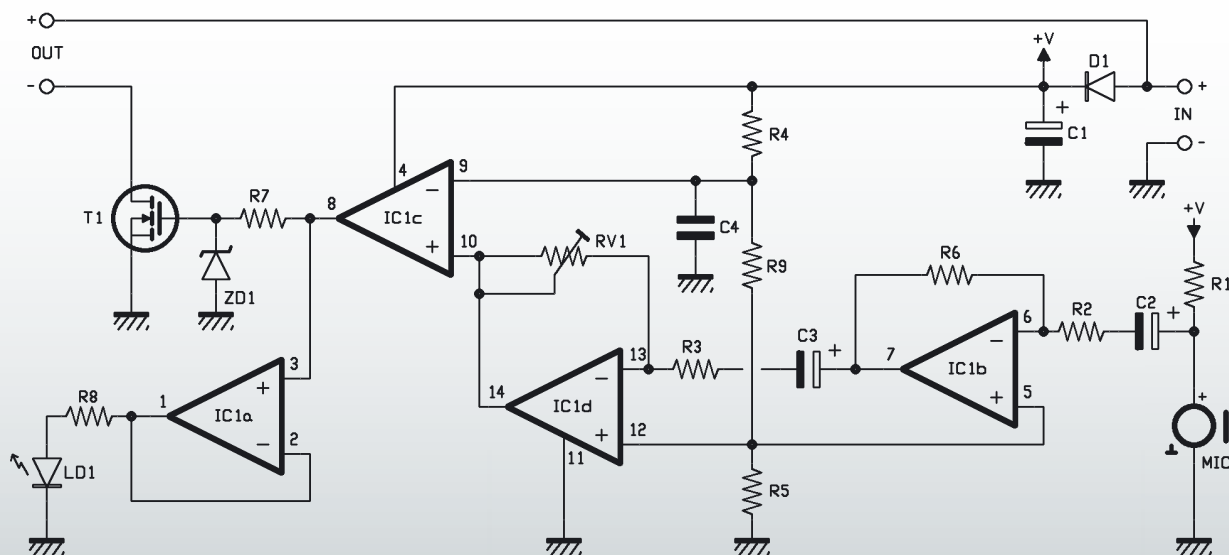
LED o a incandescenza?

Il nostro circuito può pilotare, oltre che i faretto a LED, anche lampadine a incandescenza, tuttavia è chiaro che la resa delle lampadine a LED è superiore di oltre il doppio. In generale, l'adozione di una centralina che piloti faretto a LED in bassa tensione consente di ottenere le stesse prestazioni di una che funziona con lampade e faretto a incandescenza ad alta tensione, ma che consuma potenze anche tre volte superiori. Quindi, sebbene i LED, funzionando a bassa tensione consumino correnti maggiori e comportino collegamenti con fili di maggior diametro, in realtà l'aumento del costo e dell'ingombro dei cavi stessi è minimo, proprio in virtù dell'alta resa dei prodotti a diodi luminosi. Prendiamo, ad esempio, dieci faretto composti da 5 LED da 1 watt, funzionanti a 12 V, aventi un'efficienza luminosa di 50 lumen/watt: sviluppano un flusso luminoso di 2.500 lumen con appena 50 W di consumo; un faretto a incandescenza da 220 Vca che debba emettere lo stesso flusso, consuma in media 5 volte di più, quindi 250 watt. Nel primo caso, la corrente assorbita è dell'ordine dei 4,17 A, mentre nel secondo si parla di 1,14 A; chiaramente il cavo occorrente a collegare il faretto a LED deve avere una sezione maggiore, ma la differenza di prezzo viene compensata nel tempo dal minor consumo.

operazionali utilizzati tre da amplificatori lineari ed uno da comparatore di tensione. I quattro operazionali sono contenuti in un circuito integrato di tipo LM324, che qui vedete alimentato a tensione singola, ragion per cui gli amplificatori che funzionano in modo lineare vengono (per poter amplificare segnali sia positivi che negativi presentando la massima escursione in entrambi i casi) polarizzati sull'ingresso non-invertente mediante un partitore resistivo che fornisce loro un potenziale di riferimento; tale accorgimento porta, a riposo, le uscite degli amplificatori operazionali a circa metà del potenziale di alimentazione, cosicché in presenza di segnale la tensione possa fluttuare sia verso il massimo valore positivo (segnale positivo o crescente) sia verso il minimo negativo (segnali negativi o decrescenti) che corrisponde a poco più del potenziale di massa. Il segnale audio giunge al circuito dalla capsula microfonica electret-condenser siglata MIC, polarizzata mediante la resistenza R1 e accoppiata al primo stadio amplificatore (formato

da IC1b) mediante il condensatore C2, scopo del quale è lasciar transitare l'audio corrispondente al suono rilevato dal microfono, bloccando la componente continua; ciò impedisce che la rete di polarizzazione dell'operazionale condizioni la polarizzazione della capsula e serve altresì a garantire che in continua l'operazionale amplifichi di una volta (abbia, insomma, guadagno unitario) e quindi riporti alla propria uscita la tensione di polarizzazione fornita dal partitore R4/R9/R5 al piedino 5 (ingresso non-invertente). Notate che tale partitore fornisce una tensione circa uguale a metà di quella di alimentazione e che è strutturato in modo un po' atipico al fine di separare la polarizzazione di IC1b e IC1d da quella del comparatore IC1c: in pratica nel nodo tra R4 ed R9 si preleva una tensione appena superiore a metà di quella di alimentazione, filtrata da C4 prima di giungere al pin 9 dell'LM324; da tale nodo, R9 porta ai pin 5 e 12 dell'IC1 una componente continua di valore pari a poco meno di metà di quella di alimentazione. La resistenza R9 fa quindi da

[schema ELETTRICO]

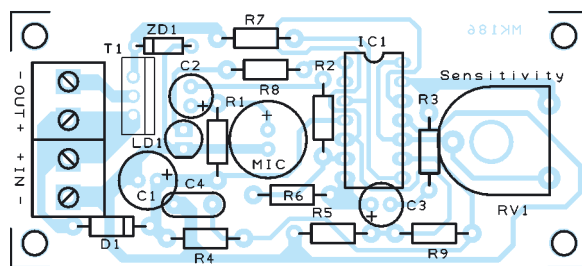


Elenco Componenti:

R1: 10 kohm
 R2: 10 kohm
 R3: 10 kohm
 R4: 10 kohm
 R5: 10 kohm
 R6: 100 kohm
 R7: 1 kohm
 R8: 10 kohm
 R9: 560 ohm
 RV1: Trimmer 10 kohm MO
 C1: 100 μ F 16 VL elettrolitico
 C2: 1 μ F 63 VL elettrolitico
 C3: 1 μ F 63 VL elettrolitico
 C4: 100 nF ceramico
 LD1: LED 3 mm blu
 D1: 1N4007
 ZD1: Zener 15 V 400 mW
 T1: P75NF75
 U1: LM324
 MIC: Capsula microfonica electret

Varie:

- Morsettiera 2 poli passo 5,08 mm (2 pz.)
- Capsula microfonica
- Zoccolo 7+7



- Manopola per trimmer
- Distanziali 15 mm (4 pz.)
- Vite 25 mm 3 MA (4 pz.)
- Dado 3 MA (4 pz.)
- Pannello frontale
- Circuito stampato

disaccoppiamento e insieme alla capacità C4 separa in qualche modo i circuiti di IC1b e IC1d da quello del comparatore IC1c. Torniamo adesso al percorso del segnale e vediamo che IC1b lo amplifica di una quantità fissa, pari al rapporto R6/R2, ossia di 10 volte; l'operazionale funziona in configurazione invertente, quindi il segnale che restituisce tra il piedino 7 e massa è sì amplificato, ma anche rovesciato di fase rispetto a quello generato dal microfono. L'audio amplificato una prima volta viene applicato, tramite il condensatore di disaccoppiamento C3 (che separa in continua i circuiti di polarizzazione dei due operazionali, garantendo ancora una volta sia il mantenimento del guadagno unitario in c.c., sia metà della tensione di alimentazione a riposo sull'uscita) all'ingresso del secondo stadio amplificatore, fa-

cente capo a IC1d. Quest'ultimo è configurato anch'esso in modo invertente, ragion per cui si comporta come IC1b, con la sola differenza che il suo guadagno in tensione è regolabile grazie al trimmer RV1, connesso come reostato; ciò consente di variare il guadagno da nulla a 10 volte. Dato che questo stadio funziona in modo invertente, ribalta la fase del segnale che riceve in ingresso riportandola com'era all'uscita della capsula microfonica, ovvero in fase con quest'ultima. A questo punto, la componente audio amplificata viene applicata all'ingresso non-invertente dell'operazionale IC1, usato come comparatore di tensione non-invertente e che nello specifico serve per ricavare impulsi con cui far lampeggiare le lampade a LED: ogniquale volta la componente BF supera in ampiezza il potenziale che il partitore

R4/R9/R5 applica al piedino 9, l'uscita (piedino 8) dell'operazionale commuta da circa zero volt a poco meno della tensione d'alimentazione, inviando un impulso di comando al gate del MOSFET T1, un IRF540 (a canale N, capace di commutare 40 A di corrente di drain e sopportare, in stato di off, una tensione drain-source di 100 V) che usiamo per alimentare le lampade a LED. In pratica il MOSFET funziona da interruttore statico comandato in tensione e normalmente è a riposo, perciò interdetto (equivalente ad un interruttore aperto); quando il gate riceve un impulso di ampiezza superiore a 4 V (nel nostro caso gli impulsi forniti da IC1c sono ampi circa 11 V, se il circuito viene alimentato a 12 V) il MOS va in conduzione e praticamente cortocircuita verso massa il capo inferiore dell'uscita OUT, cosicché ipotizzando di



Semafori versatili

Stanno per arrivare sulle nostre strade nuovi pannelli segnalatori multifunzione realizzati grazie ai LED: un esempio è Control, una lanterna semaforica dotata di pannelli solari autoorientanti, che oltre a regolare il traffico dei veicoli avverte dell'attraversamento di pedoni, fornisce indicazioni sulle condizioni del traffico, segnala i limiti di velocità imposti o emergenze immediate. Non meno interessante è Sand Glass, un altro modello

di semaforo intelligente che visualizza, anziché le classiche luci, una clessidra (verde, gialla o rossa) che segnala la durata rimanente del segnale semaforico, consentendo agli automobilisti di sapere se è il caso di spegnere il motore. Negli ultimi istanti di permanenza di ogni colore, inoltre, appare un conto alla rovescia in secondi. L'uso di LED ad alta efficienza rende le segnalazioni visibili a grande distanza, anche in caso di nebbia o sole basso.

aver collegato le lampade tra questi contatti, le stesse ricevono alimentazione e lampeggiano. Gli stessi impulsi erogati dal comparatore IC1c raggiungono il piedino 3 (ingresso non-invertente) del quarto operazionale, siglato IC1a, usato come buffer (o inseguitore di tensione ...come preferite...) che li ripete e con essi pilota il LED LD1, impiegato come spia o monitor locale di attività dell'uscita; in pratica IC1a fornisce tra il proprio piedino 1 e massa impulsi a livello alto, che polarizzano direttamente la giunzione dell'LD1 e lo fanno illumi-

nare, consentendo di valutare, quando le lampade a LED sono molto distanti, la loro attività. L'intero circuito è alimentato tramite i morsetti + e - IN; la tensione applicata giunge direttamente al circuito delle lampade (il positivo va al capo superiore dell'uscita OUT e il negativo alla massa, ossia al source del MOSFET) mentre al quadruplo operazionale LM324 provvede il diodo D1, che lo protegge nel caso che nell'effettuare i collegamenti si inverta la loro polarità. Il condensatore C1 filtra l'alimentazione dell'IC1 da disturbi

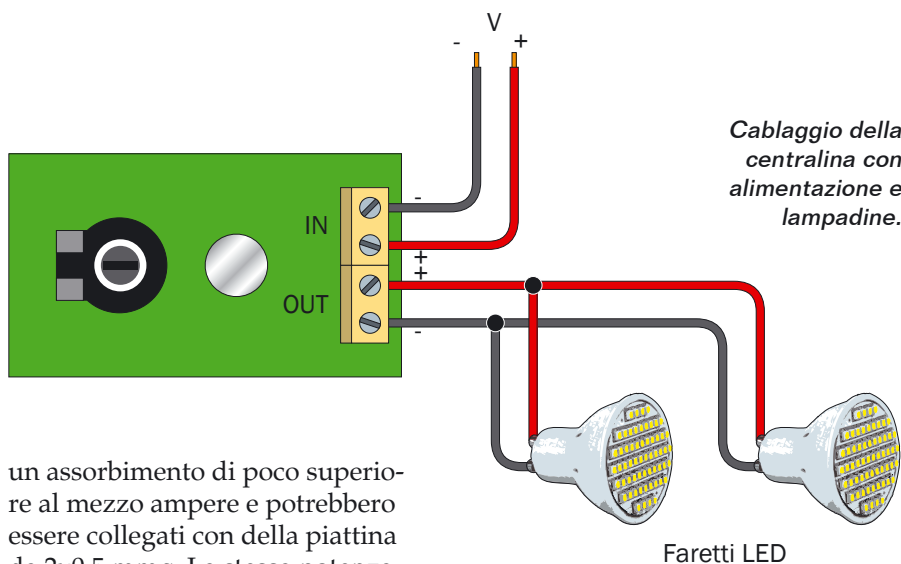
eventualmente presenti sulla linea o generati dall'alimentatore, nonché dai brevi cali di tensione che si verificano nel circuito quando il MOSFET alimenta le lampade, specie se queste ultime richiedono la massima corrente prevista. Notate che il circuito può essere alimentato a 12 o 24 volt (l'integrato LM324 sopporta fino a 30 V); il diodo Zener sul gate del MOSFET serve proprio in quest'ultimo caso, dato che il comparatore IC1c arriverebbe a fornire impulsi di ampiezza pari a circa 22 V. Allora interviene lo Zener, che limita a 15 V l'ampiezza degli impulsi, aiutato dalla resistenza-zavorra R7, la quale si fa carico della differenza di potenziale che ne deriva.

REALIZZAZIONE PRATICA

Costruire il circuito è abbastanza semplice, giacché servono pochi componenti, tutti facilmente reperibili e per nulla critici; anche lo stampato che occorre preparare è semplice e a singola ramatura e chi volesse costruirlo potrà prendere spunto dalla traccia lato rame scaricabile dal nostro sito www.elettronica.in.it. Una volta scaricato il file della traccia, che è sotto forma di immagine TIFF, stampatelo con una stampante laser su carta da lucido o acetato ed avrete ottenuto la pellicola per la fotoincisione; se utilizzate una pellicola tipo *press 'n peel* (quella che si applica allo stampato con il ferro da stiro e vi risparmia di deporre il fotoresist o comperare la basetta presensibilizzata) ricordate di stampare la traccia al contrario e poi procedere all'incisione nella soluzione acida. Se usate la tradizionale pellicola, esponete la basetta nel bromografo, poi sviluppatela e procedete con l'incisione. Inciso e forato lo stampato, disponetevi i componenti a partire dalle resistenze e

dai diodi al silicio (fate attenzione alla polarità, rammentando che la fascetta indica il catodo), proseguendo con lo zoccolo per l'integrato, che avrete cura di orientare come mostra il disegno di montaggio pubblicato in queste pagine, così che la sua tacca sia d'indicazione per inserire l'LM324 a montaggio ultimato. Proseguite con i condensatori (attenzione alla polarità indicata per l'elettrolitico) e poi passate al trimmer ed al MOSFET, che va tenuto in verticale e con la parte metallica rivolta all'interno del circuito; completate il montaggio inserendo la capsula microfonica (ricordate che il negativo di quest'ultima è l'elettrodo elettricamente collegato al contenitore) il diodo luminoso LD1 (il catodo è il terminale dal lato smussato del corpo) e la doppia morsettiera bipolare che consente di applicare l'alimentazione e connettere le lampade a LED.

A proposito di lampadine, va subito fatta una precisazione: i faretti a LED a bassa tensione sono un'ottima alternativa alle lampade a incandescenza, in virtù della loro robustezza e durata, dell'alta resa e della comodità di lavorare a tensioni non pericolose in caso di contatto accidentale con il corpo umano, tuttavia bisogna ricordare che a parità di potenza richiesta e di distanza cui si trovano dalla centralina che le alimenta, la corrente è più elevata e quindi crescono le perdite nei cavi, dato che la potenza elettrica si ricava dal prodotto della tensione per la corrente. Ad esempio, se disponiamo di una centralina per psichedeliche tradizionali funzionanti a 220 Vca e vogliamo impiegare faretti per un totale di 120 W a incandescenza, possiamo usare tre lampade da 220 V/40 W in parallelo, che comporterebbero



un assorbimento di poco superiore al mezzo ampere e potrebbero essere collegati con della piattina da 2x0,5 mmq. La stessa potenza a 12 V comporterebbe il transito nei fili di 10 A e quindi richiederebbe cavi da almeno 3,5 mmq, dato che a bassa tensione una perdita anche solo di 1 volt pesa più che a 220 V. Usando lampade a 24 V, i 120 W comportano un assorbimento di 5 A, quindi cavi di collegamento da almeno 1,75 mmq di sezione.

Dunque, in linea di massima a 12 V, considerato che la centralina può pilotare lampadine per un totale di 60 W (ossia 5 A di corrente) per collegamenti non più lunghi di 30 metri vanno bene cavi da 2,5 mmq. Alimentando il circuito a 24 V, potete contare su un massimo di 120 W e usando lampadine di pari tensione, per collegamenti fino a 30 m usate pure lo stesso cavo da 2,5 mmq. Potete anche utilizzare cavi da 1,5 mmq, ma avrete una piccola perdita di potenza, per stimare la quale ricordate che il cavo di rame ha una tipica resistività di 16 mohm/mm² di sezione ogni metro di lunghezza, ragion per cui un cavo da 1,5 mmq di sezione lungo 20 m, presenta una resistenza di 0,213 ohm; a 5 A, ciò determina una caduta di tensione di poco superiore al volt e una perdita di potenza dell'ordine dei 5 watt. Se consideriamo che i cavi sono uno che porta la corrente all'utilizzatore ed uno che torna

al generatore, questi valori vanno moltiplicati per due, dato che i due fili che alimentano il carico sono in serie tra loro: avremo così una caduta di tensione di 2 volt e una perdita di 10 watt. Quindi se la centralina fornisce 24 V, alle lampade giungono 22 V, mentre se lavoriamo a 12 V le lampadine ricevono 10 V.

Per l'uso, ricordate che la centralina capta il segnale dall'ambiente, quindi fate sporgere la capsula electret dal contenitore.



per il MATERIALE

Tutti i componenti utilizzati in questo progetto sono di facile reperibilità. Il circuito è anche disponibile in kit (prodotto dalla soc. Velleman e distribuito da Futura Elettronica) al prezzo di Euro 16,50, IVA compresa (cod. MK186). La scatola di montaggio comprende tutti i componenti, le minuterie, la basetta forata e serigrafata ed il frontalino, anch'esso forato e serigrafato.

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



NUCLEARE: QUALE FUTURO?

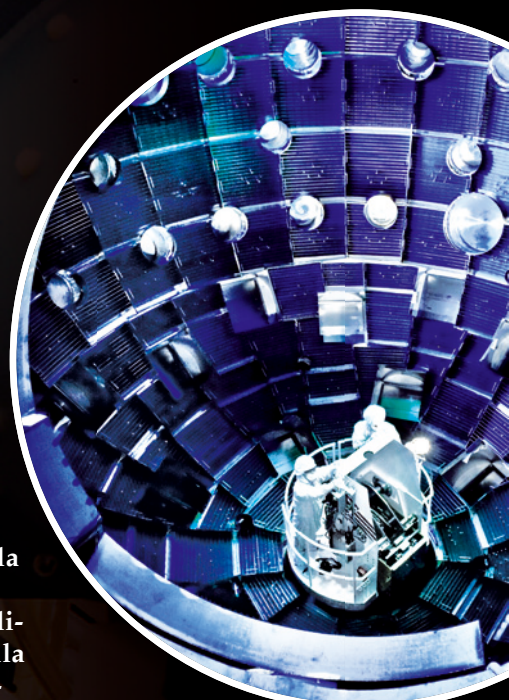
di DAVIDE SCULLINO

Stretta fra timori per il presente e speranze per il domani, la tecnologia dell'atomo è in un momento epocale; nel mondo si moltiplicano i progetti di ricerca sulla fusione, unica soluzione per dare un senso al nucleare, ma i dubbi sono ancora molti.





Non possiamo restare indifferenti di fronte al fiume di notizie sugli avvenimenti del Giappone, funestato da un gravissimo terremoto che -oltre a mietere vittime per il conseguente "tsunami" (gli effetti sulla terraferma sono stati minimizzati dall'abilità dei giapponesi nella tecnologia antisismica)- ha danneggiato un'importante centrale nucleare causando fughe radioattive. Sull'onda emotiva, dovremmo dire: "mai più nucleare". Ma resta il problema di produrre l'elettricità che occorre ai Paesi industrializzati senza dipendere da quelli esportatori di petrolio. Certo è che l'incidente di Fukushima assesta un duro colpo al futuro dell'energia nucleare, pure adottata da numerosi Paesi e da qualcuno auspicata anche in Italia, dove i progetti slitteranno proprio per gli avvenimenti dell'Oriente e per la conseguente paura della "nube radioattiva". L'incidente della centrale nucleare è stato originato dal danno che i gruppi elettrogeni di emergenza



utilizzati per produrre l'elettricità necessaria al funzionamento delle pompe di raffreddamento dei reattori hanno subito a seguito dello Tsunami; il mancato raffreddamento ha causato un innalzamento della temperatura e l'evaporazione dell'acqua, quindi una serie di esplosioni dovute all'eccessiva pressione all'interno degli edifici dei reattori, con conseguente rilascio di materiale radioattivo nell'atmosfera. L'eventuale fusione delle barre di combustibile (pur protette da diversi strati di acciaio e di cemento) porterebbe alla contaminazione ed il reattore dovrebbe venire sepolto sotto un "sarcofago" di cemento armato, come successo a Chernobyl nel 1986.

Il progetto NIF

Costato finora oltre 4 miliardi di dollari, è quello su cui i ricercatori americani puntano per dare un reale futuro all'energia nucleare ottenuta dalla fusione. L'impianto è composto da una camera target (una sfera di alluminio del diametro di ben 10 metri) dove vengono fatti confluire i raggi di luce concentrata prodotti da ben 192 la-

ser, collocati in un'unità (detta "laser bay") che è una costruzione grande come tre campi da calcio. Durante i primi esperimenti, gli studiosi hanno bombardato, concentrando su di essa i raggi dei 192 laser (che insieme sviluppano ben 1 MJ di energia), una pallina di plastica (grande appena come un granello di pepe) riem-

pita di idrogeno pesante posta all'interno della camera target e sorretta da un piccolo sostegno contenente l'unità di focalizzazione dei raggi; quest'ultimo -chiamato Hohlraum- è un contenitore in oro (grande come una gomma da matita, illustrato in fotografia qui accanto...) capace di posizionare la pallina di idrogeno pesante con estrema precisione e mantenerla alla temperatura di 18 °K (-255,15 °C) giacché è stato dimostrato che in condizioni criogeniche è più facile innescare la reazione di fusione col laser. Gli atomi di deuterio e tritio, i due isotopi pesanti dell'idrogeno, si sono fusi diventando un'unica materia, ossia il plasma che sviluppa il calore utile a ricavare energia. La plastica è ovviamente evaporata, vista la temperatura raggiunta... Per ora gli esperimenti hanno dimostrato che l'energia consumata dai laser è di gran lunga maggiore di quella generata dalla reazione, ma i ricercatori che lavorano al National

Ignition Facility contano di arrivare alla reazione automantenuta (dove l'energia prodotta è sufficiente ad alimentare il sistema d'innescò e quindi i laser) nel giro di un paio d'anni.

Il NIF ha quindi iniziato a dare i primi risultati e in esso, oltre alla fusione nucleare in campo energetico, si studieranno i segreti delle stelle: infatti quello che i ricercatori stanno tentando di fare è riprodurre il fenomeno della fusione dell'idrogeno che avviene sul sole e su tutte le altre stelle dell'universo. Forse in un futuro non troppo lontano ogni città potrà dotarsi di un suo piccolo sole che le consentirà di essere energeticamente autosufficiente e rompere finalmente la dipendenza dai combustibili fossili.

Oltre a questo, a partire dalla fusione i ricercatori vorrebbero sviluppare una fonte di energia nucleare sicura in grado di rilasciare 30÷40 volte l'energia necessaria a farla funzionare. L'unico prodotto di scarto dovrebbe essere l'elio, un gas inerte di cui l'universo è pieno.



A parte queste note di cronaca, è giusto guardare all'energia atomica scerviti da pregiudizi e ideologie, per comprendere se sia davvero irrinunciabile e capire quali sforzi vengano compiuti dalla comunità scientifica nell'intento di sfruttare l'energia dell'atomo senza i rischi che le attuali tecnologie comportano.

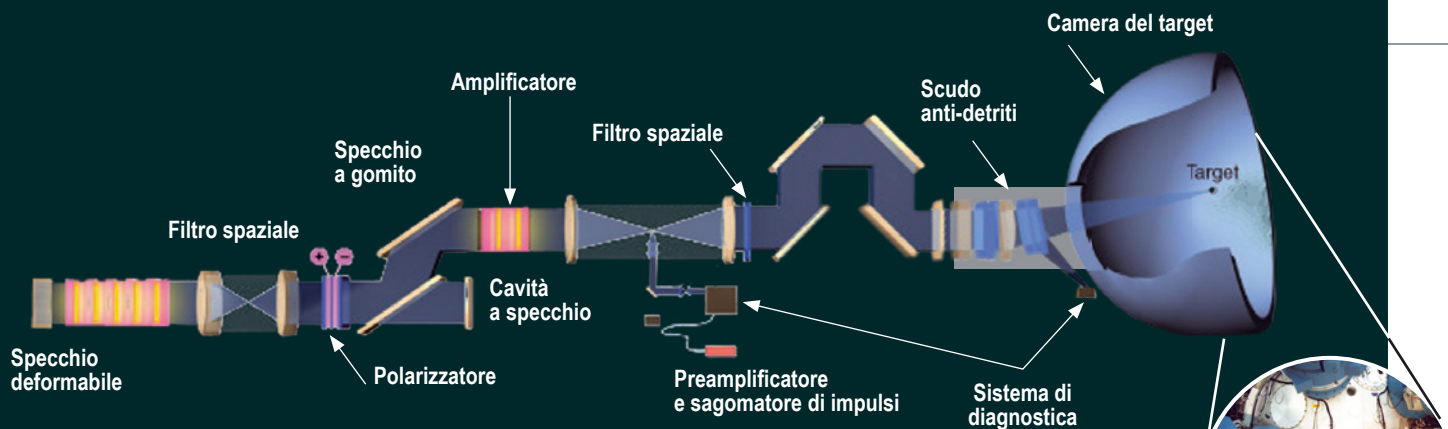
COS'È IL NUCLEARE?

La capacità di sfruttare l'energia insita nell'atomo risale agli studi compiuti da Enrico Fermi ed Ettore Majorana (apparte-

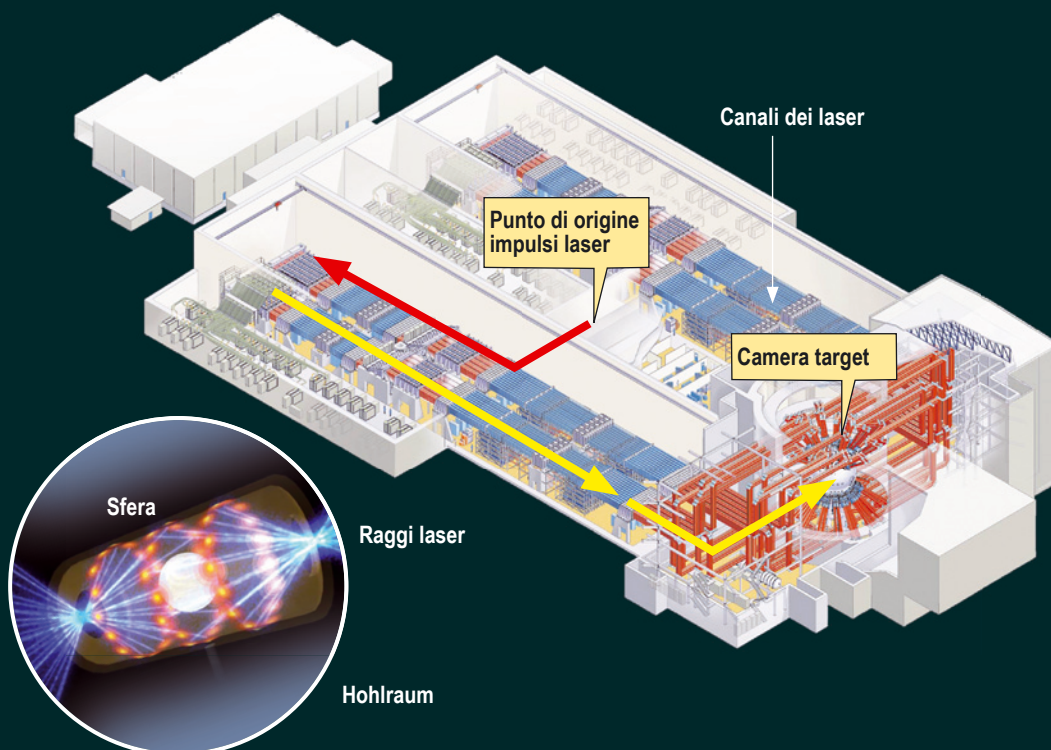
nenti a quel gruppo di ricercatori battezzato "i ragazzi di via Panisperna") fra il primo e il secondo conflitto mondiale e la sua applicazione è stata, sfortunatamente, manifestata in campo bellico dall'esplosione della prima bomba atomica, in cui la liberazione di tale energia si è manifestata nel modo più tragico e devastante.

Attualmente l'energia atomica si usa per ricavare calore, grazie al quale, mediante turbine a vapore, si ottiene elettricità; il metodo adottato si chiama

fissione nucleare e consiste nello scindere l'atomo di materiali già di loro instabili (radioattivi) come l'uranio 235 o 238 e il plutonio 239, che quindi si possono "spaccare" con relativa semplicità. Tale metodica si chiama "fissione nucleare" e sfrutta l'energia che si ricava scindendo l'atomo; tale energia è poi quella potenziale che normalmente, ossia quando il materiale fissile è in condizioni naturali, tiene insieme protoni ed elettroni dell'atomo ed è, a parità di massa e confrontata con quella ricavabile dalla combustione,



Sezione ottica di ogni singolo impianto laser che raggiunge la camera del target (visibile a destra, dall'esterno).



La sfera (target) contenente idrogeno pesante è collocata in un contenitore (Hohlraum) sospeso al centro della camera target, dove arrivano i 192 raggi laser prodotti da una zona dell'impianto, amplificati e diretti mediante apposite canalizzazioni. La luce fa emettere al contenitore raggi X che bombardano la sfera, facendo comprimere di 100 volte il gas che la ospita e riscaldandola a 100 milioni di gradi. Così si innesca la fusione.

enorme. Per spezzare un atomo occorre fornirgli una gran quantità di energia, ovvero investirlo con delle particelle elementari accelerate e dotate perciò di una grande energia cinetica; ogni particella che investe l'atomo passa la nuvola di elettroni e colpisce il nucleo, cui cede energia spaccandolo, ovvero vincendo l'energia dei neutroni che "incollano" tra loro i protoni. A questo punto l'atomo espelle a sua volta protoni, che si disperdono qua e là, investendo gli atomi vicini e innescando la *reazione a catena* che

sta alla base del funzionamento dei reattori nucleari. Per impedire la propagazione della reazione nucleare al resto del mondo, il reattore è rivestito da materiale in grado di fermare le particelle accelerate emesse dalla fissione degli atomi; nel primo esperimento si trattò di "acqua pesante". La fissione sviluppa una gran quantità di energia, sotto forma di calore ed espulsione di particelle energizzate. Gli atomi sottoposti alla fissione si trasformano in altri atomi, aventi però

un diverso numero atomico e numero di massa, quindi impoveriti; non a caso l'uranio "impoverito" si chiama così perché derivato dal processo di fissione e quindi composto da atomi che contano meno protoni di quelli dell'uranio naturale (U235, composto da altrettanti elettroni e protoni). Questo materiale, scarto dei reattori a fissione nucleare, è purtroppo ricercato dai fabbricanti d'armi, che lo usano per rivestire i proiettili dei cannoni; l'effetto è sviluppare, all'impatto, una temperatura tanto elevata da

Storia della fusione

1950

Lo scienziato sovietico (poi "dissidente" perché temeva lo sviluppo della fusione a fini bellici) Andrei Sakharov, progetta una "botte" magnetica chiamata Tokamak, che può contenere il plasma.

1951

Il ricercatore Lyman Spitzer dell'Università di Princeton, inventa lo Stellerator, un sistema magnetico per la fusione alternativo al Tokamak.

1952

Gli Stati Uniti fanno esplodere la prima bomba a fusione (bomba all'idrogeno).

1969

Gli scienziati occidentali si recano a Mosca per conoscere l'opera di Sakharov e si rendono conto che il Tokamak è capace di sviluppare un plasma più caldo e a maggior densità energetica di quello ottenibile dal loro Stellerator. Il Tokamak diventa il progetto su cui puntare.

1977

Primo esperimento di fusione a laser con l'impianto Laser Shiva.

2007

Inizia la costruzione dell'ITER, che è previsto entri in funzione nel 2019.

2010

Viene effettuato il primo esperimento di fusione a laser con il NIF.

fondere le corazze dei carri armati, ma il problema è che l'uso di tali armi si ripercuote sulla salute dei soldati che si trovano ad operare nel campo di battaglia, che anche dopo diverso tempo risulta esposto alle radiazioni.

La somma delle masse dei due frammenti e dei neutroni emessi è leggermente minore di quelle del nucleo originario e del neutrone che lo ha scisso: la massa mancante si è trasformata in energia. La fissione pone almeno tre problemi: il primo è rappresentato dalle scorie che lascia e che sono fortemente radioattive; il secondo è la resa relativamente bassa. Il terzo è la sicurezza del procedimento. Le scorie sono in pratica l'uranio impoverito, che è molto radioattivo e va quindi confinato, non potendo distruggerlo, in fusti da collocare in bunker sotterranei rivestiti di piombo, che trattengano le radiazioni; certo, bisogna poi vedere se la tenuta di questi contenitori è efficace per tutta la durata del decadimento radioattivo delle scorie (parecchie decine d'anni). Qualcuno ha ipotizzato il trasporto sulla luna, come già quarant'anni fa teorizzava la fortunata serie televisiva *Spazio 1999*, ma anche la cinematografia non era ottimista: una vio-

Una piccola sfera contenente idrogeno pesante: è questo il segreto del progetto NIF, dove per fonderla vengono impiegati 192 laser.



lenta esplosione delle stesse scorie causava l'allontanamento del nostro satellite naturale dalla Terra... Quanto all'efficienza, va detto che nella fissione la percentuale di massa trasformata in energia si aggira attorno allo 0,1 %, cioè per ogni kg di materiale fissile, 1 g viene trasformato in energia. Proprio il fatto che gli atomi non vengono completamente dissolti, rende la fissione un procedimento incompleto ed energeticamente meno valido della più efficace "fusione nucleare". Sotto questo aspetto, il nucleare non conviene affatto, perché a tutto ciò bisogna aggiungere il costo di realizzazione delle centrali, i danni quando qualcosa "va storto" e i tempi di costruzione degli impianti, decisamente lunghi. Nel novero bisogna mettere anche il confinamento delle scorie, che pone parecchi problemi, primi fra tutti la ricerca di siti sotterranei al riparo dagli smottamenti del terreno e l'individuazione dei materiali più idonei a garantire la protezione dalla fuoriuscita delle radiazioni per un tempo pari a

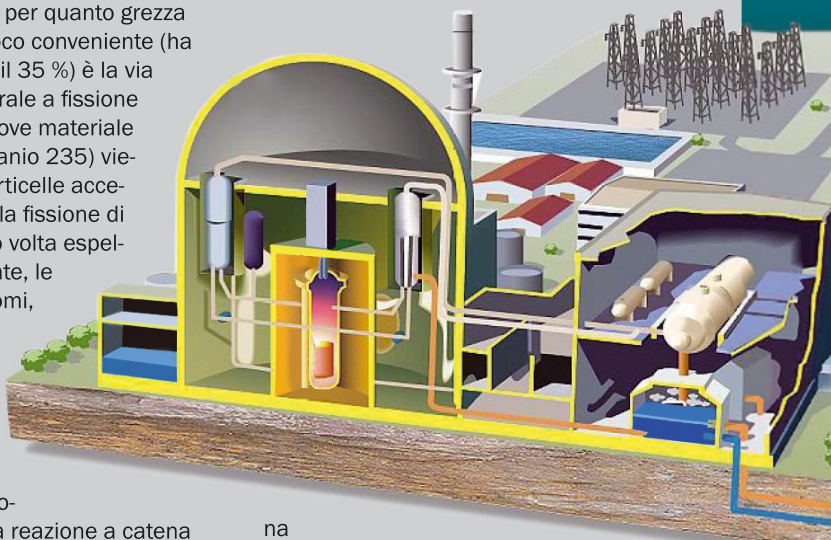
quello di esaurimento della carica radioattiva. Sul piano della sicurezza, la fissione, una volta innescata, si ferma molto lentamente, tanto più in caso di incidente, laddove è difficile e impegnativo abbassare la temperatura e farlo può richiedere l'afflusso di grandi quantità d'acqua (prelevata da fiumi, laghi o mari) che poi uscirebbe contaminata, oltre che allontanare le barre di materiale fissile. I reattori a fissione sviluppano temperature molto elevate e quindi una volta avviati devono funzionare a regime, altrimenti raffreddandosi richiedono la sostituzione del materiale refrattario e di quelle parti che con la dilatazione e contrazione termica si danneggiano; il raffreddamento richiede acqua ed ecco spiegato perché le centrali si costruiscono accanto a bacini e fiumi, ovvero sul mare. Le centrali a fissione nucleare di prima generazione (quella giapponese è un esempio) constano di un reattore dove avviene la fissione e di una caldaia formata da tubi in cui si trova acqua, che fortemente riscal-

data diviene vapore ad alta pressione e alla temperatura di alcune centinaia di gradi centigradi, che aziona una o più turbine collegate a generatori elettrici (sistema BWR, ossia Boiling Water Reactor); il vapore uscente dalle turbine viene condensato e torna ad essere acqua, che viene nuovamente immessa nella caldaia.

Le centrali a fissione di seconda e terza generazione hanno una serie di migliorie nei sistemi di sicurezza sia attivi che passivi, come ad esempio la schermatura e la protezione delle parti interne dei reattori; inoltre adottano scambiatori di calore liquido/liquido per evitare che perdite d'acqua possano causare fughe radioattive: in pratica l'acqua scaldata dal reattore corre in una serpentina all'interno di un serbatoio contenente altra acqua, alla quale cede il proprio calore facendola così evaporare. Il vapore ottenuto aziona la solita turbina e quindi viene condensato e rientra in circolo (sistemi PWR - Pressurized Water Reactor - ed EPR). Dei 436 impianti a fissione nucleare al mondo, 264 sono di tipo PWR e 92 BWR; gli altri adottano tecniche differenti.

LA FUSIONE NUCLEARE
Il procedimento di

Attualmente l'energia nucleare si ricava dalla fissione, la quale, per quanto grezza ed energeticamente poco conveniente (ha un rendimento di circa il 35 %) è la via più praticabile. La centrale a fissione consta di un reattore dove materiale fissile (tipicamente l'uranio 235) viene bombardato con particelle accelerate fino a provocare la fissione di alcuni atomi, che a loro volta espellono particelle accelerate, le quali investono altri atomi, scindendoli; quando la quantità di particelle irradiate è sufficiente a mantenere la reazione, il bombardamento smette e la fissione procede autonomamente a causa della reazione a catena causata dalla continua fissione di atomi di uranio. Per controllare ed eventualmente arrestare la reazione, si introducono nel reattore delle barre di controllo. La fissione sviluppa calore, che fa evaporare acqua contenuta in collettori immersi nella camera di reazione; il vapore ottenuto soffia su turbine solidali con generatori elettrici che ricavano corrente. Il vapore viene poi condensato (mediante sistemi di raffreddamento che sfruttano l'acqua presa da bacini naturali o artificiali) in uno scambiatore di calore, ricavando acqua reintrodotta nel collettore per essere di nuovo convertita in vapore. Questa è la tecnica adottata nelle centrali di prima generazione; in quelle di seconda, l'acqua riscaldata dal reattore cede il proprio calore all'acqua di un circuito secondario, mediante uno scambiatore; l'acqua secondaria evapora e soffia sulle turbine, quindi il vapore viene condensato e rientra nel circuito. In tal modo, una perdita nel circuito del reattore non contami-



na l'acqua dell'impianto di raffreddamento. Malgrado i progressi, la fissione non è conveniente: il costo di realizzazione dell'impianto si stima fra 3.000 e 6.000 euro/kW. Il costo del kWh da nucleare varia fra 5 e 12 centesimi di euro, ben altro che i 3 centesimi dichiarati dai sostenitori del nucleare, che non tengono conto né dell'ammortamento degli impianti, né dell'aumento del prezzo dell'uranio. Il tempo di costruzione varia fra 5 e 6 anni. Nel costo vanno compresi lo smantellamento e la messa in sicurezza del sito dell'impianto a fine vita (dopo circa 40 anni) e la gestione delle scorie (ad esempio, i tedeschi spendono 100 milioni di euro e gli inglesi 90). La soluzione dei problemi della fissione passa dagli ADS: si tratta di reattori abbinati ad acceleratori di particelle, che per il momento trasformano le scorie, riducendone il tempo di decadimento, ma che servono anche a produrre materiale fissile non naturale.

fusione è quello su cui si concentra la ricerca, perché non produce scorie radioattive (la fusione scinde interamente l'atomo e rilascia tutta l'energia che esso possiede), sviluppa una maggiore quantità d'energia della fissione e, se controllata adeguatamente, presenta meno pericoli. Ma

allora -vien da chiedersi- perché le centrali nucleari lavorano a fissione? La risposta è che controllare la fissione è più semplice, almeno fin quando tutto va bene, ovvero finché si riesce a raffreddare il reattore; infatti la fusione sviluppa temperature di milioni di gradi centigradi

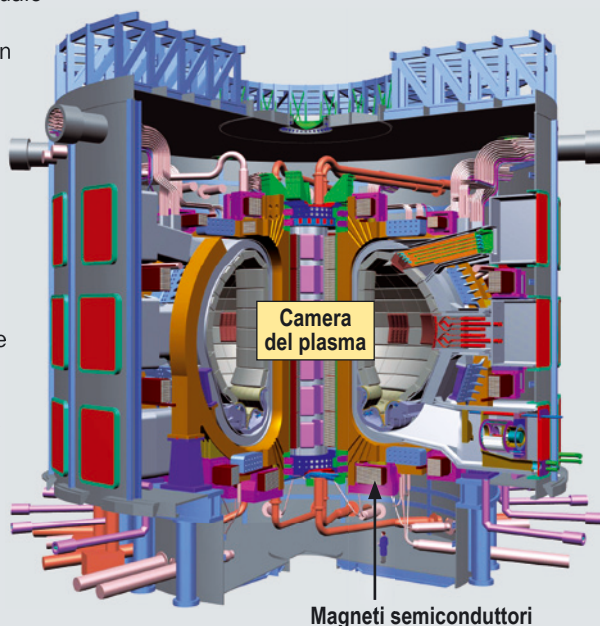
dovute al plasma che si forma e che va tenuto in sospensione altrimenti scioglie ciò che lo circonda. Un esempio di fusione è ciò che accade sulla superficie del nostro Sole, dove avviene la fusione di quattro nuclei di idrogeno (protoni) in un nucleo di elio. Altro problema della

L'ITER ...della fusione

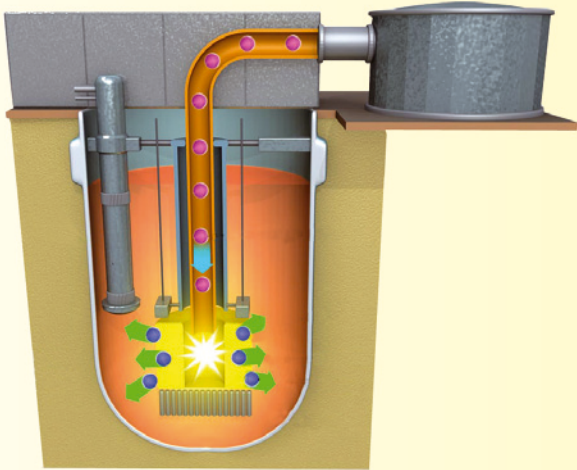
Il progetto internazionale ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) punta alla costruzione di un impianto a fusione di dimensioni paragonabili con quelle di una centrale elettrica convenzionale e nasce da un'intesa tra Unione Europea, Giappone, Federazione Russa, Stati Uniti, Cina, Corea del Sud e India, che hanno siglato ufficialmente l'accordo per la realizzazione di ITER il 28 giugno 2005 a Mosca. La costruzione è cominciata nel 2007 nel sito europeo di Cadarache nel sud della Francia. ITER avrà dimensioni lineari doppie rispetto al suo predecessore JET e produrrà 500÷700 MW di potenza dalla fusione, in intervalli di esercizio di circa 15÷30 minuti, utilizzando e provando in maniera integrata tutti i componenti chiave per il funzionamento del reattore a fusione. Il nostro ENEA partecipa alla realizzazione attraverso l'Agenzia Europea Fusion For Energy (F4E), fornendo sostanziali contributi nei campi della superconduttività, dei componenti interfacciati al plasma, della neutronica, della sicurezza, del remote handling e della fisica del plasma. Il sistema ITER è basato su un reattore a deuterio-tritio in cui la fusione viene innescata con potentissime microonde ed il confinamento del plasma è ottenuto mediante un intenso campo magnetico; funziona, quindi, con un Tokamak realizzato da Sackharov, dal quale è derivato. Il Tokamak impiegato è posto in un edificio alto 24 e largo 30 m, consente un raggio esterno del plasma di 6,2 m ed uno interno di 2 m, con una temperatura di 150 milioni di °K. Il plasma verrà contenuto da un campo magnetico toroidale dell'ordine di 5,3 T; la durata dell'impulso di fusione sarà maggiore di 300 s. Il rendimento atteso è maggiore di 10, quindi per arrivare a 500 MW servirà una potenza di

eccitazione di 50 MW per innescare e sostenere il processo di fusione. In una fase iniziale, l'energia in eccesso prodotta dal plasma sarà asportata con un mantello protettivo (shielding blanket) refrigerato ad acqua; in una fase successiva (dal 2025) è previsto l'inserimento di un mantello necessario a produrre il trizio, indispensabile al mantenimento della reazione di fusione (circa 240 g/giorno), che inizialmente dovrà essere approvvigionato da fonti esterne, probabilmente dai reattori CANDU, considerando che le altre possibili fonti sono sotto controllo militare.

Il progetto nasce con l'intento di valutare la fattibilità di sfruttare plasmi aventi caratteristiche vicine a quelle di un plasma da fusione ed in particolare di dimostrare che le particelle alfa, prodotte dalle reazioni di fusione, sono in grado di riscaldare efficientemente la parte centrale del plasma stesso; le particelle alfa in eccesso verranno rimosse dal centro del plasma mediante un sistema basato su una configurazione a X del campo magnetico, che permette di sfruttare un componente della macchina -chiamato divertore- come bersaglio per le particelle pesanti cariche. Il divertore è già stato utilizzato negli esperimenti condotti con il Tokamak.



fusione nucleare è che finora gli esperimenti fatti hanno evidenziato come l'energia richiesta per avviarla sia praticamente pari a quella sprigionata; ecco perché si punta su un sistema in grado di innescare la fusione e poi farla autosostenere, cercando nel contempo di contenerne la deriva al fine di evitare che acceleri all'infinito distruggendo tutto quanto. Diversamente dalla fissione, nella fusione nucleare si producono nuclei di elementi più pesanti a partire dalla fusione di nuclei di elementi più leggeri. Nei processi di fusione nucleare (anche detti *reazioni termonucleari*) la massa del nuovo nucleo formato non è pari alla somma di quella dei nuclei atomici che hanno partecipato alla fusione, ma leggermente inferiore. La parte persa è, in base alla Legge di Einstein ($E = m \times c^2$), trasformata in energia. Nella formula, m è la massa persa e c è la velocità della luce nel vuoto (300.000 km/s). L'elevatissima temperatura raggiungibile potrebbe facilmente fare perdere il controllo della reazione e causare danni enormi; per ovviare a questo inconveniente si lavora sulla cosiddetta "fusione a freddo", ossia una fusione controllata dove si può mantenere la temperatura relativamente bassa. Tra il 1970 e il 1990 sono stati realizzati impianti di test per lo studio della fusione, tra cui l'Alcator negli U.S.A. e i T-14 e T-15 nell'ex Unione Sovietica, ma anche gli FT ed FTU in Italia; non meno importante è stato il progetto JET, che nel 1983 ha visto nascere a Culham (nel sud dell'Inghilterra a circa 80 km da Londra) un impianto pilota (alla cui realizzazione ha partecipato anche il nostro Paese) capace di sviluppare 16 MW per due secondi basandosi sulla fusione di deuterio e trizio (o trizio, che



Un modo di ottenere energia nucleare a basso rischio è l'ADS (Accelerator Driven System), ossia un reattore innescato da un acceleratore di particelle. Il più interessante è il Rubbiatron, teorizzato dallo scienziato Carlo Rubbia, che si basa su un amplificatore d'energia a sincrotrone per produrre un fascio di protoni, che colpiscono un bersaglio di piombo liberando neutroni (processo di spallazione) che bombardano materiale radioattivo come il torio. Questo tipo di reattore viene detto sub-critico perché non si autosostiene, in quanto non c'è reazione a catena: l'energia termica prodotta dalla

reazione produce elettricità, una parte della quale alimenta il sincrotrone. Quindi è facile spegnere la macchina togliendo alimentazione a quest'ultimo. Nei sistemi ADS è possibile aumentare il flusso neutronico mediante un amplificatore di neutroni (un film sottile di materiale fissile che circonda la sorgente di spallazione). I nuclei di torio assorbono neutroni e si trasformano in uranio 233 e protoattinio; i neutroni producono la fissione dell'U-233, che rilascia energia. L'ADS è usato da tempo per produrre materiale fissile non esistente in natura ed ora potrebbe diventare fonte di energia nucleare sicura.

dir si voglia). Al giorno d'oggi, si punta essenzialmente su due metodiche per l'innescò della fusione nucleare: il laser e il campo elettromagnetico. Nell'ambito del progetto ITER, si sta lavorando alla fusione mediante bombardamento di una certa quantità di tritio da parte della radiazione elettromagnetica prodotta da un potente generatore di microonde: l'energia ceduta dalle onde radio innesca la fusione, che poi in parte si autoalimenta (causa la temperatura che sviluppa) e in buona parte viene sostenuta dalla continua somministrazione di microonde. Per contenere il plasma che si crea dalla fusione si sfrutta un potentissimo campo generato da elettromagneti basati su superconduttori.

Il progetto ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), che costerà circa 10 miliardi di euro e a cui partecipano UE, Cina, U.S.A., Russia, Giappone, Corea del sud e India (per l'Italia, se ne occupa l'ENEA), dovrebbe portare alla realizzazione della prima centrale operativa nel 2060 e, dai calcoli teorici, dovrebbe sviluppare, da un chilo di miscela deuterio-tritio, la stessa energia termica che attualmente si ricava dalla combustione

di 8.200 tonnellate di petrolio; scopo del progetto è realizzare un reattore a fusione nucleare in grado di produrre più energia di quanta ne consumi per l'innescò e il sostentamento della reazione. Nel reattore, dopo l'innescò e lo sviluppo della fusione, il plasma (materiale fuso) viene confinato mediante un intenso campo magnetico all'interno di una macchina denominata Tokamak, che ricorda un po' quella del Dr. Octavius nel film *Spiderman 2*. Ciò permetterà di spegnere la fusione in ogni momento, grazie anche al fatto che le quantità di reagente radioattivo introdotte sarà quella strettamente necessaria.

Il reattore ITER dovrà sviluppare una potenza costante di 500 MW e verrà costruito a Cadarache, nel sud della Francia; teoricamente sarà operativo per la fine del 2019. Il pregio di tale sistema è che potrà produrre sul posto il tritio necessario, ricavandolo da deuterio e litio, elementi peraltro abbondanti in natura.

Un altro progetto di fusione innescata da laser è quello realizzato grazie all'impianto Shiva: si tratta di un potentissimo sistema a 20 raggi laser (con lunghezza d'onda nell'infrarosso) ottenuti da laser a neodimio-vetro (silica

glass) e realizzato al Lawrence Livermore National Laboratory nel 1977, allo scopo di studiare il confinamento inerziale della fusione nucleare (ICF) e l'interazione tra laser e plasma. Il sistema venne chiamato Shiva prendendo spunto dalla divinità Indù Shiva, rappresentata con molte braccia, ad indicare la struttura composta da molti laser. Shiva ha mostrato i suoi limiti nella difficoltà di compressione del materiale da fondere (target) con i laser ed ha perciò ceduto il passo a sistemi più moderni come il Nova laser. L'altro progetto che attualmente -insieme all'ITER- tiene banco, è il NIF (National Ignition Facility, che tradotto vuol dire Struttura Nazionale di Accensione) e consta di un impianto di ricerca per la fusione inerziale con confinamento, basato su laser e costruito al Lawrence Livermore National Laboratory a Livermore in California (U.S.A.).

Il NIF sfrutta 192 laser per riscaldare e comprimere piccole quantità di idrogeno fino a che non si avvia una reazione di fusione nucleare; ogni gruppo laser è lungo 122 metri e contiene 96 linee ottiche corrispondenti ognuna a un raggio, che poi verrà focalizzato sul materiale da assoggettare

Conosciamo le radiazioni?

Quotidianamente, siamo esposti a vari tipi di radiazioni derivanti non solo dagli incidenti nucleari, ma anche dallo spazio e dagli elementi radioattivi naturali (ad esempio il radon, che è un gas che scaturisce dal terreno e da certi materiali da costruzione). Per radiazioni si intendono genericamente le onde elettromagnetiche o corpuscolari; ma ciò che ci interessa sono le radiazioni ionizzanti, cosiddette perché sufficientemente energizzate da causare, in caso di urto con la materia, la ionizzazione di parte degli atomi (ossia l'estrazione di elettroni e lo sbilanciamento della carica elettrica, normalmente neutra) che la formano. Le radiazioni ionizzanti sono dunque particelle o onde elettromagnetiche dotate di potere altamente penetrante nella materia. L'energia delle radiazioni ionizzanti è espressa in elettronvolt (eV); 1 eV è l'energia acquistata da un elettrone quando attraversa una differenza di potenziale di 1 V nel vuoto.

La ionizzazione può causare negli organismi viventi fenomeni chimici che si traducono in lesioni con conseguenti alterazioni funzionali e morfologiche, fino alla morte delle cellule o alla loro trasformazione in cellule tumorali. Si parla di danni somatici quando le radiazioni danneggiano le strutture cellulari ed extra-cellulari e di danni genetici quando provocano alterazioni nella costituzione dei geni. Le radiazioni ionizzanti sono prodotte da nuclidi radioattivi, raggi cosmici e da apparecchiature elettroniche (raggi X). I raggi cosmici sono sempre naturali, invece i nuclidi radioattivi possono essere naturali o artificiali. I

raggi X, usati nella radiografia, sono artificiali, ma possono trovarsi anche in natura. I nuclidi radioattivi derivano da elementi chimici i cui atomi contano nel nucleo un numero di neutroni in difetto o in eccesso rispetto alle condizioni di stabilità, perciò tendono a trasformarsi in nuclei di altri elementi (con numero atomico minore) o in isotopi dei nuclei di partenza (mantenendo lo stesso numero atomico). Da qui origina il decadimento radioattivo, che avviene emettendo particelle (raggi alfa e beta) e radiazioni elettromagnetiche (raggi gamma), tutti ad elevato potere penetrante e ionizzante. I raggi alfa, beta e gamma sono di natura diversa tra loro: per esempio, in un campo elettrico i raggi alfa e beta⁺ (anche detti positroni) vengono attratti dal potenziale negativo, i beta⁻ dal positivo e i gamma non vengono attratti. Le sostanze radioattive naturali sono una decina e sono costituite da nuclidi aventi numero atomico maggiore di 82 (piombo) e minore o uguale a 92 (uranio). Quelle artificiali sono invece molte di più, costituite da radioelementi con numero atomico uguale o maggiore di 93 (transuranici) e da isotopi artificiali di elementi stabili (radioisotopi). Sostanze radioattive in natura sono ad esempio il radio (Ra) l'uranio (U) il torio (Th) l'attinio (Ac) e il polonio (Po) mentre tra quelle artificiali troviamo il plutonio (Pu) e i prodotti di fissione formati bombardando con neutroni alcuni elementi pesanti in un reattore nucleare, nonché i radioisotopi prodotti dall'uomo (ad esempio le scorie di fissione). I raggi cosmici sono particelle di origine extraterrestre

costituite prevalentemente da nuclei di idrogeno (protoni) e di altri atomi, sia leggeri (raggi alfa) che pesanti, ma anche da elettroni, positroni, neutrini e fotoni gamma. Provengono dallo Spazio con una densità media (negli strati alti dell'atmosfera) di circa ventimila particelle al metro quadrato ogni minuto, e hanno un'energia elevatissima. Molte di queste particelle si scontrano poi con gli atomi dell'atmosfera terrestre, generando altre particelle (raggi cosmici secondari) come protoni, neutroni, mesoni, fotoni, ecc., formanti sciame fotoni-elettroni caratteristici, dall'elevato potere penetrante (sono stati rilevati anche ad alcuni chilometri sotto la superficie terrestre). A livello del mare, si registra una media di una particella di raggi cosmici al minuto su una superficie di un centimetro quadrato; tale quantità è innocua per noi. Quanto ai raggi X, sono emessi dai metalli colpiti da raggi catodici e si producono in speciali tubi a vuoto (tubi Coolidge) con degli elettrodi di metallo. Dal catodo riscaldato si sprigionano, per effetto termoionico, degli elettroni (raggi catodici) che vanno in direzione dell'anodo, con velocità direttamente proporzionale alla tensione fornita dalla sorgente. Lo scontro dei raggi catodici con l'anodo (metallo) genera i raggi X.

Vediamo adesso quali sono le radiazioni cui prestare attenzione: le prime sono i raggi α , particelle costituite da nuclei di elio (2 neutroni e 2 protoni) e che hanno doppia carica positiva; originano dagli elementi radioattivi ed hanno basso potere penetrante (100 volte meno dei raggi beta), riuscendo

a propagarsi per 2-8 cm in aria, non oltre 0,05 mm nell'alluminio, non oltre lo strato basale dell'epidermide o un foglio di carta. Per contro hanno un alto potere ionizzante: una particella alfa con energia di 3 MeV produce nell'aria 4.000 coppie di ioni/mm. Le particelle alfa sono dannose solo se emesse entro il corpo umano. In tal caso possono creare gravi danni per la grande forza di ionizzazione posseduta. Ci sono poi i raggi α , costituiti da elettroni (beta⁻, negativi) e da positroni (beta⁺, elettroni positivi) emessi da un nucleo che si disintegra. Alcune particelle beta aventi alta velocità interagiscono con la materia, con emissione di raggi X (raggi X naturali). Nascono dai soliti nuclidi radioattivi ed hanno basso potere penetrante (100 volte più dei raggi alfa, ma 100 volte meno dei raggi gamma), riuscendo a penetrare non oltre 5 mm di alluminio, non oltre 1 cm nella pelle, non oltre 2,5 cm di legno. Il potere ionizzante è minimo (più basso che nei raggi alfa) ma se emessi all'interno del corpo umano sono sempre dannosi. Più pericolosi sono i raggi γ , che sono onde elettromagnetiche (diversamente dai raggi α e β) ma nascono anch'essi dai nuclidi radioattivi. La loro energia è proporzionale alla loro frequenza, secondo la relazione $E=h\nu$, dove E è l'energia, h la costante di Planck ed ν la frequenza. Sono 100 volte più penetranti dei raggi beta (qualche centimetro di piombo ne dimezza appena l'intensità) ed hanno potere ionizzante. Sono sempre pericolosi, anche se emessi da sorgenti esterne al corpo umano. Quanto ai raggi X, sono anco-

alla fusione. In pratica i 192 laser sono tutti collocati in un locale e la loro luce viene instradata in una serie di canali (linee ottiche) per ciascuno, canali che la

guidano fino alla sfera contenente il target, ossia il materiale da fondere, su cui viene focalizzata. A febbraio 2009 è stata completata la costruzione e sono già stati

effettuati i primi esperimenti usando i laser a potenza limitata per fondere una pallina di idrogeno pesante. Grazie alla potenza sprigionata (nell'esperimento del

ra radiazioni elettromagnetiche simili ai raggi gamma, ma di frequenza minore e quindi meno energizzati; hanno un elevato potere penetrante e ionizzante e sono pericolosi, seppur meno dei raggi gamma; si fermano con lastre di piombo.

Per valutare la pericolosità delle radiazioni dobbiamo valutare molti fattori, tra cui la potenza della fonte che le genera e la sua distanza da noi. Perciò assumono importanza i parametri descritti qui di seguito.

Dose di esposizione

La dose di esposizione, che si misura in röntgen (R, termine coniato in onore di Wilhelm Konrad Roentgen) si riferisce alle radiazioni elettromagnetiche (X e gamma) e riguarda la loro capacità ionizzante: 1 röntgen è la dose di radiazioni X (di energia pari a 250 keV) che in 1 cm³ di aria, a 760 mm di pressione e a 0 °C di temperatura, produce 2.000.000.000 di ioni. L'intensità della dose d'esposizione, cioè il rapporto fra la dose d'esposizione e il tempo d'esposizione, si misura in R/h (röntgen/ora). La dose di esposizione, e in particolare la sua intensità, indica la contaminazione da radiazioni. Nel Sistema Internazionale (SI), la dose di esposizione si esprime in coulomb per kg; 1C/kg è la quantità di radiazioni X o gamma che produce coppie di ioni con una carica complessiva di 1 coulomb in un chilo di aria pura e secca. Un röntgen è uguale a $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg. Ciò significa che 1R di esposizione libera in ogni chilogrammo di aria $2,58 \cdot 10^{-4}$ coulomb di carica. Siccome ciò che interessa ai fini della sicurezza delle persone è la ionizzazione prodotta da una sostanza

irradiata, l'unità di misura da prendere in considerazione è il röntgen (R).

Dose assorbita

La dose assorbita è la quantità di energia che le radiazioni ionizzanti cedono alla materia per unità di massa della sostanza irradiata, cioè il rapporto tra l'energia delle radiazioni assorbita dalla materia e la massa di materia interessata. L'unità di misura della dose assorbita è il rad, che corrisponde a un'energia di 100 erg assorbita per ogni grammo di materia. Un grammo di tessuto esposto a 1 röntgen assorbe circa 93 erg. Nel SI la dose assorbita si misura in gray (Gy). 1 Gy è la dose che viene assorbita quando l'energia per unità di massa, ceduta alla materia da una radiazione ionizzante, è 1 joule per kilogrammo (1 J/Kg). 1 Gy è uguale a 100 rad. La dose assorbita dipende sia dalle proprietà del materiale irradiato sia dal campo di radiazioni. Pertanto, se nell'aria una irradiazione di 1 röntgen corrisponde a 0,887 rad, nei tessuti molli del corpo umano la stessa irradiazione produce una dose assorbita di ca. un rad e nelle ossa da 1 a 3 rad.

Equivalente di dose

È la dose di radiazioni ionizzanti che, assorbita dal corpo umano, produce un effetto biologico identico a

quello prodotto nello stesso tessuto dall'assorbimento di raggi X o gamma. Questa grandezza è molto importante perché le radiazioni ionizzanti di caratteristiche diverse, come i raggi alfa o X, possono provocare effetti biologici diversi pur dando luogo alla stessa dose assorbita. Il valore dell'equivalente di dose si ottiene moltiplicando la dose assorbita per un fattore numerico caratteristico del tipo di radiazione ionizzante (fattore di qualità). L'equivalente di dose si misura in rem (röntgen equivalent man) (1 rem = 1 rad x fattore di qualità) e indica la quantità di radiazioni ionizzanti che producono lo stesso effetto biologico di 1 röntgen. 1 rem è la dose biologica assorbita da un organismo vivente causata da un rad. L'unità di misura SI è il sievert (Sv) (1 Sv = 1 Gy x fattore di qualità). 1 Sv è l'equivalente di dose che si verifica quando la dose di radiazioni assorbita, moltiplicata per un dato fattore adimensionale, è uguale a 1 J/kg. 1 Sv = 100 rem. 1 rem = 0,01 Sv.

Efficacia biologica relativa

Detta EBR, corrisponde al rapporto tra una dose in rad di raggi X e la dose in rad delle radiazioni ionizzanti considerate che produce lo stesso effetto biologico. I raggi X, i gamma, gli elettroni e i raggi beta di qualsiasi energia, hanno un EBR ugua-

Equivalenza	
1 C/kg	3876 R
1 Gy	100 rad
1 Sv	100 rem
1 Bq	$2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci
1 R	$2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg
1 rad	0,01 Gy
1 rem	0,01 Sv
1 Ci	$3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

le ad 1; i protoni e i raggi alfa hanno EBR di 10. I nuclei pesanti hanno EBR uguale a 20, mentre i neutroni si collocano tra 2 e 10,5. La Dose biologica efficace, espressa in rem, è data dal prodotto della dose assorbita in rad per l'EBR.

Attività

L'attività di una sostanza radioattiva è determinata dal numero di disintegrazioni nucleari che si verificano nell'unità di tempo. Di solito, si usa misurare l'attività per unità di massa (o attività specifica) e per unità di volume (o concentrazione di attività). L'unità di misura è il curie (Ci), che esprime l'attività di un grammo di radio 226 e corrisponde a $3,7 \cdot 10^{10}$ disintegrazioni al secondo. Nel SI si usa il Becquerel (Bq) che corrisponde all'attività di un radionuclide che decade spontaneamente, subendo in media una disintegrazione al secondo. 1 Bq equivale a $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci.

29 settembre 2010, il gruppo di laser è arrivato a fornire al materiale da fondere ben 1 megajoule) la superficie del combustibile si trasforma in un involucro di

plasma che poi implode. Il cuore dell'impianto è il modulatore di luce spaziale (spatial shaper) montato nel preamplificatore installato nella parte

terminale dei gruppi laser: il modulatore può oscurare la luce del laser in luoghi ben definiti all'interno del profilo del fascio, in modo che la luce eviti piccoli

Elettricità negli abissi



LA FUSIONE FREDDA

È recentissima la notizia -giunta dall'Università di Bologna- della possibilità di ottenere una fusione atomica a bassissima temperatura: Andrea Rossi e Sergio Focardi, rispettivamente



Un settore dove l'energia nucleare si è dimostrata strategicamente fondamentale è quello della propulsione dei sottomarini; infatti ai primordi questi mezzi usavano un motore elettrico alimentato da batterie ricaricate da gruppi elettrogeni diesel: in emersione funzionavano i diesel, mentre in immersione, non potendo disporre di aria per la combustione del motore endotermico, i motori elettrici venivano alimentati dalle batterie.

A causa della ridotta densità di energia delle batterie, l'autonomia di un sommergibile in immersione è limitata, perché l'energia elettrica immagazzinata a un certo punto finisce e non solo non muove più il sommergibile, ma impedisce l'azionamento delle pompe per espellere l'acqua nelle casse zavorra usate per far scendere il mezzo o per variarne l'assetto, condannando il sottomarino a restare sott'acqua per sempre o ad

implodere quando, scendendo troppo in profondità, la pressione dell'acqua supera la sua resistenza (ciò avviene sotto i 400÷500 m). L'adozione di un reattore nucleare consente di disporre dell'elettricità necessaria a mantenere in immersione un sommergibile anche per settimane, facendo funzionare i motori, i servizi di bordo, i pannelli di comando e le pompe, nonché di produrre ossigeno. Ecco perché tutte le nuove classi di sommergibili costruite negli ultimi 30 anni (classi Los Angeles, Seawolf, Virginia, Ohio degli U.S.A., SSBN, SSGN e Typhoon dell'ex U.R.S.S. e Trafalgar inglesi) funzionano ad energia nucleare; d'altra parte l'uranio fornisce una gran quantità d'energia a parità di massa trasportata e l'acqua per raffreddare i reattori, in mare non manca.

ingegnere e professore emerito dell'ateneo emiliano, hanno annunciato di aver scoperto come ottenere 12 kWh da una fusione senza scorie innescata con un consumo energetico di soli 0,6 kWh. Il tutto fondendo un protone proveniente da un atomo di idrogeno fuso in un nucleo di nichel. Tale metodica implicherebbe un costo dell'impianto di soli 2.000 euro e 1 grammo di nichel per kW prodotto. Per ora si tratta di un annuncio, guardato con scetticismo dalla comunità scientifica internazionale.

punti corrispondenti a difetti dei componenti ottici. Tali difetti possono originare piccoli danni durante il processo ad alta potenza (alta fluenza, ossia alta energia per unità di superficie) limitando l'energia potenzialmente utilizzabile.

La capacità di isolare questi siti dagli impulsi laser ad alta fluenza consente di protegge-

re il sistema laser e migliora l'operatività. Le aspettative sono grandi e tante, perché la fusione controllata potrebbe produrre energia senza altro scarto che l'elio (gas inerte non tossico o nocivo) come avviene nel sole; il tutto, a costi ragionevoli e con rischi minimi se confrontati con quelli che la fissione nucleare implica.

MA IL NUCLEARE HA ANCORA SENSO?

Incidenti a parte, in quest'epoca dominata dalla ricerca sulle fonti energetiche rinnovabili la domanda sorge spontanea. Senza farci "tirare la giacca" dall'uno o dall'altro e valutando semplici dati numerici, produrre elettricità con la fissione non ha -valutando tutti gli aspetti- una



vera convenienza; ad esempio, se paragonassimo un impianto eolico ad uno a fissione, a parità di potenza prodotta vincerebbe il primo, che si realizza in pochissimi mesi (contro gli almeno 5 anni richiesti per costruire e mettere in funzione una centrale nucleare) e produce elettricità (costo delle infrastrutture a parte) allo stesso prezzo, senza presentare rischi di esplosione e contaminazione, né richiedere particolare manutenzione ed approvvigionamento di fonte energetica, né produrre scorie. Inoltre ha un costo di esercizio enormemente minore. Certo,

una centrale nucleare (se costantemente alimentata) sviluppa elettricità in continuazione e con costanza (perciò chi la produce deve svenderla nelle ore notturne, quando la richiesta

cala), mentre in una centrale eolica l'erogazione di energia è discontinua e non programmabile.

Si potrebbe allora fare un confronto con il fotovoltaico, che però è capace di produrre, per unità di superficie occupata, poca potenza, sottraendo peraltro irraggiamento solare al suolo; senza contare che al mondo non si produce abbastanza silicio per fornire a tutti energia fotovoltaica (1 kW con moduli cristallini necessita di circa 20 kg di silicio, che scendono a 400 grammi usando la tecnica a film sottile, capace però di fornire efficienze del 12÷13 % contro il 16÷17 % del miglior cristallino), senza considerare che il costo del kWh è ancora proibitivo. Buone prospettive le fornisce il solare termico, grazie a cui si può ottenere anche vapore da usare per azionare le turbine e

ricavare elettricità; il Progetto Desertec in sviluppo nel Nordafrica è un valido esempio.

In ogni caso la valutazione del nucleare va fatta nel complesso, ossia considerando il costo economico di realizzazione degli impianti, il costo d'esercizio, la gestione degli scarti, i rischi e il costo ambientale; in quest'ottica al nucleare si devono preferire le rinnovabili, che seppure ancora poco competitive e individualmente insufficienti, usate in combinazione con combustibili fossili meno inquinanti (gas, carbone pulito) possono supplire al petrolio e farci ignorare la chimera del nuovo nucleare, a meno che la fusione non dia sufficienti garanzie.

L'uso combinato di fotovoltaico, eolico, solare termico, idroelettrico, insieme allo sviluppo di centrali a fuel-cell, potrebbe cancellare lo spettro del nucleare, ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e avvicinare lo sviluppo mondiale al concetto di sostenibilità, soprattutto ora che il rapido sviluppo di Cina e India causerà l'aumento dell'immissione di inquinanti in atmosfera, dovuti al consumo di combustibili fossili da parte

di queste nuove economie. Insomma, oggi puntare sul nucleare è qualcosa che ha senso solo strategicamente e politicamente ed ha solo un reale vantaggio: permettere alle nazioni che possono contare sul materiale fissile di avere l'indipendenza energetica dal resto del mondo. Non è un caso che le nazioni più ambiziose e isolazioniste abbiano puntato sul nucleare per essere indipendenti e nel contempo ricordare ai potenziali nemici che con le scorie possono fare abbastanza armi da affrontarli... È poco confortante, ma è così...

Qualcosa potrà cambiare se il progetto del premio Nobel Carlo Rubbia si realizzerà: si tratta di un reattore in grado di "bruciare" le scorie radioattive, ovvero tramutarle in altri elementi il cui decadimento è più breve, ricavando energia. È un impianto dove un sincrotrone accelera dei protoni e li spara contro del piombo, da cui scaturiscono protoni che investono il materiale fissile (torio o uranio o scorie radioattive di fissione) tramutandolo in sostanze diverse che non emettono più radiazioni o che ne emettono per un tempo minore. Il Rubbiatron (così viene chiamato) è peraltro sicuro perché in esso non c'è reazione a catena e può essere spento in ogni istante. ■





di ANDREA LETTIERI

ARDUIMU, LA PIATTAFORMA INERZIALE PER MILLE APPLICAZIONI

Approfondiamo la conoscenza dei sistemi che vengono utilizzati per rilevare lo spostamento di velivoli, veicoli terrestri e robot.

Descrivendo il progetto del nostro UAV basato sull'aeromodello Easy Star, abbiamo parlato della tecnologia IMU, che per ragioni di spazio ci è sembrato giusto trattare in un articolo a parte: questo. Ebbene, proprio nella descrizione dell'UAV abbiamo visto che la stabilizzazione automatica è tra le funzioni vitali per la realizzazione di un sistema di controllo del volo di modelli ad ala fissa (aerei) o ad

ala rotante (elicotteri e multicotteri). Sulle prime versioni del modello Easy Star abbiamo impiegato dei sensori termofili, che permettevano di tenere il modello in linea con l'orizzonte leggendo ed elaborando le differenze di temperatura tra porzioni di cielo e terra visibili ai sensori in base alle diverse inclinazioni del modello. Un tale sistema non funziona correttamente in condizioni climatiche

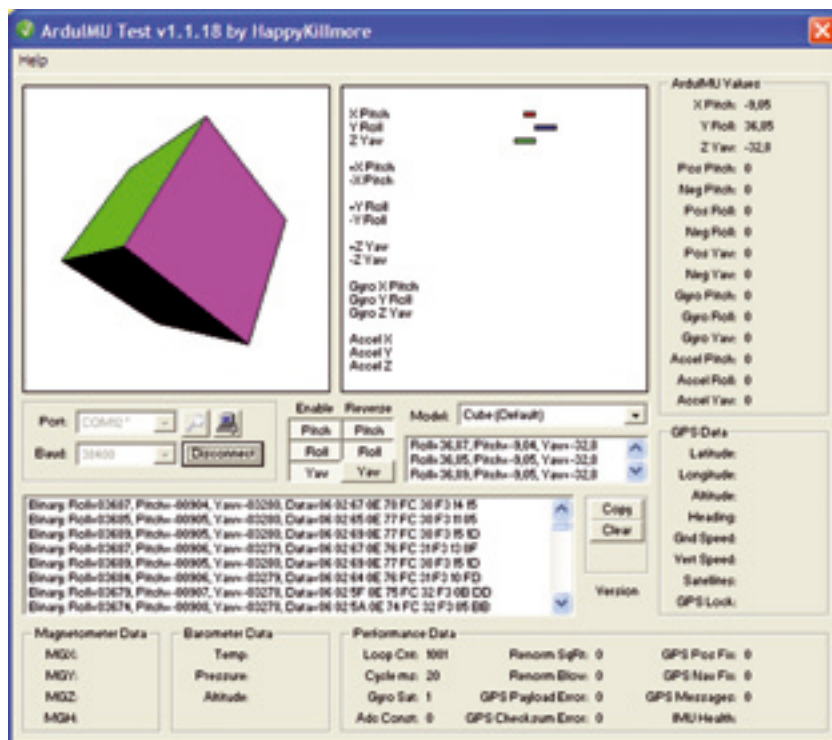
Fig. 1

come terreno innevato, nebbia o nubi, oltre che in presenza di ostacoli verticali ravvicinati come boschi o edifici. Perciò nella versione di Easy Star descritta in questo stesso fascicolo, abbiamo preferito ai sensori termofile un sistema IMU basato su sensori di accelerazione integrati con giroscopi.

I sistemi IMU, che attualmente costituiscono la tecnologia di riferimento nella stabilizzazione e nel controllo di aeromobili, devono la loro affidabilità all'utilizzo della gravità terrestre come riferimento per la stabilizzazione degli assi X e Y e per la calibrazione e le correzioni dei riferimenti di calcolo.

I sistemi IMU, adottati da tempo in aeronautica, erano e rimangono molto costosi e la realizzazione è troppo ingombrante per poter essere applicata in modelli in scala ridotta. Grazie al progresso tecnologico, alla miniaturizzazione dei componenti elettronici e alla necessità di impiego di questa tipologia di sensori su modelli in scala utilizzati nella progettazione di aerei veri, oggi sono disponibili moduli a costi contenuti dalle prestazioni professionali e di dimensioni tali da poter essere impiegati anche sui nostri aeromodelli.

Concettualmente un modulo IMU è una "scatola" in grado di misurare e comunicare all'esterno informazioni relative all'orientamento sui tre assi del mezzo sul quale è installato; queste informazioni vengono elaborate ed integrate con i dati GPS (posizione) dal software di controllo della stabilizzazione e della navigazione, per determinare le azioni correttive necessarie a mantenere il velivolo in un assetto coerente con la rotta da seguire, livellato in caso di rotta rettilinea o con i corretti angoli di rollio e beccheg-



gio in virata. Nella realizzazione del nostro UAV abbiamo utilizzato il modulo ArduIMU+, che si integra perfettamente con il modulo base Ardupilot ed è realizzato con sensori MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Il blocco IMU integra un accelerometro a tre assi, nel nostro caso un Analog Devices ADXL335, ed un sistema di giroscopi sempre a tre assi, LPR530AL per gli assi X e Y ed LY530ALH per l'asse Z. Sul modulo sono integrati anche:

- una porta USB FTDI per la programmazione del modulo;
- un bus I²C;
- una porta SPI;
- una porta per il collegamento del GPS;
- due uscite PWM per il collegamento diretto di servocomandi in modo da permettere utilizzi diversi da quelli previsti per Ardupilot;
- un diodo di protezione dell'alimentazione.

Le due tipologie di sensori

componenti il nostro ArduIMU, accelerometri e giroscopi, reagiscono in modi e tempi diversi alle variazioni di orientamento. Gli accelerometri (sono tre, uno per ognuno degli assi X, Y e Z) misurano ciascuno la forza di inerzia apparente agente su ciascuno degli assi: in pratica la componente lungo ciascun asse del vettore gravità.

Per riportare questo concetto all'esperienza reale, immaginiamo di sederci dentro uno scatolone di forma pressoché cubica, appoggiati al suo fondo e con le pareti di destra e di sinistra che ci sfiorano le spalle.

Se poniamo delle bilance tarate in "g" su ciascuna parete della scatola, con la possibilità di visualizzare le letture dall'esterno, ed assegniamo il valore + e - a ciascuna estremità degli assi (vedremo in seguito il motivo di questa convenzione), di fatto abbiamo realizzato un'approssimazione della sezione accelerometri del nostro IMU.

In questa condizione, a scatola ferma il nostro sistema (composto da noi dentro la scatola più le bilance) è soggetto alla sola forza di gravità, ragion per cui sentiremo il nostro solito peso appoggiato al fondo della scatola e nessun'altra forza contro le restanti pareti; il nostro peso è misurato dalla bilancia sul fondo della scatola come forza apparente di gravità di un g e pertanto il nostro sistema fornirà le seguenti misure:

- Asse X = 0 g;
- Asse Y = 0 g;
- Asse Z = -1g (convenzione dei segni applicata all'estremità degli assi).

Notate che in queste pagine parliamo e parleremo di forze espresse in g, ma in realtà è una convenzione, in quanto in g si misura un'accelerazione, che nello specifico è quella di gravità e vale, mediamente, $9,81 \text{ m/s}^2$. L'accelerazione di gravità è quel fattore che, moltiplicato per la massa di un corpo, permette di determinarne la forza impressa al suolo, forza che in Fisica si chiama peso. Immaginiamo ora che qualche amico dispettoso inclini la nostra scatola di 45 gradi e ci mantenga in questa posizione; al buio, all'interno della scatola quello che noi sentiamo è una diminuzione della sensazione di peso appoggiato al fondo della scatola ed una compressione sulla spalla corrispondente al lato inclinato, che ci darà la netta sensazione di essere storti. E in effetti siamo storti rispetto al vettore gravità terrestre. Le bilance misurano la nuova condizione producendo i seguenti valori:

- Asse X = -0,71 g circa (fondo della scatola);
- Asse Y = 0 g (schiena, nessuna inclinazione);
- Asse Z = -0,71 g circa (appoggio sulla spalla).

Il valore approssimativo 0,71 non è preso a caso, ma è il risultato del calcolo della componente di forza lungo l'asse corrispondente, determinato utilizzando il Teorema di Pitagora.

Se consideriamo che $R = -1 \text{ g}$ (forza di inerzia apparente) e che la relazione tra le sue componenti sui tre assi è data da:

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2 + R_z^2$$

allora possiamo affermare che:

$$R_x^2 + R_y^2 + R_z^2 = 1^2$$

Siccome R_x è zero (non abbiamo inclinazione sull'asse y) e gli altri due assi sono inclinati di 45 gradi, le due componenti R_x ed R_z sono lunghe uguali:

$$1^2 = (1^2/2) + (1^2/2)$$

Quindi $R_x^2 = R_y^2 = 1^2/2$ e di conseguenza:

$$R_x = R_y = \sqrt{1/2} = 0,707$$

A questo valore va applicato il segno meno.

Questo esempio serve per fornire un'idea generale del comportamento di un sistema di accelerometri multiassi, tuttavia presenta il limite di avere considerato la forza di gravità come vettore di orientamento con valore sempre unitario e sempre rivolta verso il basso.

Nella realtà, i mezzi volanti possono muoversi in ogni direzione rispetto agli assi di riferimento ed essere sottoposti a forze ben più grandi di quella di gravità, anche di diversi g sia positivi che negativi, come ben sanno i progettisti di jet militari ed i piloti che li manovrano.

Nella illustrazione di Fig. 2, il vettore R rappresenta il vettore forza effettivamente misurato

dall'accelerometro, determinato dalla combinazione della forza di gravità e delle altre forze aggiuntive agenti sul modello (trazione, forza centrifuga, forza centripeta, portanza, ecc.); R_x , R_y ed R_z sono le proiezioni sui tre assi del vettore risultante R.

Sempre per il teorema di Pitagora applicato alle tre dimensioni, i vettori stanno tra loro nella relazione $R^2 = R_x^2 + R_y^2 + R_z^2$ e relative formule inverse.

Ora, nel suo funzionamento reale, il nostro accelerometro analogico ci fornisce per ciascun asse un valore di tensione proporzionale alla relativa forza misurata, con un massimo di circa 3 g.

Con un valore di tensione di alimentazione V_a pari a 3 V, ad una componente di uscita di 1,5 V ($1/2 V_a$) corrisponde la misurazione di 0 g; la sensibilità per questa tensione di alimentazione è di 300 mV/g per valori di uscita compresi tra 0,6 V (-3 g) e 2,4 V (+3 g).

Questi valori sono letti dal convertitore analogico digitale a 10 bit presente sul modulo Arduino IMU (integrato nel processore Atmel 328) e convertiti in una scala di valori tra 0 e 1.023. Pertanto la misurazione di forza 0 g su ciascun asse corrisponderà ai valori digitali 511 su tutti gli assi. Per fare un esempio, im-

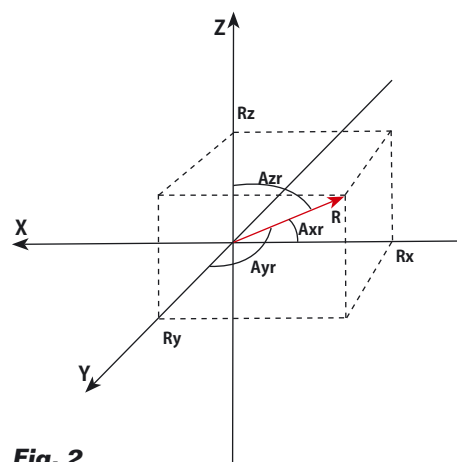


Fig. 2

maginiamo che sulle uscite X, Y e Z del nostro accelerometro siano presenti i seguenti valori di tensione:

$$\begin{aligned} V_x &= 1,71 \text{ V} \\ V_y &= 1,85 \text{ V} \\ V_z &= 1,64 \text{ V} \end{aligned}$$

All'uscita del nostro convertitore ADC a 10 bit otterremo:

$$\begin{aligned} ADC_x &= 1,71 * 1.023 / 3 = 583 \\ ADC_y &= 1,85 * 1.023 / 3 = 631 \\ ADC_z &= 1,64 * 1.023 / 3 = 559 \end{aligned}$$

La conversione dei valori analogici in digitali è necessaria in quanto i microcontrollori ed i computer in generale hanno più dimestichezza a gestire valori digitali che grandezze analogiche e quindi è necessario convertirli, con tutte le problematiche di gestione connesse e ben note a chi progetta circuiti di conversione come derivate di tensione, temperatura, stabilità delle tensioni di riferimento e così via. Questi valori vengono letti dal software di controllo e verranno elaborati per determinare l'orientamento sugli assi del nostro modello.

Il primo passo è la riconversione in valori di tensione ed il calcolo del delta rispetto al valore di tensione corrispondente a 0 g di accelerazione.

$$\begin{aligned} V_{tx} &= 583 * 3 / 1.023 = 1,71 \text{ V} \\ V_{ty} &= 631 * 3 / 1.023 = 1,85 \text{ V} \\ V_{tz} &= 559 * 3 / 1.023 = 1,64 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{tx} &= 1,71 \text{ V} - 1,5 \text{ V} = 0,21 \text{ V} \\ \Delta V_{ty} &= 1,85 \text{ V} - 1,5 \text{ V} = 0,35 \text{ V} \\ \Delta V_{tz} &= 1,64 \text{ V} - 1,5 \text{ V} = 0,14 \text{ V} \end{aligned}$$

Sapendo che la sensibilità del giroscopio è di 300 mV per g, è possibile calcolare la forza (espressa in g) utilizzando la formula:

$$R_{xyz} = \Delta V_{txyz} / \text{Sensibilità}$$

$$\begin{aligned} R_x &= 0,21 / 0,330 \text{ Vg} = 0,63 \text{ g (circa)} \\ R_y &= 0,35 / 0,330 \text{ Vg} = 1,06 \text{ g (circa)} \\ R_z &= 0,14 / 0,330 \text{ Vg} = 0,42 \text{ g (circa)} \end{aligned}$$

A questo punto gli angoli che ci interessano per determinare l'orientamento del modello sono quelli formati dai tre assi con il vettore della forza determinati come:

$$\begin{aligned} \cos(A_{xr}) &= R_x / R \\ \cos(A_{yr}) &= R_y / R \\ \cos(A_{zr}) &= R_z / R \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dove } R &\text{ è dato da:} \\ R &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \end{aligned}$$

In altre parole:

$$R = \sqrt{(0,63^2 + 1,06^2 + 0,42^2)} = 1,38.$$

Sostituendo questo valore otteniamo:

$$\begin{aligned} \cos(A_{xr}) &= 0,63 / 1,38 = 0,4565 \\ \cos(A_{yr}) &= 1,06 / 1,38 = 0,7681 \\ \cos(A_{zr}) &= 0,42 / 1,38 = 0,3043 \end{aligned}$$

Per ottenere gli angoli si applica la funzione "arcoseno" ai valori ottenuti, determinando così i tre angoli desiderati:

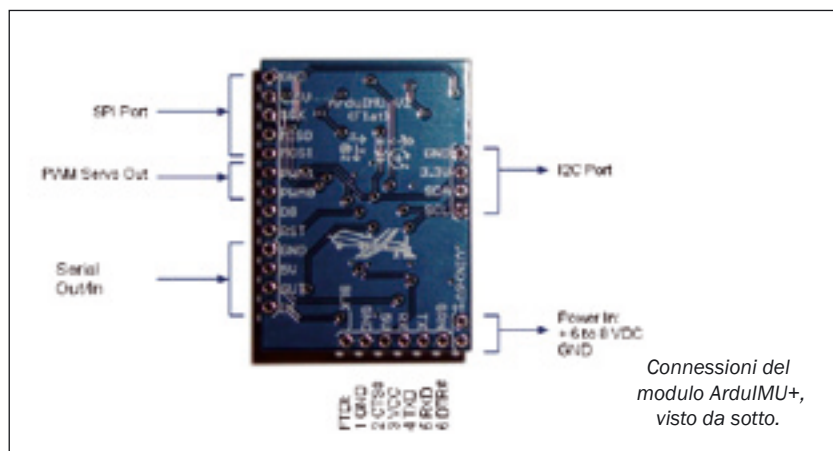
$$\begin{aligned} A_{xr} &= \arccos(R_x/R) = 62,84 \text{ gradi} \\ A_{yr} &= \arccos(R_y/R) = 39,81 \text{ gradi} \\ A_{zr} &= \arccos(R_z/R) = 72,28 \text{ gradi} \end{aligned}$$

I calcoli associati alla determinazione delle direzioni attese rispetto alle direzioni misurate e alle necessarie correzioni da apportare per ricondurre il nostro modello sulla rotta corretta, non sono influenzati dalla grandezza della forza misurata (lunghezza del vettore R) ma unicamente dalla sua direzione.

Pertanto possono essere eliminate da tutti i calcoli le implicazioni legate alla lunghezza del vettore R (modulo) considerando lo stesso di lunghezza unitaria e trasformandolo in un versore, ereditando così tutte le proprietà e le facilitazioni di calcolo correlate ai versori. La direzione di un versore è descritta dalla matrice dei suoi coseni direttori, secondo quanto scritto qui di seguito:

$$\begin{aligned} \cos X &= R_x / R = \cos(A_{xr}) = 0,4565 \\ \cos Y &= R_y / R = \cos(A_{yr}) = 0,7681 \\ \cos Z &= R_z / R = \cos(A_{zr}) = 0,3043 \end{aligned}$$

Scorrendo il software di controllo del nostro ArduIMU, troveremo le matrici DCM (Direction Cosine Matrix) che vengono utilizzate, per l'appunto, nei calcoli di determinazione e correzione dell'orientamento del modello. Il problema principale degli



Connessioni del modulo ArduIMU+, visto da sotto.

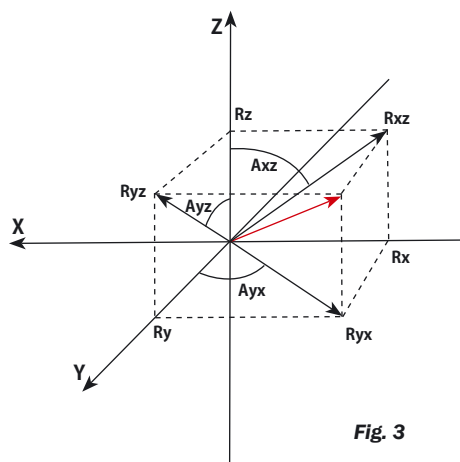


Fig. 3

accelerometri è dato dal fatto che sono influenzati da qualsiasi forza venga applicata al corpo al quale sono collegati; in altre parole, sono fortemente sensibili ai fenomeni perturbanti istantanei come forze centripete, accelerazioni e decelerazioni dovute alla trazione ed ai fenomeni aerologici e simili. Per ottenere valori utilizzabili è necessario mediare i valori ottenuti da diverse misure successive con una sorta di processo di media mobile, che però richiede un certo periodo di tempo per ottenere valori affidabili. In conclusione, gli accelerometri danno risultati affidabili solo in intervalli di tempo piuttosto lunghi, ovviamente lunghi rispetto alle necessità di reazione correlata alla stabilizzazione di un modello volante.

Entriamo ora più in profondità nelle modalità di funzionamento della componente giroscopi del nostro IMU. Come già detto, un giroscopio misura la velocità angolare, ovvero di quanti gradi ruota un corpo su uno specifico asse in un determinato periodo di tempo. Per misurare le velocità angolari sui tre assi di riferimento X, Y e Z sul nostro modulo IMU sono montati tre giroscopi, che dovranno essere orientati coerentemente con l'orientamento dei tre accelerometri (Fig. 3). Sul modulo IMU tutto è già installato in modo corretto; sarà nostra

cura montarlo sul modello nel verso riportato dalle istruzioni. Per comprendere il funzionamento dei giroscopi è necessario definire gli angoli tra le proiezioni del vettore forza R sui tre piani di riferimento ed i relativi assi; più precisamente:

- Axz è l'angolo tra la proiezione di R sul piano XZ e l'asse Z (beccheggio);
- Ayz è l'angolo tra la proiezione di R sul piano YZ e l'asse Z (rollio);
- Ayx è l'angolo tra la proiezione di R sul piano XY e l'asse X (imbardata).

I giroscopi misurano la velocità angolare delle rotazione sugli assi mediante la misura degli angoli appena descritti in intervalli di tempo unitari; in pratica, prendendo come riferimento la rotazione attorno ad un solo asse, per esempio l'asse di beccheggio Y, che richiede la misurazione della velocità angolare relativa ad Axz, il nostro giroscopio eseguirà una prima lettura al momento t0 che chiameremo Axz0 e una successiva lettura al momento t1, che chiameremo Axz1.

La velocità angolare sarà data dalla formula:

$$VangAxz = (Axz1 - Axz0)/(t1 - t0)$$

Siccome Axz è espresso in gradi e t in secondi (di tempo), la velocità angolare viene espressa in gradi al secondo. La sensibilità del giroscopio, anche essa espressa in gradi/secondo, è tra le principali informazioni presenti nei data-sheet che descrivono le prestazioni dei vari giroscopi determinando la massima velocità angolare che il giroscopio stesso è in grado di misurare; a velocità angolari maggiori il giroscopio "satura" ed i valori di tensione forniti in uscita non sono più affidabili.

I giroscopi presenti nel nostro ArduIMU hanno una sensibilità di circa 300 gradi al secondo. Similmente agli accelerometri, anche i giroscopi comunicano in uscita le grandezze misurate mediante tensioni linearmente proporzionali, questa volta, alle velocità di cambiamento degli angoli; una tensione centrale di riferimento ci dà il valore corrispondente alla velocità angolare nulla, mentre valori più bassi o più alti ci danno la misura della velocità angolare di rotazione in un senso o nel senso opposto. Anche in questo caso la tensione viene convertita in valori digitali mediante convertitori ADC a 10 bit di risoluzione, per poter essere letti ed elaborati dal modulo Ardupilot.

Per fare un esempio, prendiamo tre valori dei parametri *AdcGyroXZ*, *AdcGyroYZ* e *AdcGyroYX*, letti dal nostro convertitore ADC e passati al nostro software:

AdcGyroXZ = 571
AdcGyroYZ = 323
AdcGyroXZ = 432

Dal data-sheet sappiamo che il giroscopio ha una Vref di 3 volt, una tensione corrispondente al valore di velocità angolare zero pari a 1,23 volt ed una sensibilità di 3,33 mV per grado al secondo. Il nostro ADC ha sempre una risoluzione di 10 bit (1.023 passi) quindi:

$$VangAxz = (AdcGyroXZ * Vref/4.095 - VzeroRate) / Sensibilità = (AdcGyroXZ * 3,0 / 1.023 - 1,23) / 0,0033.$$

Idem per gli altri assi. Sostituiamo i numeri ai simboli e otteniamo:

$$VangAxz = (571 * 3,0V / 1.023 - 1,23V) / (0,0033V/gradi/s) \approx 134 \text{ gradi /s}$$

$$VangAyz = (323 * 3,0V / 1,023 - 1,23V) / (0,0033V / \text{gradi / s}) \approx -86 \text{ gradi / s}$$

$$VangAyx = (432 * 3,0V / 1,023 - 1,23V) / (0,0033V / \text{gradi / s}) \approx -1 \text{ grado / s}$$

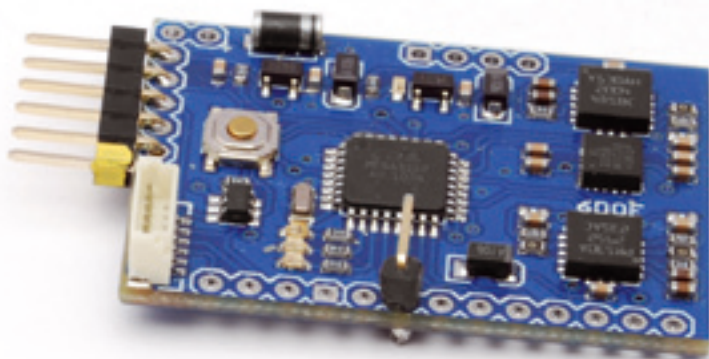
In pratica il nostro aereo sta ruotando intorno all'asse Y di 134 gradi (muso in su) e attorno all'asse X di -86 gradi (ala sinistra abbassata) senza praticamente componente di imbardata; una specie di impennata con torsione verso l'alto. Abbiamo detto che lo scopo di utilizzare un IMU è di avere a disposizione uno strumento di misura che permetta di riconoscere l'orientamento di un corpo nello spazio rispetto ad un sistema di assi di riferimento (nel nostro caso il pianeta Terra). Abbiamo anche anticipato che una singola tecnologia di sensori non è sufficiente a fornirci misure affidabili per i nostri calcoli. I giroscopi misurano velocità angolari ovvero gradi al secondo, con sensibilità (almeno per quanto riguarda gli strumenti utilizzati nei nostri progetti) di circa 300 gradi secondo, e capaci di fornire una misura ogni 20 ms. Per la loro natura di strumenti reali e non ideali, essi sono soggetti a drift (deriva) ovvero alla variazione della loro sensibilità nel tempo; in altre parole, a fronte di perturba-

zioni identiche in periodi successivi otteniamo in uscita misure differenti di velocità angolare. e per prova misuriamo con l'oscilloscopio la tensione di uscita da un giroscopio che ruotiamo di 90 gradi e poi misuriamo la tensione ruotando in senso opposto con la stessa intensità lo stesso giroscopio, per riportarlo, infine, alla posizione iniziale, otterremo un valore diverso, anche se di poco. Se ci affidassimo alle misure grezze di un giroscopio per volare in linea retta, ci troveremmo invece a seguire una rotta più o meno a spirale. Il software di controllo del nostro IMU dovrà occuparsi anche di compensare questo fenomeno di deriva, allo scopo di mantenere affidabili le letture nel tempo. Degli accelerometri abbiamo già descritto il fatto di essere influenzati da tutte le forze esterne che si sovrappongono alla forza apparente di inerzia dovuta alla gravità terrestre. Per complicarci la vita vediamo un paio di altri fenomeni con i quali il nostro IMU deve fare i conti per aiutarci a mantenere stabile il volo del nostro modello. Vediamo di capire un primo problema con un esempio: se imprimiamo al nostro modello una rotazione a destra sull'asse di rollio di 90 gradi e successivamente una seconda rotazione positiva

sull'asse di beccheggio, sempre di 90 gradi, avremo il nostro modello in volo orizzontale con le ali a coltello in una direzione perpendicolare a quella di partenza (chiaramente non vola per molto in queste condizioni, ma non è questo il punto); recuperiamo il modello in volo livellato e ripetiamo le stesse manovre, ma in ordine inverso: prima il beccheggio di 90 gradi e poi il rollio, sempre di 90 gradi. A questo punto il nostro modello sta volando dritto verso il cielo (occorre dare la massima potenza al motore). Tutto questo per dire che le sequenze di rotazioni (cinematica) non sono commutabili e pertanto nei nostri calcoli dobbiamo tenere conto delle variazioni di orientamento del nostro modello nella sequenza nella quale si verificano. Un altro problema è dato dalla precisione dei calcoli, ovvero dei risultati forniti dal nostro processore: per esempio il numero massimo di decimali utilizzabile nei calcoli, la sequenza di moltiplicazioni e divisioni, le trasformazioni tra angoli e valori trigonometrici. Le perdite di precisione si accumulano nel tempo, facendo perdere progressivamente validità ai calcoli del nostro sistema e diminuire di consistenza i valori degli elementi della matrice dei coseni direttori DCM. La maggior parte dei calcoli per la gestione del nostro IMU sono incentrati sulla matrice DCM, che è valida per descrivere l'orientamento e le rotazioni di un corpo rigido, per il quale una rotazione anche su un solo asse "trascina" solidalmente con sé anche gli altri assi. Questo è valido finché viene mantenuta valida la proprietà dei coseni direttori:

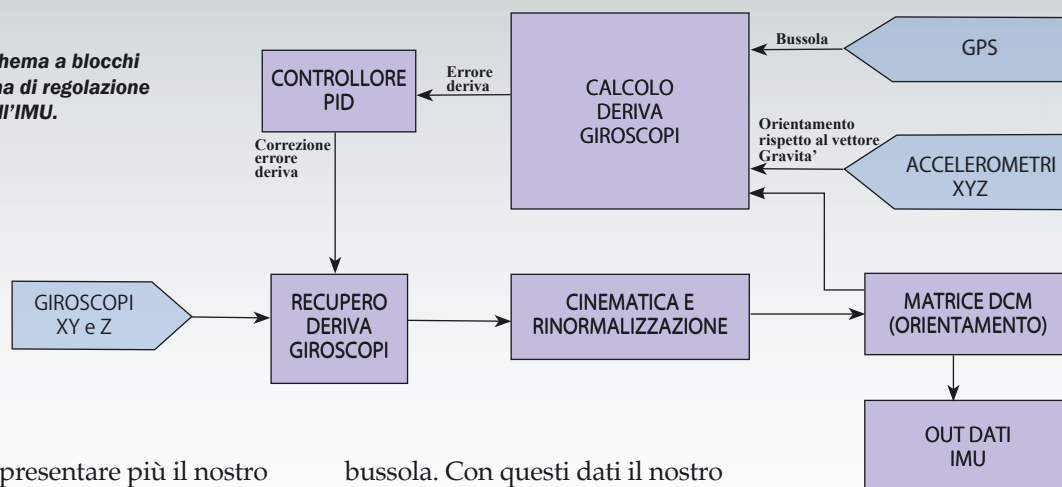
$$\text{Cos}X^2 + \text{Cos}Y^2 + \text{Cos}Z^2 = 1$$

L'imprecisione dei calcoli può invalidare questa eguaglianza e



Il modulo ArduIMU+, utilizzato nel nostro UAV, è un eccellente sistema IMU miniaturizzato per aeromodelli.

Fig. 4 - Schema a blocchi del sistema di regolazione basato sull'IMU.



non rappresentare più il nostro corpo solido e le sue rotazioni nello spazio, rendendo progressivamente inutilizzabili i risultati dei nostri calcoli. Per ovviare a questo problema deve essere introdotto un processo di rinormalizzazione della matrice DCM per mantenerla consistente.

Per finire, ancora un'ultima complicazione: per stabilizzare un modello volante e mantenerlo in volo livellato è sufficiente misurare e retroazionare i due assi orizzontali di rollio e di beccheggio. Se al nostro IMU fosse richiesto di fornire questa sola funzionalità, dovrebbe essere sufficiente integrare, filtrare e normalizzare i dati provenienti dal sistema dei giroscopi e degli accelerometri per guidare il nostro modello in un volo livello e lungo una linea retta (abbastanza diritta, a causa del residuo di derive ed errori che si accumulano nel tempo).

Già, ma verso dove? Il controllore della rotta, ovvero della navigazione, richiede di elaborare e controllare anche le variazioni sull'asse verticale, o di imbardata; infatti le variazioni di rotta si eseguono intervenendo sulla direzione di prua del modello.

Per fortuna abbiamo a disposizione i ricevitori GPS, che, sulla base dei segnali ricevuti dalla costellazione dei satelliti, sono in grado di restituirci oltre che i dati di latitudine, longitudine e altezza alla quale si trova il nostro modello, anche i dati di velocità e di

bussola. Con questi dati il nostro software di navigazione è in grado di portare il nostro modello su una rotta GPS prestabilita, correggendo le derive dovute al vento o a temporanei assetti perturbati, collaborando anche col nostro IMU mediante la direzione di bussola, utile per tarare periodicamente le matrici di riferimento per la stabilizzazione. Purtroppo, però, la direzione di bussola del nostro GPS fornisce valori validi solo quando il modello è in movimento e quindi in volo; a modello fermo non otteniamo alcun valore valido.

Poco male per il nostro modello di aereo, ma che dire di un modello di elicottero o di multicottero, la principale caratteristica dei quali è di stare in volo stazionario? Come si fa a stabilizzare il muso sempre nella stessa direzione con nessuna indicazione valida di bussola? Avete capito: tanto per complicare (tutto è più difficile in aeronautica, in particolare con gli elicotteri), ci serve un ulteriore sensore in grado di fornirci staticamente la direzione di bussola; questo sensore è il magnetometro, una specie di bussola elettronica in grado di fornirci l'orientamento del nostro modello sui tre assi rispetto al magnetismo terrestre. Richiede un'altra matrice DCM.

Il nostro ArduIMU non è fornito di magnetometro e quindi il suo impiego è limitato ai modelli di aerei. Bene, analizziamo ora lo schema a blocchi dei moduli che

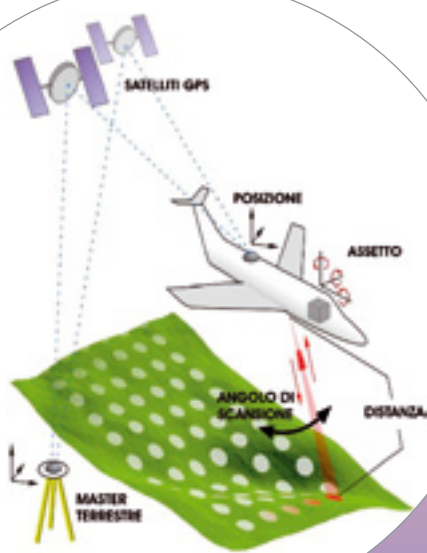
compongono il software di calcolo dei dati provenienti dal nostro IMU, da trasformare in impulsi di correzione ai servocomandi del nostro modello (Fig. 4).

Commentiamo lo schema a blocchi senza addentrarci in ragionamenti intricati e calcoli matematici, ma evidenziando il flusso logico delle operazioni.

La matrice DCM, a regime, contiene la matrice dei coseni direttori che rappresentano le componenti del vettore orientamento lungo i tre assi di riferimento terrestri; come si vede nel codice, la matrice è composta da tre colonne di tre elementi ciascuna.

La prima colonna rappresenta l'asse di rollio rispetto al riferimento terrestre (asse X); la seconda rappresenta l'asse di beccheggio (asse Y) mentre la terza è relativa alla direzione del vettore gravità (asse Z). All'accensione del sistema, la matrice viene inizializzata ad un valore convenzionale, normalmente a rappresentare il modello orientato con muso (asse x+) verso nord; gli altri assi, convenzionalmente sono considerati passanti per l'ala destra (asse y+) e diretti verso il centro della terra (asse z+); in concreto, la matrice viene inizializzata con i seguenti valori: { 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1 }.

A questo punto la matrice DCM comincia ad essere calibrata con quella di dati provenienti dai



Gli IMU vengono in aiuto dei sistemi ALTM (Airborne Laser Terrain Mapper) per rilievi aerei, che funzionano integrando dati GPS e inerziali al fine di determinare la posizione e l'assetto del velivolo. Il sistema è costituito da un laser infrarosso ($\lambda=1.064 \text{ nm}$) che invia impulsi ad una frequenza pari a 33 kHz verso uno specchio oscillante che li riflette in senso ortogonale alla direzione di avanzamento dell'aereo che alloggia il sistema. La scansione del terreno deriva dalla combinazione dei due movimenti, quello di oscillazione dello specchio e quello di avanzamento dell'aereo. Il raggio,

una volta colpito il suolo, viene riflesso e in parte torna verso lo specchio, che convoglia il segnale luminoso verso un rilevatore che determina il tempo di ritorno e l'intensità dell'impulso. Dal tempo impiegato dalla luce ricava la distanza fra lo specchio ed il punto di riflessione al suolo. Il calcolo della traiettoria del sistema avviene mediante misure GPS differenziali integrate con quelle acquisite dall'IMU ad una frequenza di 200 Hz. Alla traiettoria ricavata dal GPS vengono associati i dati di orientamento del sistema ed accelerometrici ottenuti dall'IMU, costituita da una terna di giroscopi a laser che consentono una precisione di 0,02 gradi in rollio e beccheggio e 0,04 gradi in imbardata/direzione.

sensori, con un processo di calcolo che comporta il prodotto scalare tra le matrici per ricavare le differenze di angolazione dei vettori e la somma (integrazione) di queste differenze nella matrice DCM; dopo alcuni minuti, i suoi valori diventano coerenti con il reale orientamento del modello. Durante la calibrazione è necessario che il modello sia perfettamente fermo, al fine di non perturbare il processo di calibrazione. Questo è vero anche in aeronautica, dove i più moderni caccia militari devono tutti attendere qualche minuto per allineare le loro piattaforme inerziali. Il termine del processo viene segnalato con il cambio di stato di

spie o LED e/o con messaggi di console. Da qui, la matrice DCM continua ad essere alimentata con lo stesso processo (prodotti scalari per ottenere le differenze e integrazione dei vecchi angoli con le variazioni), con le matrici di dati ottenute dai sensori per mantenere la aggiornata con la variazione di assetto del modello. Dopo ogni ciclo completo di aggiornamento, il software di controllo della navigazione utilizza la matrice DCM per calcolare le eventuali correzioni di rotta e di assetto. Proseguiamo con la descrizione dei vari blocchi.

CINEMATICA

I giroscopi sono la fonte principale di dati per la determinazione

L'IMU nei rilievi aerei

dell'orientamento. Semplificando moltissimo, il vettore orientamento viene calcolato, istante dopo istante, circa 40 volte al secondo, integrando i valori istantanei con un certo numero di letture precedenti, mediante un processo di integrazione. Il valore ottenuto, viene applicato il fattore correttivo della deriva, ricavato dai calcoli sui valori degli accelerometri e del GPS.

RINORMALIZZAZIONE

La matrice DCM viene rinormalizzata per azzerare l'accumulo di errori di calcolo: in pratica si calcola l'errore mediante il prodotto scalare delle matrici che descrivono gli assi orizzontali X e Y, che in condizioni normali deve essere zero, e si assegna l'eventuale differenza per metà all'asse X e per l'altra metà all'asse Y. Questo devia leggermente i valori calcolati rispetto alla realtà, ma queste differenze si azzerano nei cicli successivi, o meglio, continueremo ad avere differenze piccole ondegianti attorno ai valori reali, comunque impercettibili ai fini del controllo del modello.

AZZERAMENTO DELLA DERIVA

Come già anticipato, i giroscopi, per loro natura, variano nel tempo la loro sensibilità: in genere di qualche grado al secondo; pertanto è necessario determinare e compensare l'errore che ne deriva, in modo da fornire un opportuno feedback ai processi di calcolo dei dati del giroscopio. Questo viene eseguito utilizzando dei vettori di riferimento per gli assi X, e Z; l'asse Y si compensa automaticamente in quanto solidalmente legato agli altri. In particolare viene utilizzato il vettore degli accelerometri come riferimento per l'asse Z ed il GPS per l'asse X, cioè quello che passa per il muso dell'aereo.

SMORZATORE PI

I valori di feedback vengono "smorzati" attraverso un filtro Proporzionale-Integrativo-Derivativo, dove la parte derivativa viene annullata ponendo il relativo coefficiente uguale a zero in quanto la parte derivativa del filtro PID "innervosisce" la risposta del filtro stesso. L'uscita del filtro, che corrisponde ad una sorta di media pesata della serie di valori in ingresso, viene sottratta dal modulo di calcolo Cinematico ai vettori ottenuti da quest'ultimo, per azzerare progressivamente la deriva. Di seguito, alcune note aggiuntive sulle principali problematiche legate ai diversi sensori che interferiscono con la linearità di comportamento dell'IMU.

GIROSCOPI

Abbiamo detto che un giroscopio è principalmente caratterizzato dalla sua sensibilità, ovvero la massima velocità angolare che è in grado di misurare nell'unità di tempo, espressa in gradi al secondo. I giroscopi da noi utilizzati hanno una sensibilità di 300 gradi al secondo, quindi se vengono sottoposti ad una variazione di velocità angolare superiore ad essa su uno o più assi, saturano e forniscono in uscita valori errati. Per evitare ciò bisogna impostare coefficienti di guadagno dei controllori PI abbastanza grandi da forzare il sistema di retroazione a correggere gli errori dovuti a saturazione, in tempi di circa 10 secondi.

GPS

Il GPS fornisce un vettore di riferimento per l'orientamento rispetto all'asse Z (bussola) praticamente senza errore, che viene utilizzato per controllare la navigazione e per rinormalizzare gli errori degli altri sensori.

Sfortunatamente i GPS hanno un processo di elaborazione molto lungo: devono leggere i dati provenienti dal maggior numero di satelliti possibile, devono eseguire una quantità di calcoli per determinare posizione, altezza, bussola e tutte le altre informazioni, per poi comunicarli al nostro processore mediante lunghe stringhe di dati utilizzando il protocollo seriale RS232.

Un ricevitore GPS di qualche anno fa era in grado di leggere i satelliti una volta al secondo, calcolava e comunicava i dati al processore mediante due o tre stringhe di circa 50 caratteri ASCII a 4.800 o 9.600 baud; il processore, su interrupt accumulava i dati nel buffer seriale, li leggeva e li elaborava a sua volta. Un intero ciclo satellite-dati utilizzabili poteva richiedere anche 10÷12 secondi, mentre l'IMU lavora a circa 40 letture al secondo.

Oltre che sulla navigazione, la lentezza del ciclo del ricevitore GPS ha conseguenze sulla riduzione della deriva dei giroscopi, fornendo informazioni ormai vecchie ed aumentando di molto il tempo di rinormalizzazione. Con un pizzico di sfortuna, ad esempio, durante una lunga virata che inclina il modello ed anche l'antenna del GPS, perdendo così la possibilità di ricevere una parte dei satelliti, il nostro modello poteva restare privo di dati di navigazione anche per mezzo minuto.

A circa 40 km/h di velocità, provate a immaginare dove può finire il nostro modello.

Nello sviluppare un sistema di navigazione autonomo è molto importante utilizzare un GPS con la più alta frequenza possibile di

campionamento (nel nostro caso, 10 al secondo), che sia in grado di utilizzare contemporaneamente molti satelliti, per minimizzare il fenomeno dell'ombra durante le virate e che comunichi i dati sulla seriale in binario e ad alta velocità (almeno 38.400 baud).

EFFETTO DEL VENTO

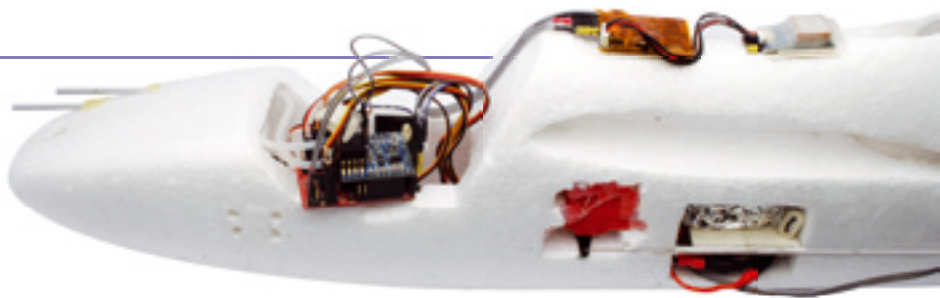
Il vento influisce sulla navigazione del nostro modello, interferendo principalmente con il controllo di imbardata sull'asse Z, facendo divergere la prua del modello dalla direzione del punto da raggiungere; in altre parole, non facendo più coincidere la direzione di bussola rispetto al terreno con la direzione da seguire per raggiungere il punto previsto.

In caso di volo rettilineo, i meccanismi di azzeramento della deriva e di rinormalizzazione dei vettori, senza accorgersene, considerano gli effetti del vento come imprecisioni delle letture, intervenendo per ricondurle alla normalità in un lasso di tempo abbastanza breve.

In caso di virata in presenza di vento, il processo di riduzione degli errori perde bruscamente di continuità, in quanto la direzione del vento e di conseguenza il suo effetto sul modello varia in continuazione durante la virata.

Una soluzione di compromesso, adottata nel software di controllo, consiste nel tenere il coefficiente di guadagno del controllo PI della direzione, grande abbastanza da generare in pochi secondi la correzione dell'errore di bussola dovuto al vento.

Bene, con ciò abbiamo concluso questa trattazione sull'IMU. ■





CONOSCIAMO .NET Micro Framework

di Lorenzo Maiorfi
e Gianluca Ruta
Innovactive Engineering

Esaminiamo le librerie e i componenti di terze parti che hanno arricchito le potenzialità del Framework, presentando alcuni esempi riguardanti la gestione del File System e delle comunicazioni wireless su ZigBee e rete GSM/GPRS. Quinta e ultima puntata.

Si conclude qui il nostro corso inerente alla piattaforma di sviluppo .NET Micro Framework; in questa puntata finale prenderemo in esame alcune delle più significative librerie ed alcuni dei più diffusi componenti software di terze parti che hanno arricchito le funzionalità del Micro Framework stesso, per quanto concerne sia l'interfacciamento con specifici dispositivi hardware, sia l'estensione di servizi presenti nella runtime. Tutto quello che prenderemo in esame in questa puntata è basato su materiale open-source reperibile nel portale Codeplex (<http://www.codeplex.com>). L'accesso a questo portale consente sia

di scaricare le varie versioni pubblicate, sia di collegarsi al sistema di controllo dei sorgenti per accedere anche agli aggiornamenti disponibili tra un rilascio ed il successivo o, se autorizzati dagli amministratori del progetto, di partecipare attivamente alla scrittura del codice di quest'ultimo.

GESTIONE DEL FILE SYSTEM

Uno dei sottosistemi di gran lunga più utilizzati nell'ambito dello sviluppo di applicazioni embedded è senza dubbio quello relativo all'immagazzinamento di dati non volatili. Ad esempio, in un'applicazione di data-logging è

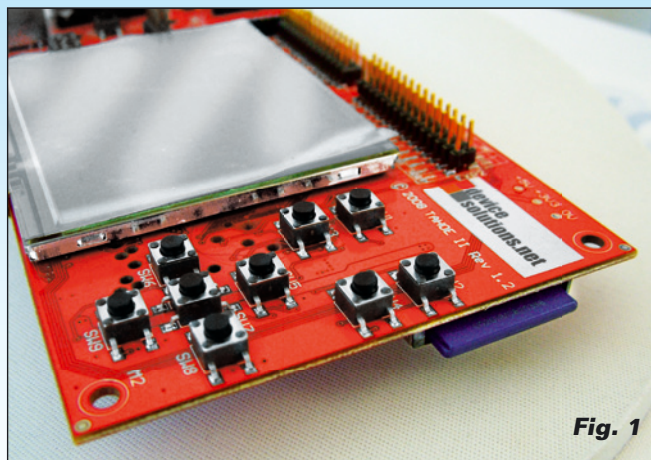


Fig. 1

imperativo che i dati raccolti siano conservati anche a seguito di un riavvio del dispositivo o della scarica completa delle batterie. Anche se in linea di principio è possibile utilizzare un qualsiasi tipo di memoria di massa, da un hard-disk ad una EEPROM, la tendenza attuale spinge verso l'utilizzo di memorie Flash, contenute in schede SD, MMC, PenDrive USB, ecc. A seconda del tipo di dispositivo utilizzato, il .NET Micro Framework rende disponibile l'accesso a memorie di massa (tipicamente memorie Flash), attraverso i servizi di un vero e proprio File System. Gli standard supportati sono al momento solo FAT e FAT32, anche se nuovi "porting" del Micro Framework (ovvero nuove implementazioni della runtime e delle librerie per una specifica architettura di microcontrollori) potrebbero consentire l'utilizzo di altri standard, quali NTFS o ext3, ad esempio.

Come per la stragrande maggioranza dei File System, il modello di interazione con i contenuti della memoria di massa avviene tramite l'accesso ad una struttura gerarchica fatta di file e cartelle. La radice di tale gerarchia prende il nome di "\", ed è effettivamente presente come primo carattere di ogni stringa che esprime un "percorso" all'interno dell'albero del File System. Nel caso della scheda TahoeII della DeviceSolutions (nella Fig. 1 si veda il particolare della scheda con lo slot SD), il percorso che fa capo allo slot SD presente sulla scheda stessa prende il nome di "\\SD". Tale nome potrebbe essere diverso su dispositivi differenti.

Le principali classi del Framework dedicate alla gestione del File System, contenute all'interno dell'assembly "System.IO" sono le seguenti:

- **Path**; espone molti metodi statici per la

gestione dei percorsi; consente ad esempio di estrarre le varie parti di un path gerarchico completo così come di comporre path complessi a partire dalle loro sottoparti;

- **Directory**; espone per lo più metodi statici per l'enumerazione di file e cartelle contenuti all'interno di un determinato percorso; non rappresenta un'istanza di directory vera e propria, per la quale è previsto l'uso della classe **DirectoryInfo**;
- **File**; espone metodi statici per la manipolazione di file (copia, ridenominazione, cancellazione, apertura, ecc.);
- **DirectoryInfo**; rappresenta una specifica istanza di directory; consente operazioni relative alla creazione di sub-directory, cancellazione, ecc.;
- **FileInfo**; rappresenta una specifica istanza di file; consente operazioni di creazione ed eliminazione, oltre ad esporre proprietà importanti quali la lunghezza espressa in byte.

L'accesso a tutte le operazioni di lettura e scrittura di dati all'interno di un determinato file, avviene tramite l'uso di un apposito Stream, denominato **FileStream**. Tramite le classi di supporto specializzate nella lettura e scrittura di Stream (rispettivamente *StreamReader* e *StreamWriter*) è possibile effettuare tutte le più comuni operazioni, come illustrato nel frammento di codice contenuto nel **Listato 1**; questo è chiaramente ispirato ad un data-logger, in cui vengono scorsi in maniera gerarchica tutte le cartelle e tutti i file presenti nel File System, alla ricerca di un ben preciso file ("datalog.txt", nel nostro esempio), al quale viene poi aggiunta una riga di testo composta da un progressivo di riga e dalla tensione misurata dal convertitore ADC all'ingresso "AUX" della scheda.

L'applicazione illustrata è costituita da due metodi principali: **enumerateDirectories()** e **updateDataLog()**. Il primo utilizza le chiamate a **Directory.GetFiles()** e **Directory.GetDirectories()** rispettivamente per scorrere tutti i file e le sotto-cartelle della directory corrente. Il secondo metodo apre dapprima in sola lettura il file "datalog.txt", ne conta le righe utilizzando una stringa intermedia come variabile di appoggio e successivamente lo chiude e riapre in modalità di scrittura per

Listato 1

```

1: public class Program
2: {
3:     // stringa per indentazione
4:     const string INDENT="  ";
5:
6:     public static void Main()
7:     {
8:         // chiama ricorsivamente l'enumerazione
9:
10:        enumerateDirectories(@"");
11:
12:        while (true)
13:        {
14:            Thread.Sleep(1000);
15:        }
16:    }
17:
18:    static string _tabs = string.Empty;
19:
20:
21:    static void enumerateDirectories(string path)
22:    {
23:        // stampa il nome della directory
24:        Debug.Print(_tabs + "[" + path + "]");
25:
26:        _tabs += INDENT;
27:
28:        // Scorre i file...
29:        foreach(string file in Directory.GetFiles(path))
30:        {
31:            Debug.Print(_tabs+Path.GetFileName(file));
32:
33:            // se viene trovato il file datalog.txt...
34:            if (Path.GetFileName(file).ToLower() == "datalog.txt")
35:            {
36:                // aggiungo una riga con la tensione misurata all'ingresso aux
37:                updateDataLog(file);
38:            }
39:        }
40:
41:        // scorro le directory figlie
42:        foreach (string dir in Directory.GetDirectories(path))
43:        {
44:            // ricorsivamente
45:            enumerateDirectories(dir);
46:        }
47:
48:        Debug.Print(string.Empty);
49:
50:        if (_tabs.Length >= INDENT.Length) _tabs = _tabs.Substring(0, _tabs.Length - INDENT.Length);
51:    }
52:
53:    private static void updateDataLog(string file)
54:    {
55:        int rownum = 0;
56:        string txt;
57:
58:        // Apro il file in lettura e conto le righe
59:        using (StreamReader sr = new StreamReader(File.Open(file, FileMode.
OpenOrCreate, FileAccess.Read)))
60:        {
61:            txt=sr.ReadToEnd();
62:        }
63:
64:        rownum = txt.Split('\n').Length - 1;
65:
66:        // riapro il file, stavolta in scrittura
67:        using (StreamWriter sw = new StreamWriter(File.Open(file, FileMode.Append, FileAccess.Write)))
68:        {
69:            // e aggiungo una riga con progressivo e aux
70:            txt = (rownum+1).ToString() + ";" + TahoeII.Tsc2046.ReadAux().ToString("G");
71:
72:            sw.WriteLine(txt);
73:        }
74:
75:    }
76:
77: }

```

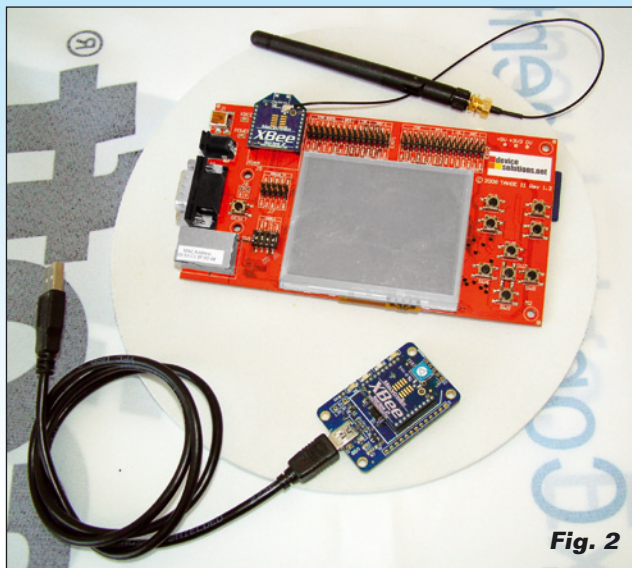



Fig. 2

aggiungere una riga di testo. È opportuno notare che, a riga 59, viene utilizzata l'opzione *FileMode.OpenOrCreate* per fare in modo che, qualora il file non esista (caso che non si applica al nostro demo in quanto il metodo viene eseguito solamente se il file viene effettivamente rilevato) esso venga creato in occasione della prima apertura. Merita un'ultima osservazione, inoltre, quanto presente alla riga 10, in cui il percorso radice del File System viene indicato con `@\"` anziché semplicemente con `\"`. Tale notazione non dipende dall'API relativa al file-system, bensì dal linguaggio C#, che utilizza `\"` come carattere speciale, utilizzato come prefisso di altri caratteri allo scopo di esprimere in forma testuale caratteri non stampabili: ad esempio `\"`, messo ad indicare il carattere "newline". Qualora si volesse indicare all'interno di una stringa espressa come costante nel codice sorgente lo stesso carattere `\"`, è possibile utilizzare la sequenza `\"` oppure, come indicato nell'esempio appena illustrato, anteporre `@` alla stringa o al carattere costante, il quale, interpretato solo dal preprocessore del compilatore, disabilita la gestione del carattere speciale `\"` nella stringa che segue.

COMUNICAZIONI WIRELESS CON MODULI XBEE

Uno dei campi tecnologici in cui è più evidente il fermento da parte di chi realizza sistemi per soluzioni embedded, è senza dubbio quello che riguarda le comunicazioni via radio. Gli standard più utilizzati nei sistemi attuali sono Wi-Fi, Bluetooth e ZigBee, ciascuno con le proprie peculiarità in termini di funzionalità,

velocità, consumi, complessità, ecc.

In particolare, il protocollo che in questo momento rappresenta il compromesso più interessante nell'ambito dello sviluppo di soluzioni embedded è senza dubbio lo ZigBee (al quale abbiamo dedicato un corso nei fascicoli tra il 133 e il 136, cui rimandiamo per gli approfondimenti); quest'ultimo opera nelle frequenze radio assegnate per scopi industriali, scientifici e medici (ISM), distribuite nelle bande intorno ad 868 MHz in Europa, 915 MHz negli Stati Uniti e 2,4 GHz nella maggior parte del resto del mondo. Nel 2005 il costo stimato per il ricetrasmittitore di un nodo ZigBee era di circa 1,10 \$ per il produttore, contando grossi volumi. La maggior parte dei dispositivi ZigBee richiede però anche un microcontrollore, che fa alzare il costo totale. Per fare un confronto, sappiate che quando fu lanciato (nel 1998) il Bluetooth, per esso si prevedeva un costo di 4÷6 \$ per grandi volumi, mentre il prezzo attuale per la fascia consumer è oggi sotto i 3 dollari U.S.A.

I protocolli ZigBee sono progettati per l'uso in applicazioni embedded che richiedano un basso transfer-rate e bassi consumi. L'obiettivo attuale dello ZigBee è di definire una "wireless mesh network" economica e autogestita che possa essere utilizzata per scopi quali il controllo industriale, le reti di sensori, domotica, telecomunicazioni, ecc. La rete risultante avrà un consumo energetico talmente basso da poter funzionare per uno o due anni sfruttando la batteria incorporata nei singoli nodi. Ci sono tre differenti tipi di nodo ZigBee:

- **Coordinator (ZC):** è il dispositivo più "intelligente" tra quelli disponibili, costituisce la radice di una rete ZigBee e può operare da ponte tra più reti; ce ne può essere uno solo in ogni rete ed è in grado di memorizzare informazioni riguardo alla sua rete ed inoltre può agire come deposito per le chiavi di sicurezza;
- **Router (ZR):** questi dispositivi agiscono come router intermedi, passando i dati da e verso altri dispositivi;
- **End Device (ZED):** includono solo le funzionalità minime per dialogare con il suo nodo parente (Coordinator o Router), non possono trasmettere dati provenienti da altri dispositivi; sono i nodi che richiedono il minor quantitativo di memoria e quindi

risultano spesso più economici rispetto ai ZR o ai ZC.

I moduli ZigBee più diffusi sono senza dubbio gli Xbee, prodotti dalla società statunitense Digi. Tali moduli contengono al loro interno un transceiver in grado di operare sulle frequenze stabilite dal protocollo, con una potenza che a seconda dei modelli varia da 1 a circa 60 mW, un'antenna integrata o un connettore per antenne esterne ed un microcontrollore. I moduli Xbee possono essere collegati ad altri dispositivi embedded, tipicamente all'interno di una scheda a microcontrollore, tramite un'interfaccia UART CMOS con livelli a 3,3 V. Tali moduli possono inoltre agire come veri e propri sensori/attuatori remoti indipendenti grazie al fatto che le funzionalità di gestione degli I/O on-board sono pilotabili tramite comunicazione wireless. Questi I/O permettono ad esempio di rilevare lo stato di ingressi analogici o digitali, pilotare uscite digitali e addirittura generare segnali modulati tramite PWM, particolarmente utili ai fini del controllo di sistemi di potenza.

I moduli Xbee prevedono due modalità di comunicazione seriale con il sistema host (ossia tipicamente con il microcontrollore che fa capo alla scheda che li ospita): una detta "trasparente" ed una modalità "API".

Utilizzando la prima, due moduli possono essere messi in comunicazione diretta in modo tale che il contenuto del buffer di ingresso di un modulo si rifletta automaticamente nel buffer di uscita dell'altro, e viceversa. Il canale di comunicazione così inizializzato consente quindi di "remotizzare" una qualsiasi comunicazione seriale (con livelli a 3,3 V) semplicemente inserendo tra i due interlocutori due moduli wireless. Per far sì che un host possa interagire con il modulo locale sfruttando la medesima interfaccia seriale utilizzata per la trasmissione remota, viene sfruttata una particolare sequenza di caratteri (per impostazione predefinita sono "+++") che, eseguita entro un tempo limite, mette il modulo in modalità "comando". In questo stato è ad esempio possibile eseguire comandi AT di servizio, quali quelli che riguardano le funzionalità "mesh", come il discovery di altri nodi della stessa rete nei paraggi.

La modalità API consente invece di imple-

mentare una comunicazione a pacchetti in cui ciascun pacchetto sia descritto da una ben precisa struttura a frame specifica del tipo di operazione che si vuole compiere. Sebbene sia più complessa da gestire da parte di un'applicazione embedded, tale modalità consente un margine di flessibilità di gran lunga superiore a quello disponibile in modalità trasparente. Inoltre, alcune funzionalità interessanti, come la remotizzazione degli I/O, sono disponibili solamente in modalità API.

L'utilizzo dei moduli Xbee in modalità API all'interno di un firmware sviluppato con .NET Micro Framework è reso particolarmente semplice dalla libreria open-source "MFToolkit", disponibile all'indirizzo <http://mftoolkit.codeplex.com>.

Vediamo un esempio di applicazione divisa in due parti: un'applicazione console in esecuzione all'interno di un PC ed un firmware per la scheda di sviluppo TahoeII della DeviceSolutions, già utilizzata in precedenza. Per poter eseguire il demo completo, avremo bisogno di due moduli Xbee configurati con la stessa versione di firmware (ZIGBEE API per moduli di tipo XB24-ZB) in modo tale da appartenere alla stessa sottorete (PAN, nel gergo ZigBee). La Fig. 2 mostra la configurazione circuitale usata per questi test. La configurazione dei

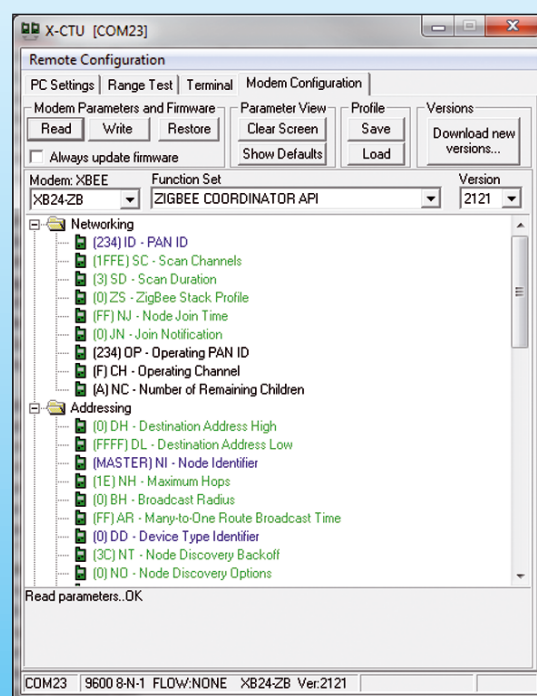


Fig. 3

moduli Xbee avviene per tramite di un tool denominato X-CTU; nella Fig. 3 è illustrata un'immagine di questo strumento relativa alla configurazione del dispositivo "coordinator". Nell'esempio in questione, utilizzeremo come modulo Xbee "coordinator" quello collegato al PC, mentre configureremo quello installato sulla scheda di sviluppo TahoeII come "router/end-device". Per collegare il modulo Xbee ad un PC è necessario utilizzare un'apposita daughter-board, che tipicamente incapsula un chip FTDI, Prolific o SiLabs per realizzare funzionalità USB-UART-Bridge.

Vale la pena di sottolineare, infine, che il sorgente della libreria per la gestione della comunicazione con i moduli Xbee in modalità API è condivisa tra i due progetti rispettivamente destinati al .NET Micro Framework e al .NET Framework "senior".

Il sorgente relativo al Main() dell'applicazione desktop è riportato nel **frammento di codice visibile nel Listato 2**; nel metodo viene semplicemente avviato un thread di background che ha come unico scopo quello di eseguire il metodo "RunMasterModule".

Il metodo eseguito dal thread si occupa dell'inizializzazione del modulo (collegato alla porta seriale COM23 del PC nel nostro

esempio) e dell'esecuzione di un comando di tipo "Node Discovery", il cui scopo è quello di effettuare la ricerca, all'interno di uno spazio delimitato dalla portata del ricetrasmittente, di altri nodi iscritti alla propria PAN (nel nostro caso il PAN ID è 234). Il sorgente del metodo in questione è riportato nel **Listato 3**. Ogni comunicazione che il modulo Xbee effettua nei confronti dell'host viene gestita da un evento denominato "FrameReceived". All'interno del gestore di evento è possibile eseguire tutte le operazioni di decodifica necessarie, come ad esempio quelle relative all'individuazione dell'identificativo della richiesta cui la risposta si riferisce o al riconoscimento del tipo di risposta ricevuta. Nel nostro esempio gestiamo tre tipi di risposta: la prima è quella relativa alla scoperta di nodi all'interno della stessa PAN (per la quale il modulo ci invia più istanze, una per ciascun nodo), la seconda è quella relativa all'esito di una trasmissione (rappresentata dalla stringa "Hello") che il demo effettua nei confronti di un ben preciso nodo (identificato dal nome

"SLAVE", secondo quanto previsto dal parametro di configurazione "NI" stabilito dal protocollo) e la terza riguarda la comunicazione effettuata da parte del firmware in esecuzione sulla scheda TahoeII, come verrà illustrato a breve. Il codice relativo al gestore di evento in questione è riportato nel **Listato 4**. L'interfaccia utente dell'applicazione in esecuzione sul PC è quella visibile nella Fig. 4. Il codice relativo alla parte embedded della soluzione descritta (si veda il frammento di codice contenuto nel **Listato 5**) è ovviamente molto simile

Listato 2

```
1: class Program
2: {
3:     static void Main(string[] args)
4:     {
5:         // Lancio un thread che gestisca il modulo Xbee
6:         Thread thd1 = new Thread(new ThreadStart(RunMasterModule));
7:         thd1.IsBackground = true;
8:         thd1.Start();
9:
10:        // Con il thread principale resto in attesa...
11:        Console.ReadLine();
12:    }
13:
14:    // ...
15: }
```

Listato 3

```
1: static void RunMasterModule()
2: {
3:     using (XBee xbee = new XBee("COM23", 9600, ApiType.Enabled))
4:     {
5:         xbee.FrameReceived += new FrameReceivedEventHandler(xbee_
6:             FrameReceived);
7:         xbee.Open();
8:
9:         // esecuzione del comando "Node Discovery"
10:        AtCommand at = new NodeDiscoverCommand();
11:        xbee.Execute(at);
12:
13:        // lascio attivo il modulo Xbee solo 10 secondi
14:        Thread.Sleep(10 * 1000);
15:
16:        // ...poi lo spengo
17:        xbee.StopReceiveData();
18:        Console.WriteLine("stopped master");
19:    }
20: }
```


Listato 4

```

1: static void xbee_FrameReceived(object sender, FrameReceivedEventArgs e)
2: {
3:     Console.WriteLine("Ricevuta la seguente risposta: " + e.Response);
4:
5:     // La risposta riguarda il comando di Node Discovery?
6:     if (e.Response is AtCommandResponse &&
7:         (e.Response as AtCommandResponse).Command == new NodeDiscoverCommand().Command)
8:     {
9:         // interpreto il pacchetto ricevuto (ne arriva uno per nodo)
10:        NodeDiscover nd = NodeDiscover.Parse((e.Response as AtCommandResponse));
11:
12:        // Se il nodo rilevato si chiama "SLAVE"...
13:        if (nd != null && nd.ShortAddress != null)
14:        {
15:            Console.WriteLine(nd);
16:
17:            if (nd.NodeIdentifier == "SLAVE")
18:            {
19:                Console.WriteLine("Mando la stringa \"Hello\" a SLAVE...");
20:                (sender as XBee).ExecuteNonQuery(
21:                    new ZNetTxRequest(nd.SerialNumber, nd.ShortAddress, Encoding.ASCII.GetBytes("Hello")));
22:            }
23:        }
24:    }
25:
26:    // La risposta riguarda l'esito della trasmissione di "Hello"?
27:    if (e.Response is ZNetTxStatusResponse)
28:    {
29:        Console.WriteLine((e.Response as ZNetTxStatusResponse).DeliveryStatus.ToString());
30:    }
31:
32:    // La risposta riguarda una trasmissione da parte di un altro nodo?
33:    if (e.Response is ZNetRxResponse)
34:    {
35:        Console.WriteLine("Ho ricevuto la stringa: ");
36:        Console.WriteLine(Encoding.ASCII.GetString((e.Response as ZNetRxResponse).Value));
37:    }
38:
39: }

```

a quello appena visto, ad eccezione del fatto che il nodo "SLAVE" di fatto non effettua alcuna operazione di "discovery", limitandosi a rispondere con la stringa "Hello by MF" a ciascun nodo che invii un qualche tipo di comunicazione.

In questo caso, l'unico output dell'applicazione è visibile solo eseguendo la stessa in modalità di debug all'interno dell'ambiente di sviluppo, come illustrato nella Fig. 5.

UTILIZZO DI MODULI GPS/GSM

Una delle funzionalità sicuramente più interessanti nell'ambito dello sviluppo di soluzione embedded, riguarda la possibilità da parte di un dispositivo di utilizzare un modulo GPS per conoscere la propria posizione geografica, particolarmente utile in applicazioni fruibili

"in mobilità". Tale famiglia di applicazioni beneficia spesso della possibilità di effettuare comunicazioni remote tramite la rete GSM/GPRS/UMTS, finalizzate alla fruizione di servizi di rete che richiedono un collegamento ad Internet.

Sul mercato è possibile reperire molti tipi di

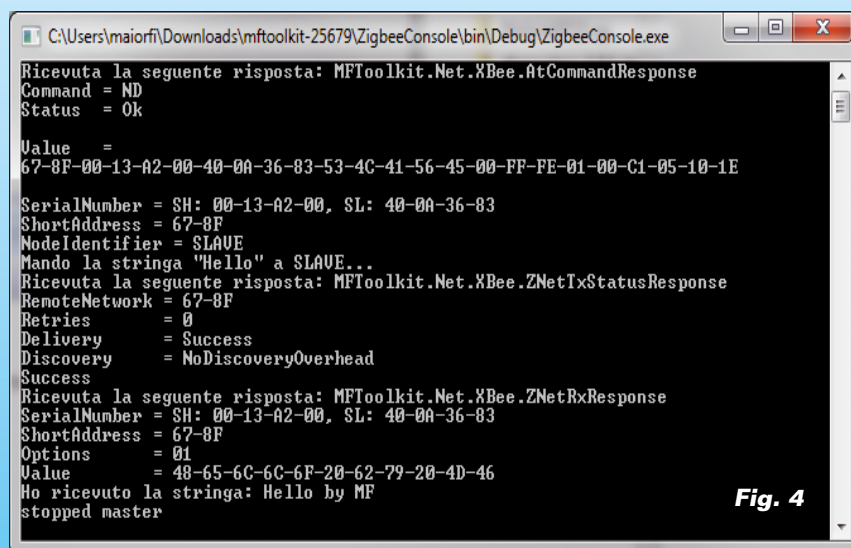


Fig. 4

Listato 5

```

1: public class Program
2: {
3:     public static void Main()
4:     {
5:         using (XBee xbee = new XBee("COM2", 9600, ApiType.Enabled))
6:         {
7:             xbee.FrameReceived += new FrameReceivedEventHandler(xbee_OnPacketReceived);
8:             xbee.Open();
9:
10:            // Attivo il modulo Xbee solo per 60 secondi
11:            Thread.Sleep(10 * 60 * 1000);
12:
13:            xbee.StopReceiveData();
14:        }
15:    }
16:
17:    static void xbee_OnPacketReceived(object sender, FrameReceivedEventArgs e)
18:    {
19:        XBeeResponse response = e.Response;
20:
21:        // Debug risposta arrivata
22:        Debug.Print(response.ToString());
23:
24:        // La risposta riguarda una trasmissione da parte di un altro nodo?
25:        if (e.Response is ZNetRxResponse)
26:        {
27:            Debug.Print("Received : " +
28:                new string(System.Text.Encoding.UTF8.GetChars((e.Response as ZNetRxResponse).Value)));
29:
30:            // Rispondo al nodo chiamante con "Hello by MF"
31:            (sender as XBee).ExecuteNonQuery(
32:                new ZNetTxRequest(
33:                    (e.Response as ZNetRxResponse).SerialNumber,
34:                    (e.Response as ZNetRxResponse).ShortAddress,
35:                    Encoding.UTF8.GetBytes("Hello by MF")));
36:        }
37:    }
38: }

```

ricevitori GPS, quasi sempre basati su chipset SiRF, così come molto varia è anche l'offerta di moduli GSM/GPRS. Una buona soluzione è rappresentata da moduli che integrano entrambe le funzionalità, come ad esempio il Telit GM862-GPS, utilizzato in numerosi progetti per la sua grande programmabilità. Il modulo in questione incorpora infatti al proprio interno un microcontrollore che implementa funzionalità complesse quali l'esecuzione di applicazioni scritte in Python, un linguaggio di alto livello molto utilizzato nelle comunità degli sviluppatori di tutto il mondo, e la gestione di un vero e proprio stack di rete TCP/IP, con il quale il modulo permette al proprio host di essere collegato ad Internet via GPRS. L'interfaccia di comunicazione tra scheda a

microcontrollore host e modulo GSM/GPS è seriale ed in particolare basata su comandi "AT", secondo quanto previsto dallo standard Hayes del 1977.

Per utilizzare tale interfaccia all'interno di un'applicazione sviluppata con il .NET Micro Framework, è pertanto sufficiente allestire una comunicazione seriale asincrona ed utilizzare il set dei comandi riconosciuti dal

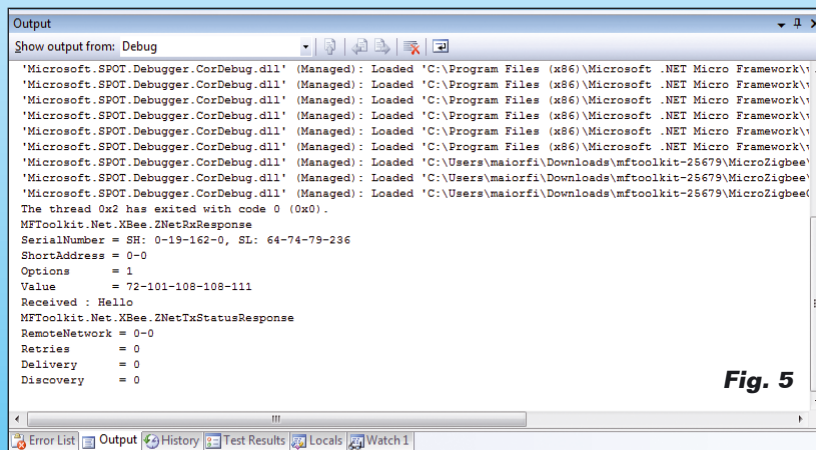


Fig. 5

modulo. Per i nostri esempi abbiamo utilizzato il modulo in questione in una configurazione hardware che prevede una daughter board, prodotta dalla Sparkfun, la quale, oltre a disporre di un connettore con pin a passo 0,1" per collegarvi il modulo, si occupa di alimentare quest'ultimo e gestire i due LED di diagnostica (si veda la **Fig. 6**).

Il dispositivo prevede inoltre due connettori coassiali MMCX per l'utilizzo di due antenne esterne distinte per i due sotto-moduli GPS e GSM/GPRS. Da un punto di vista software, lo sviluppo viene enormemente semplificato dalla disponibilità di una libreria open-source denominata "MicroGM862", inclusa recentemente, come per la libreria per la gestione dei moduli Xbee, all'interno del progetto MFToolkit, disponibile come già detto sul sito Codeplex all'indirizzo <http://mftoolkit.codeplex.com>. La libreria mette a disposizione una classe denominata GM862GPS, che espone tutte le funzionalità relative alla registrazione all'interno della rete GSM e GPRS, alla gestione degli SMS e del GPS, fino alla gestione dello stack di rete, con il quale è ad esempio possibile effettuare richieste HTTP via GPRS.

L'inizializzazione dell'oggetto GM862GPS avviene tramite un costruttore che prevede il passaggio di un'istanza della classe AT_Interface, anch'essa definita all'interno della libreria, responsabile della gestione della comunicazione seriale con l'host, come illustrato nella seguente riga di codice:

```
GM862GPS GM862 = new GM862GPS(new AT_Interface("COM1", 115200));
```

Una volta creato l'oggetto "driver", è possibile effettuare le operazioni di registrazione all'interno della rete GSM e GPRS come illustrato nel frammento di codice contenuto nel **Listato 6**. Analogamente, è possibile inizializzare il modulo per la gestione dei sotto-sistemi relativi rispettivamente a SMS e GPS, mediante il frammento di codice contenuto nel **Listato 7**. Una volta completata la procedura di inizializzazione, eventualmente preceduta da un reset hardware del modulo attivabile mediante l'utilizzo di un'apposita OutputPort collegata al pin "RESET" del modulo, è possibile accedere alle funzionalità di alto livello relative ai vari sotto-sistemi, il più semplice dei quali è senza dubbio quello

Listato 6

```
1: // Selezione banda GSM-DCS
2: if (!GM862.GSM.SelectNetworkBand _
   (GSM.NetworkBands GSM900_DCS1800))
3: throw new Exception("Selezione banda fallita!");
4:
5: // Sottoscrizione evento OnPinRequest
6: GM862.GSM.OnPinRequest = new _
   GSM.PinRequestHandler(delegate(String PINType)
7: {
8:     if (PINType == "SIM PIN")
9:         return "0000";
10:
11:     if (PINType == "SIM PUK")
12:         return "05969374, 0000";
13:
14: throw new Exception("Richiesta PIN sconosciuta");
15: });
16:
17: // Sottoscrizione evento ricezione chiamata
18: GM862.GSM.OnReceivingCall = new _
   GSM.ReceivingCallHandler(delegate()
19: {
20:     Debug.Print("Driiiii!");
21:     Thread.Sleep(500);
22: });
23:
24: // Roaming GSM
25: GM862.GSM.AllowRoaming = true;
26:
27: // Inizializzazione GSM
28: GM862.GSM.Initialize();
29:
30: // Roaming GPRS
31: GM862.GPRS.AllowRoaming = true;
32:
33: // Inizializzazione GPRS
34: GM862.GPRS.Initialize();
```

relativo al GPS, utilizzabile mediante il codice scritto nel **Listato 8**, che illustra come estrarre il dato relativo rispettivamente a qualità del rilevamento GPS, numero di satelliti visibili,

Listato 7

```
1: // Inizializzazione text messaging
2: GM862.TextMessaging.Initialize();
3:
4: // Inizializzazione GPS
5: GM862.GPS.Initialize();
```

Listato 8

```
1: // Parametri GPS
2: byte gpsFix;
3: byte gpsNoSat;
4: double gpsLat;
5: double gpsLon;
6: double gpsSpeed;
7: DateTime gpsDateTime;
8:
9: GM862.GPS.ReadGPSData(out gpsFix, out gpsNoSat,
   out gpsLat, out gpsLon, out gpsSpeed, out gpsDate
   Time);
10: Debug.Print((gpsFix > 0) ? "GPS FIX OK" : "NO GPS FIX");
```


Listato 9

```

1: GM862.TextMessaging.OnRecievedTextMessage =
2:     new TextMessaging.RecievedTextMessageHandler(delegate(String Memory, int Location)
3: {
4:     TextMessaging.TextMessage TextMessage;
5:
6:     Debug.Print("SMS ricevuto!");
7:
8:     // Lettura contenuto messaggio
9:     if (GM862.TextMessaging.ReadTextMessage(Memory, Location, out TextMessage))
10:    {
11:        Debug.Print("Da: " + TextMessage.Originator);
12:        Debug.Print("Messaggio: " + TextMessage.Message);
13:
14:        if (Memory.IndexOf("SM") != -1)
15:            Debug.Print("Eliminazione messaggio: " +
16:                (GM862.TextMessaging.DeleteMessage("SM", TextMessage.Location) ? "OK" : "ERROR"));
17:
18:        Debug.Print("Rispondo...");
19:        GM862.TextMessaging.SendTextMessage(TextMessage.Originator, "Roger");
20:
21:    }
22:
23: })

```

latitudine, longitudine, velocità e data/ora del rilevamento (in formato UTC).

Un po' più complessa, ma non di molto, è la gestione degli SMS. Le funzionalità principali esposte dalla libreria consentono di enumerare i messaggi contenuti nella SIM o nella memoria del modulo, leggere il contenuto

di un messaggio, eliminare un messaggio, inviare un nuovo messaggio e ricevere una notifica a seguito della ricezione di un nuovo messaggio.

Nel frammento di codice contenuto nel **Listato 9**, ad esempio, viene registrato un gestore di evento relativo alla ricezione di un nuovo

Listato 10

```

1: // Rimaniamo in attesa della disponibilità della rete GSM/GPRS
2: while (true)
3: {
4:     if (!GM862.GSM.RegistratedOnGSMNetwork()) continue;
5:     if (!GM862.GPRS.RegistratedOnGPRSNetwork()) continue;
6:     break;
7: }
8:
9: Debug.Print("GSM/GPRS pronti");
10:
11: // Configurazione parametri accesso GPRS
12: if (!GM862.GPRS.SetContextConfiguration(1, "web.omnitel.it", "", "", "0.0.0.0"))
13:     throw new Exception("Configurazione GPRS fallita");
14:
15: // Attivazione del ptimo contesto GPRS
16: if (!GM862.GPRS.ActivateContext(1))
17:     throw new Exception("Attivazione GPRS fallita");
18:
19: // Configurazione socket
20: if (!GM862.GPRS.SetSocketConfig(1, 1, 0, 90, 600, 50))
21:     throw new Exception("Configurazione socket fallita (1/2)");
22:
23: if (!GM862.GPRS.SetSocketExtendedConfig(1, 0, 0, 0))
24:     throw new Exception("Configurazione socket fallita (2/2)");
25:
26: if (GM862.Networking.WebRequest(1, "http://search.twitter.com/trends/weekly.json",
27:     String.Empty, out response, "GET", String.Empty, String.Empty))
28: {
29:     Debug.Print(new string(System.Text.Encoding.UTF8.GetChars(response)));
30: }
31: else
32: {
33:     Debug.Print("Chiamata HTTP fallita");
34: }

```

SMS; tale gestore si occupa dapprima della lettura del messaggio (righe 9÷12) e successivamente elimina il messaggio ricevuto (se presente nella memoria di tipo "SM", ossia nella SIM, unica possibilità prevista nell'attuale versione del firmware). Una volta eliminato il messaggio, viene poi composto ed inviato (a riga 19) un nuovo messaggio di risposta al mittente.

L'ultimo esempio che prendiamo in esame si riferisce invece all'esplorazione delle possibilità relative al networking, ed in particolare del supporto al protocollo HTTP che consente ad un'applicazione host di utilizzare il modulo GM862GPS per effettuare una richiesta web via Internet. Nel caso illustrato di seguito, una volta verificata l'avvenuta registrazione alla rete GSM e GPRS (righe 4-5) ed impostati i parametri di configurazione relativi all'accesso GPRS (riga 12) e allo stack di rete (righe 20÷24), l'applicazione effettua una chiamata HTTP di tipo GET verso il servizio API del noto portale di social networking Twitter; lo scopo della chiamata è, nel nostro caso, rileva-

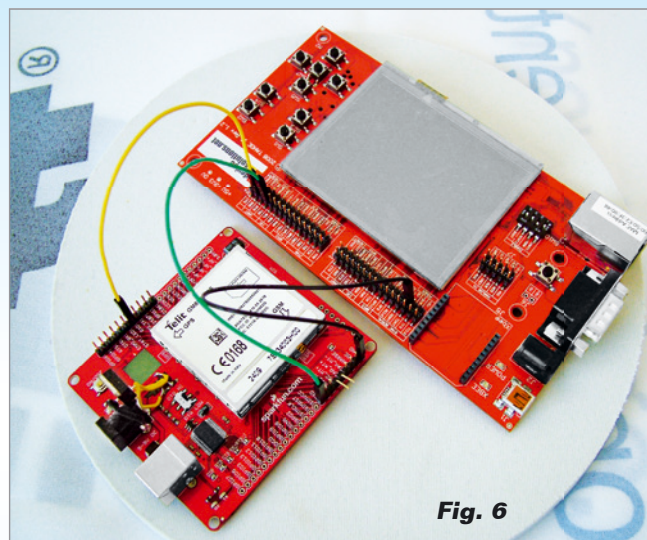


Fig. 6

re le "tendenze" della settimana, riportando, all'interno della finestra di debug dell'ambiente di sviluppo, la risposta ottenuta.

Le istruzioni relative a quest'ultimo esempio sono riportate nel frammento di codice visibile nel **Listato 10**.



Combinatore telefonico GSM

... Mai più spiacevoli sorprese!



cod. FR425

€ 139,00

Dedicato al settore della sicurezza e dell'automazione a distanza, dispone di 4 ingressi d'allarme (con messaggi personalizzabili) e di 4 uscite programmabili con toni DTMF, chiamata telefonica (menu vocale guidato) e comandi SMS. Le uscite possono essere associate ad eventi di allarme, oppure essere gestite da remoto per controllare apparecchi elettrici di vario genere. Possibilità di memorizzare 8 numeri telefonici per l'invio di avvisi d'allarme tramite chiamata vocale, SMS o entrambi. Alimentazione batteria 12 ÷ 14,5Vdc/250mA. SIM e batteria non inclusi.

Batteria di alimentazione consigliata NP08-12 - € 19,50



Completo di contenitore

FUTURA ELETTRONICA

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

Maggiori informazioni e caratteristiche tecniche sono disponibili sul sito www.futurashop.it tramite il quale è anche possibile effettuare acquisti on-line.

Tutti i prezzi si intendono IVA inclusa.

WINDBELT IL MICROEOLICO A BASSO COSTO

Un generatore eolico innovativo ed economico che non utilizza pale, ma sfrutta le vibrazioni aeroelastiche di un nastro teso al vento.

di ALESSIO FUSARO

Fin dall'antichità l'uomo ha capito l'importanza del vento per la propria esistenza, tant'è vero che per secoli lo ha considerato una delle divinità (nella mitologia greca, Eolo era il dio del vento). I concetti di sostenibilità e di energia rinnovabile erano ancora sconosciuti, ma l'energia del vento ha accompagnato lo sviluppo dell'umanità, dapprima nella propulsione (dalle barche ai velieri), poi nella produzione di energia meccanica utile a pompare acqua o macinare granaglie, nei mulini a vento. Con l'avvento del motore a vapore

e dell'industrializzazione, l'energia eolica fu quasi abbandonata, sostanzialmente perché non consentiva (come non consente oggi) quella continuità offerta da un combustibile materialmente disponibile con costanza. Negli ultimi due secoli le società del mondo civilizzato si sono affidate principalmente alle fonti di energia fossile e, solo da pochi anni, dopo aver avvelenato l'aria, in esse è stato rivalutato l'utilizzo delle energie rinnovabili e non inquinanti: il vento è una di queste. Quando pensiamo ai generatori eolici vengono in mente grandi

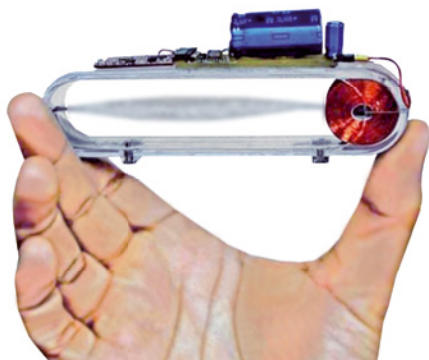
turbine malviste da molti come i mulini a vento da Don Chisciotte; infatti il metodo tradizionale per ricavare energia dal vento prevede l'utilizzo di grandi rotor (montati su piloni) le cui pale, ruotando, azionano un generatore di elettricità. Questi aerogeneratori si stagliano nel cielo e sono molto visibili, cosa che infastidisce gli abitanti di zone ampiamente verdeggianti e chi li ritiene "brutti".

Il Windbelt che qui descriviamo è il primo aerogeneratore che non si basa su un rotore, ma che riesce comunque a trasformare in elettricità l'energia eolica: esso, infatti, non si serve di pale rotanti, ma sfrutta un fenomeno aerodinamico chiamato "aeroelastic flutter" (vibrazione aeroelastica).

La vibrazione aeroelastica è un fenomeno derivante dall'interazione reciproca tra una struttura solida elastica e il flusso d'aria. In sostanza, quando un oggetto con caratteristiche elastiche viene investito da un flusso d'aria, si deforma in vari modi e può entrare in vibrazione.

Il fenomeno dell'aeroelasticità è tristemente conosciuto per la sua forza distruttiva, che fece crollare il Tacoma Narrows (un ponte sospeso in acciaio e cemento armato) nel 1940, dopo soli 4 mesi dalla costruzione.

Un tipico Micro Windbelt: sta in una mano.



Medium Windbelt

Windbelt è un'invenzione del giovane californiano Shawn Frayne, vincitore del "Breakthrough Awards 2007", della rivista "Popular Mechanics". Generatori eolici che appartengono a questa categoria non si trovano ancora in commercio, tuttavia l'azienda Humdinger, fondata da S. Frayne, sta sperimentando ipotetiche applicazioni, mediante prototipi di Windbelt funzionanti in diverse installazioni.

S. Frayne ha pensato di sfruttare le vibrazioni aeroelastiche per produrre energia, sviluppando una tecnologia eolica che costa dieci volte meno del microeolico tradizionale ed è dichiarata da 10 a 30 volte più efficiente delle microturbine: infatti il generatore Windbelt ha un costo stimato iniziale di 2 \$ per W prodotto.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

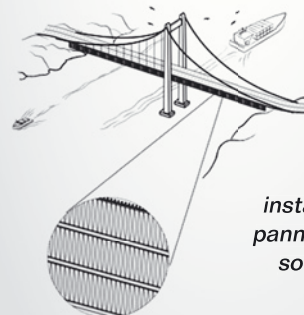
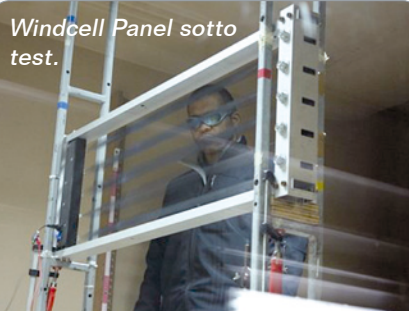
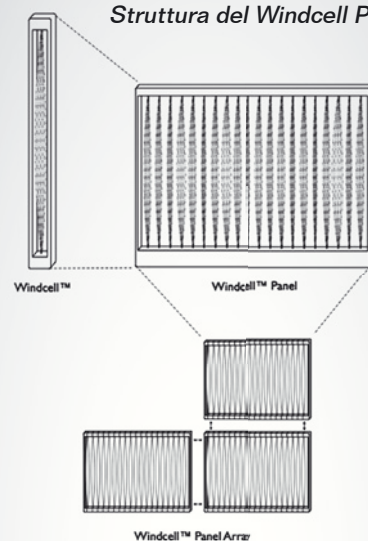
Il Windbelt è costituito da un nastro in tensione che, quando è investito dal vento, inizia a vibrare come una corda o sventolare come una bandiera; in prossimità di un'estremità è posizionato un magnete in neodimio, che, solidale al nastro, inizia a muoversi. Nelle immediate vicinanze del magnete è presente una bobina realizzata da filo in rame smaltato. Il movimento del magnete crea una variazione del campo magnetico all'interno della bobina, la quale per induzione elettromagnetica genera una tensione elettrica alternata.

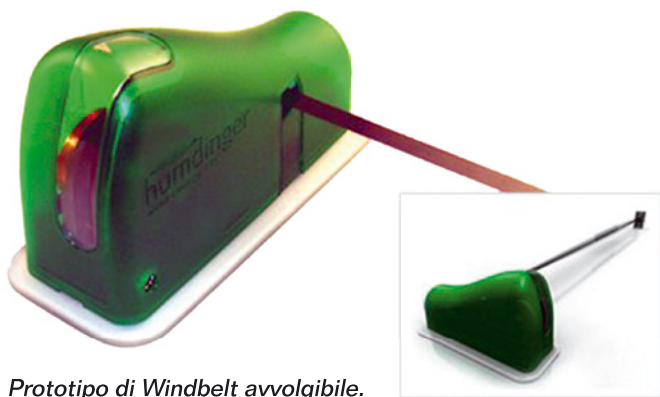
Esistono le seguenti tre tipologie dimensionali di Windbelt.

MICRO WINDBELT

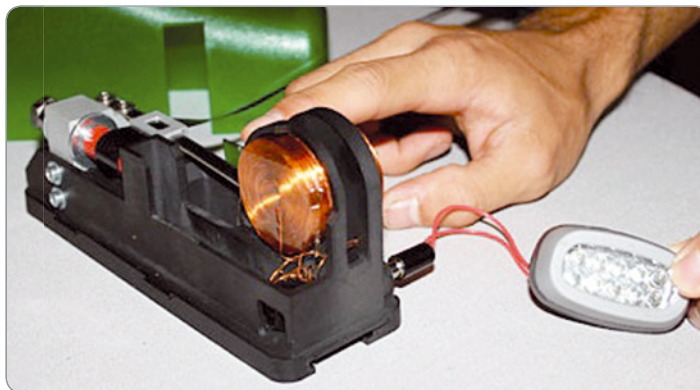
In grado di generare una decina di milliwatt, utile per alimentare sensori senza fili in zone ventilate; è una soluzione per energy-harvesting ed ha una stima di

Struttura del Windcell Panel.





Prototipo di Windbelt avvolgibile.



vita utile di 20 anni, nella quale permette di risparmiare l'uso di centinaia di pile.

MEDIUM WINDBELT

Lungo circa un metro, è pensato per alimentare ripetitori Wi-Fi e piccoli carichi elettrici.

LARGE WINDBELT

Chiamato anche Windcell Panel, è un pannello all'interno del quale sono alloggiati diversi Windbelt. Le possibili applicazioni sono installazioni sotto i ponti sospesi, nei viadotti, sopra gli edifici o come recinzione di un terrazzo, per poter produrre energia elettrica sfruttando elementi architettonici già esistenti.

Alla Humdinger (proprietaria dei brevetti per il Windbelt) non manca certo l'immaginazione e nel corso degli anni sono state studiate altre versioni di generatori Windbelt realizzate con differenti design: ad esempio il Windbelt "avvolgibile", la cui

forma assomiglia vagamente ad un dispenser di nastro adesivo: è un generatore eolico portatile in cui la base funge da appoggio e il nastro si srotola fissandolo a qualche appiglio; appena il vento soffia si può accendere una luce, ricaricare il cellulare o alimentare una radio.

Oltre a questo, è stato realizzato il cosiddetto "Windbelt lungo", che fondamentalmente è una versione del Windbelt con il nastro lungo anche più di 3 metri. Ne esiste un'installazione in Guatemala, dove su un palo sono collegati dodici nastri-Windbelt ancorati a terra. Altre installazioni sono in Ecuador. Un'altra applicazione della tecnica è nel Windbelt pieghevole, presentato alla fine del 2009. Diversi modelli di Windbelt sono stati costruiti in molte scuole di tutto il mondo con i materiali più disparati, da strutture in plexiglass (Hong Kong), in legno (Burkina Faso), fino ai tubi di PVC tagliati (Haiti).

Dalle prime ricerche del 2004 alla fondazione della Humdinger, nel 2007, sono stati messi a punto diversi prototipi con differenti fogge e design.

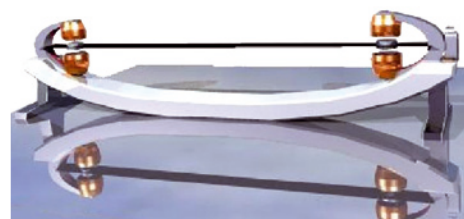
Ma ad oggi vengono prodotti in quantità limitata solo microbelt e Windbelt da 1 metro di lunghezza, nonché un kit didattico. Le ricerche della Humdinger Wind Energy LLC e Humdinger

Wind Energy (HK) Ltd. sono focalizzate sulla ricerca e lo sviluppo della tecnologia Windbelt. Per questo motivo la Humdinger renderà disponibile la tecnologia Windbelt principalmente attraverso contratti di licenza e accordi con partner industriali. La Humdinger produce un numero limitato di Micro e il Windbelt individuale lungo un metro, valutando la fornitura caso per caso. Produce anche un kit didattico reperibile via internet (<http://www.kidwind.org/xcart/product.php?productid=167&cat=4>) o facendone richiesta via e-mail direttamente alla Humdinger.

Shawn Frayne con uno dei primi prototipi presentati di Windbelt.



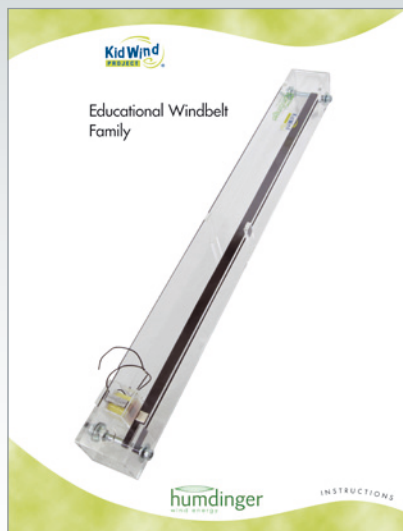
Windbelt a due magneti.



Collapsible Windcell™
wind energy on-the-go



Il Windbelt pieghevole.



COME FUNZIONA

Il "motore" del Windbelt è il trasduttore elettromagnetico che trasforma la vibrazione della membrana in energia elettrica. Questo fenomeno si basa sul principio fisico dell'induzione elettromagnetica (legge di Faraday) secondo cui la variazione di un flusso magnetico all'interno di un avvolgimento genera una tensione elettrica proporzionale alla variazione del flusso magnetico nel tempo. Siccome un magnete permanente genera attorno a sé un campo magnetico costante ed un flusso altrettanto stabile, se gli poniamo nelle immediate vicinanze un avvolgimento elettrico e muoviamo il magnete, per induzione si genererà una tensione elettrica nell'avvolgimento stesso. Aumentando il numero di spire aumenterà la tensione prodotta a parità di movimento del magnete.

Nel Windbelt il magnete è solidale con il nastro e quando il vento fa vibrare o torcere il nastro, anche il magnete inizia a muoversi. Mettendo delle bobine di rame smaltato molto vicine al magnete, esse saranno attraversate dal flusso magnetico di

quest'ultimo; appena il magnete inizierà a muoversi, le linee di flusso si muoveranno con esso e per induzione produrranno una tensione elettrica sulla nostra bobina.

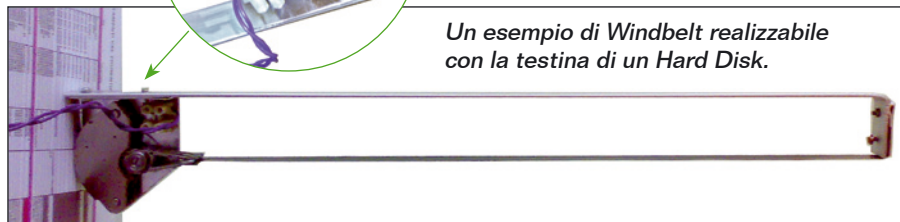
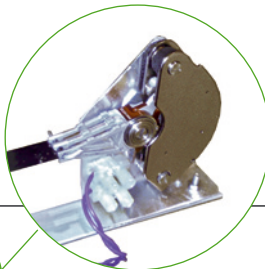
È bene ricordare che, come in ogni generatore, maggiore sarà la corrente richiesta alla bobina, più intensa risulterà la forza necessaria per azionarlo. In sostanza, quando alla bobina sarà applicato un carico elettrico (LED, batteria da ricaricare, radio ecc.) esso avrà un'azione "frenante" sul movimento del magnete e del nastro.

Il gruppo magnete-bobina può essere realizzato come descritto (a magnete mobile) o a bobina mobile; vediamo le due soluzioni.

A BOBINA MOBILE

Il nastro muove la bobina e i magneti sono fermi; questo sistema non è utilizzato dalla Humdinger in quanto il peso della bobina di rame per ottenere una tensione di uscita elevata sarebbe eccessivo. Inoltre il collegamento tra bobina mobile e morsetti si fletterebbe ad ogni movimento del nastro e, a lungo andare, si spezzerebbe. Con gli odierni magneti in neodimio è senz'altro preferibile la soluzione a magnete mobile.

Per chi vuole sperimentare questa soluzione è sufficiente utilizzare la testina di un hard-disk



guasto e fissare il nastro sulla punta della stessa: la tensione in uscita sarà inferiore al volt. Per ottenere tensioni più elevate la testina deve oscillare molto e quindi occorre utilizzare un nastro lungo, poco teso oppure molto elastico; un circuito moltiplicatore di tensione o un *joule thief* possono aiutare ad elevare la tensione elettrica a livelli "utilizzabili". Il cuscinetto non ha protezioni dalla polvere, per cui in breve tempo si "indurisce"; in tal caso bisogna lubrificarlo con dell'olio spray.

A MAGNETE MOBILE

Questa soluzione può essere implementata in diversi modi: nel primo i magneti sono incollati al nastro e nelle immediate vicinanze sono poste una o due bobine di rame smaltato (Fig. 1). Nel secondo, il nastro passa per un'astina elastica, detta *cantilever* (Fig. 2), come si può vedere nella figura che mostra la vista interna del Windbelt avvolgibile; all'estremità dell'asta sono fissati i due magneti e l'asta è posizionata tra le due bobine. Una semplice variante di questa struttura è rappresentata nella Fig. 3 e consente l'utilizzo di una sola bobina posta di fronte all'estremità dell'asta; qui il magnete viene montato verticalmente sull'asta stessa.

Nel terzo modo, il magnete polarizzato diametralmente è incollato al nastro e passa all'interno della bobina (non è una soluzione della Humdinger, ma l'ha sperimentata l'autore di

Un esempio di Windbelt realizzabile con la testina di un Hard Disk.

questo articolo personalmente, con risultati soddisfacenti).

IL NOSTRO PROGETTO

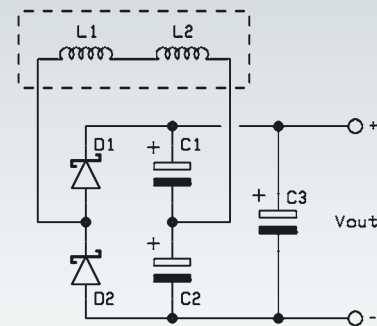
Nell'ambito urbano il vento è un fenomeno piuttosto raro, mentre una lieve brezza è abbastanza frequente e permetterà ad un Windbelt di alimentare il sensore esterno di una stazione barometrica o un piccolo lampioncino a LED. Un generatore eolico convenzionale, installato su un terrazzo di casa, costerebbe molto di più di un Windbelt e probabilmente produrrebbe, in ambito urbano, molta meno energia. È da considerare anche il fatto che un Windbelt dà molto meno nell'occhio di un normale generatore microeolico. Il nastro deve essere leggero, abbastanza elastico e piuttosto resistente alla trazione: il mylar è il materiale ideale. Il nastro di una videocassetta VHS è un economico candidato e, seppur manchi di elasticità, è utilizzabile per realizzare un prototipo. La larghezza del nastro è appena sufficiente, ma con un po' di pazienza si possono affiancare due nastri e incollarli per ottenere una membrana più larga, aumentando la potenza ottenibile dal Windbelt.

Le bobine possono essere avvolte in aria o avere un nucleo ferromagnetico, la cui presenza aumenta di molto l'efficienza, ma rende più costosa e complicata la realizzazione del Windbelt, perché i magneti in neodimio devono essere molto vicini alla bobina e un piccolo errore nella realizzazione o una insufficiente tensione del nastro li farebbe attaccare al nucleo della bobina. Inoltre il nucleo ferromagnetico "frena" i magneti, impedendo il funzionamento del Windbelt con basse velocità del vento. A chi si volesse autocostruire le

bobine suggeriamo di utilizzare un avvitatore o il trapano a bassa velocità; il rocchetto potrà essere stretto tra due bulloni, su di una vite serrata dal mandrino dell'utensile.

Il filo va avvolto teso; essendo difficile tenere il conteggio dei giri conviene, di tanto in tanto, misurare la resistenza elettrica del filo avvolto: superati i 12 ohm (usando filo smaltato da 0,31 mm) sarete sicuri di aver avvolto a sufficienza.

I magneti devono essere potenti e leggeri. La membrana da sola vibra con un alito di vento, ma, se ci attacchiamo un magnete pesante, per farla muovere servirà una corrente d'aria molto più intensa: in pratica vibrerà la membrana e il magnete resterà fermo. La forza del magnete (forza di attrazione) è essenziale per un buon funzionamento del Windbelt; infatti il campo magnetico prodotto deve essere



intenso, per poter agire efficacemente sulle bobine. A parità di movimento del magnete, maggiore è il campo magnetico, più grande è l'energia elettrica sviluppata dalle bobine. Fatte queste considerazioni è chiaro che i classici magneti in ferrite sono troppo pesanti e il campo magnetico da essi prodotto è troppo basso per questa applicazione. I magneti in neodimio sono l'unica soluzione praticabile e peraltro non costano eccessivamente: in internet si trovano a prezzi modici.

Fig. 1 - Posizione dei magneti (10) e delle bobine (1) rispetto al nastro (11) in un Windbelt.

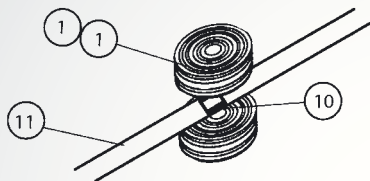


Fig. 2 - Schema interno del Windbelt con cantilever:
1) bobina; 2) nastro vibrante; 10) magnete; 6) cantilever.

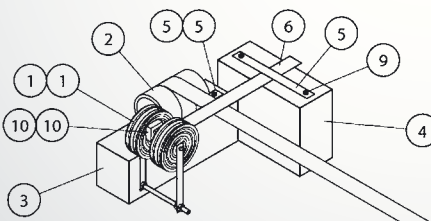
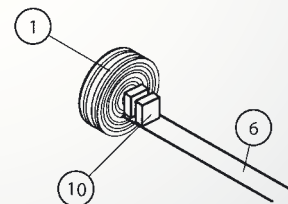
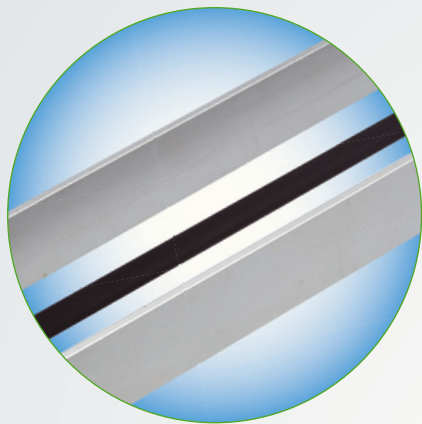


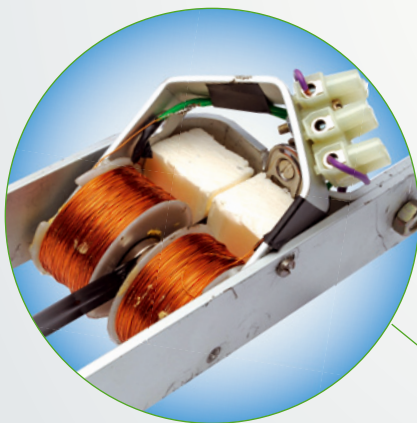
Fig. 3 - Variante del Windbelt dal cantilever:
1) bobina; 10) magnete; 6) cantilever.



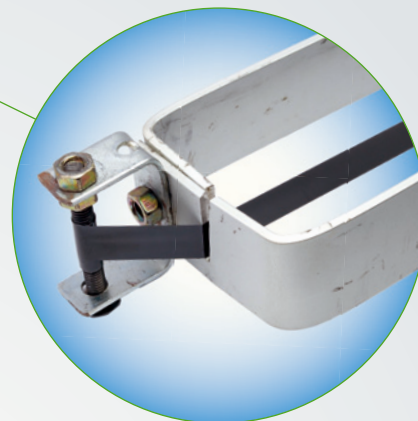
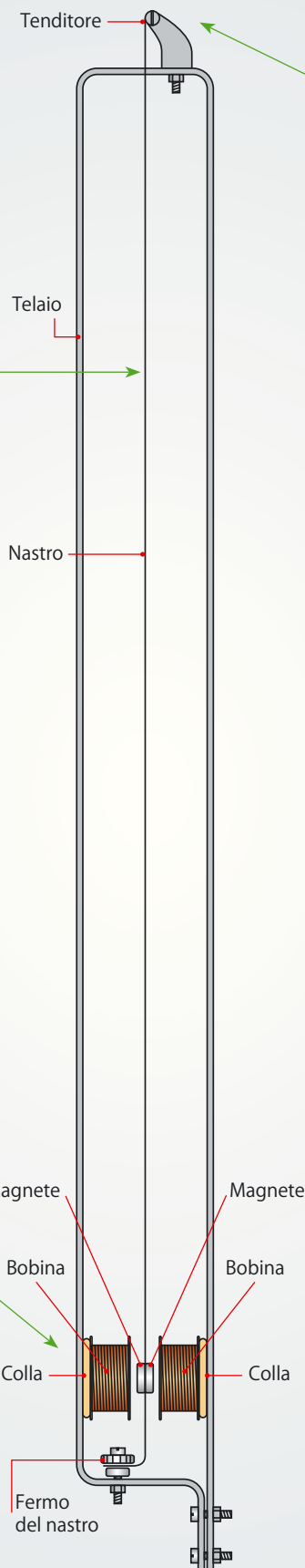
Il nostro Windbelt



Il nastro del nostro prototipo deve essere posizionato possibilmente al centro della struttura nel senso longitudinale; può essere costituito dal nastro magnetico di una videocassetta VHS (eventualmente doppio) oppure da una striscia di tessuto di vario genere, sufficientemente robusto da non rompersi quando viene teso.



Le bobine possono essere avvitate ai lati della struttura con bulloni in plastica o incollate, oppure fissate ad un sostegno ad U avvitato a sua volta sulla struttura. Per limitarne l'escursione alla base, potete fermare il nastro con un pezzo di plastica intagliato, incastrato nel sostegno.



Il tenditore è composto da un bullone, al quale è incollata un'estremità del nastro, passante per una U metallica e che si avvita in una coppia di dadi che formano un sistema dado-controdado capace di impedirne la fuoriuscita; la U è a sua volta avvitata al "frame" del Windbelt. Avvitando il bullone il nastro si allenta, mentre svitandolo si tende. Il sistema è fatto in modo che, siccome dado e controdado sono fermi perché stretti sulla U, il bullone è libero di scorrere.

Il nastro va teso fissandolo da un capo con una piastrina stretta da un bullone e dal capo opposto mediante una vite che consente di tenderlo come si fa con le corde della chitarra. I magneti vanno attaccati in prossimità dell'estremità inferiore del nastro, semplicemente avvicinandoli e lasciando che la forte attrazione reciproca li appiccichi l'uno all'altro; ai loro lati piazzate le due bobine, che collegherete elettricamente in modo che le tensioni generate risultino in fase: immaginando di averle avvolte entrambe nello stesso verso, vi basta collegare la fine di quella di sinistra al capo d'inizio di quella di destra e prendere la corrente dagli estremi rimasti liberi. Per le connessioni ricordate di raschiare lo smalto dalle estremità dei conduttori, che altrimenti resteranno isolati; poi realizzate i collegamenti mediante saldatura o usando delle morsettiere volanti avvitate sul sostegno delle bobine. L'intero Windbelt potrà essere avvitato alla base ad una ringhiera o ad una staffa a muro.

Le dimensioni dei magneti vanno valutate caso per caso in funzione della dimensione del Windbelt.

Per un Windbelt da 80 cm con nastro largo 1,5 cm, due magneti da 1,5 cm di diametro e 2 mm di spessore vanno bene; aumentando le dimensioni del nastro è possibile utilizzare magneti più grandi e più potenti (e pesanti). Quando due magneti vengono attaccati formano un'unica calamita più potente: se impiliamo due magneti identici, la forza raddoppierà e aumenterà proporzionalmente aggiungendo altri magneti, fintanto che l'altezza della pila non supera la metà della sua larghezza. Per la sperimentazione è consigliabile acquistare diversi magneti a disco spessi 1 mm: in questo modo sarà possibile aggiungere o togliere elementi fino al raggiungimento del miglior risultato.

Il Windbelt che vi proponiamo di realizzare è costituito da pochi componenti:

- il supporto principale;
- il tenditore del nastro;
- il fermo del nastro;
- i magneti;
- due bobine con il relativo supporto;
- il duplicatore di tensione.

Per realizzare il Windbelt occorre il seguente materiale:

- 2 barre di alluminio 3x20x100 mm;
- 2 barre di alluminio 1x1,5x30 mm;
- 2 bobine di filo in rame smal-

tato del diametro di 0,31 mm;

- 2 magneti a disco in neodimio diametro 15 mm spessore 3 mm;
- 1 m di nastro proveniente da una videocassetta VHS;
- dadi e bulloni.

Le due bobine sono composte ognuna da 1.000 spire circa avvolte su supporti tubolari con diametro interno di 15÷16 mm e lunghezza di 2 cm.

Per quanto riguarda la parte elettronica, vi occorrono:

- 2 diodi Schottky;
- 2 condensatori elettrolitici da 1.000 µF;
- 1 condensatore elettrolitico da 2.200 µF;
- 1 basetta millefori;
- 1 scatola in plastica per contenere i componenti elettronici.

Il supporto del Windbelt, come abbiamo visto, è realizzabile in molti modi e usando svariati materiali. Per realizzare un modello duraturo abbiamo scelto l'alluminio, che è amagnetico, facilmente lavorabile e si trova in un qualsiasi negozio di ferramenta a prezzi ragionevoli. La struttura principale va realizzata come mostra la Fig. 4; in essa praticate un intaglio per far passare il nastro sul lato superiore del supporto (Fig. 5).

Per costruire il tendinastro dobbiamo piegare una staffa a forma di "U" (Fig. 6) e realizzare tre fori: uno al centro e due alle estremità. Il foro centrale servirà per imbullonare il tendinastro in cima al supporto principale; nei

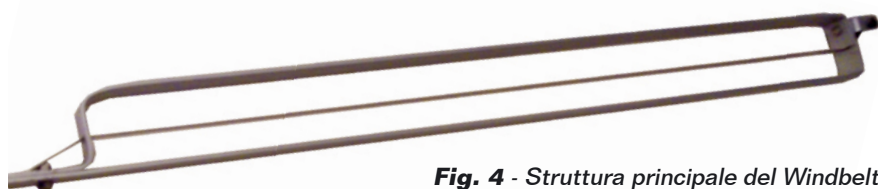


Fig. 4 - Struttura principale del Windbelt.

Fig. 5 - Intaglio sul lato superiore del Windbelt e alloggiamento del tendinastro.



Fig. 6 - Il tendinastro.

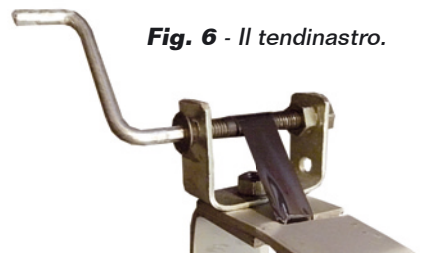


Fig. 7 - Il portabobine.



fori laterali faremo passare una vite da 4 cm serrandola con due dadi su un solo lato. Su questa vite andrà fissata, con del nastro adesivo, una estremità del nastro vibrante. Svitando o avvitando la vite, il nastro vibrante verrà avvolto su di essa fino a raggiungere la tensione ottimale. Il fermo del nastro è costituito da due barrette forate sulle estremità: su una barretta va avvolto qualche giro del nastro vibrante. Le due barrette andranno poi serrate fra di loro con dadi e fissate alla base della struttura principale come fossero una piccola morsa.

Il supporto delle bobine (Fig. 7) è una staffa piegata a "U" larga quanto l'interno della struttura principale del Windbelt. Le bobine andranno incollate all'interno delle staffe di questo supporto e collegate elettricamente in serie ed in fase tra loro.



In dieci anni la potenza degli impianti eolici presenti nel nostro paese è passata da 282,55 a 4.844,80 Megawatt (fine 2009). Siamo al terzo posto in Europa, dopo spagnoli e tedeschi, stando ai dati della European Wind Energy Association (EWEA). La capacità eolica complessiva europea al 2020 sarà di 230 Gigawatt e la quota italiana si attesterà sugli 11,8 GW. Purtroppo va notato che la crescita dell'eolico nel nostro Paese è ostacolata dalla burocrazia: per avere i permessi di installazione occorrono in media quattro anni, salvo che le Amministrazioni Locali non sollevino eccezioni motivate da ragioni paesaggistiche; senza contare la recente riduzione dei certificati verdi e dei relativi incentivi concessi alla produzione di elettricità da fonte eolica.

Conviene alloggiare su questa staffa anche la morsettiera collegata alle bobine.

A questo punto la struttura meccanica è pronta; il supporto principale senza il portabobine andrà fissato verticalmente su un supporto temporaneo. Il nastro, per ora, va lasciato poco teso.

Con un grosso ventilatore provate ad "alimentare" il Windbelt: il nastro dovrebbe vibrare. Posizionate i magneti a pochi centimetri dalla base del nastro e puntandovi contro il ventilatore. Osservate il movimento dei magneti: questi dovrebbero muoversi lungo il proprio asse; se, invece, tendono a ruotare su loro stessi, provate a tende-

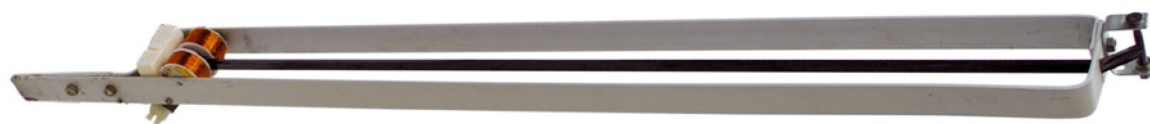
re maggiormente il nastro o a fissarli più verso la base.

Trovata la posizione ottimale dei magneti, inserite il portabobine forzandolo lievemente nella struttura principale e posizionate in modo che il magnete vibri tra i centri delle due bobine. Per fissare il portabobine alla struttura potete utilizzare colla o praticare un piccolo foro passante tra supporto e portabobine per alloggiare un piccolo dado e bullone di materiale amagnetico. La tensione prodotta dalle bobine del Windbelt è di pochi volt in corrente alternata e va raddrizzata prima di usarla per alimentare dispositivi in continua. Generalmente la frequenza della tensione sviluppata va da

10 a 40 Hz. Per poter utilizzare al meglio l'energia prodotta è conveniente utilizzare un duplicatore di tensione ad onda intera. Se utilizzassimo un normale ponte di diodi per raddrizzare una tensione di 1 Vca, otterremmo quasi nulla in uscita, perché infatti nel ponte a diodi si verifica una caduta di tensione di circa 1,4 V dovuta al passaggio della corrente per le giunzioni di almeno due dei suoi diodi; utilizzando degli Schottky, la caduta di tensione sarebbe di circa 0,96 V e in uscita dal raddrizzatore standard otterremmo 0,45 V circa, che sono troppo pochi per qualsiasi applicazione! Inoltre due terzi dell'energia prodotta sarebbe dissipata dai diodi!

A frequenze basse (10÷30 Hz) l'utilizzo di un normale trasformatore per aumentare la tensione del Windbelt sarebbe controproducente: infatti i normali trasformatori sono progettati per lavorare a 50 Hz e a frequenze più basse sarebbero quasi dei cortocircuiti per il Windbelt, tanto che le perdite di potenza diverrebbero inaccettabili.

La soluzione più razionale è il duplicatore di tensione ad onda intera che trovate nello schema elettrico illustrato in queste pagine, che è un semplice circuito inventato agli albori dell'elettronica; utilizza due diodi e altrettanti condensatori e funziona così: durante la semionda positiva la corrente attraversa il diodo D1 e carica il condensatore C1, mentre nella semionda negativa è il condensatore C2 a caricarsi attraverso il diodo D2. Essendo C1 e C2 collegati in serie, la tensione ai loro capi (Vout) sarà



Il nostro prototipo di Windbelt completo e pronto ad essere montato per generare corrente elettrica gratis!

il doppio di quella di picco in ingresso diminuita della caduta sui due diodi. Per fare un esempio, ipotizziamo che il Windbelt produca una tensione alternata di 1 Vrms pari a 1,414 Vp (tensione di picco); in tali condizioni i condensatori C1 e C2 verranno caricati con una differenza di potenziale di [1,414-0,480] V (quest'ultima è la caduta di tensione sul diodo Schottky) ovvero 0,934 V. Essendo collegati in serie, i due condensatori ci permetteranno di avere in uscita una differenza di potenziale di 1,868 V a vuoto. Il duplicatore di tensione ha una scarsa regolazione, per compensare (seppure in parte) la quale, è stato inserito il condensatore C3.

La perdita di tensione sui diodi è forse il principale problema in questa applicazione; tuttavia esistono in commercio diodi a bassissima caduta realizzati con la tecnologia "MEGA", che presentano cadute di tensione di soli 150 mV e che sono venduti in rotoli da migliaia di pezzi (sono a montaggio superficiale). Chi avesse qualche diodo al germanio potrebbe utilizzarlo in parallelo ai diodi Schottky, dato che ha una resistenza interna più bassa. Se serve maggior tensione in uscita, è possibile utilizzare un convertitore step-up, oppure collegare più Windbelt in serie.

COLLAUDO E MESSA A PUNTO

Realizzato il Windbelt, montatelo su un supporto e puntategli contro un potente ventilatore in modo che l'aria arrivi contro il nastro; quest'ultimo dovrebbe iniziare a vibrare. Posizionate il fermo del nastro in modo che i magneti si trovino equidistanti dalle bobine (verificate che i magneti non urtino contro le bobine durante il funzionamento); ora, usando un tester disposto sulle

misure di tensione in corrente alternata, misurate la differenza di potenziale ai capi delle bobine. Se questa risulta nulla o molto bassa, verificate la resistenza delle due bobine in serie, che dovrebbe essere $25 \div 30$ ohm; se le bobine non sono interrotte o in cortocircuito, provate a invertire le connessioni di una di esse, dato che, se non vengono collegate in fase, la tensione da esse prodotta è nulla. A questo punto posizionate il ventilatore in modo che la tensione in uscita sulle bobine sia la più alta possibile (misuratela con un multimetro posto all'uscita del duplicatore di tensione). Tramite il tendinastro provate ad allentare o ad aumentare la tensione del nastro, fino a massimizzare il valore della differenza di potenziale in uscita.

Con una lieve brezza (un vento a 2,77 m/s, appena percettibile sulla pelle) questo prototipo di Windbelt è già in grado di produrre un po' di energia: 1 volt in corrente alternata, pari a 40 mW su un carico ottimale di 25 ohm. Man mano che aumenta la velocità del vento, la tensione in uscita e la frequenza aumentano fino a consentire una potenza di diverse centinaia di milliwatt. Con nastro di maggiori dimensioni è auspicabile una potenza massima attorno al watt. L'energia prodotta potrebbe sembrare poca, ma è già sufficiente per alimentare un orologio da parete, accendere una piccola lampada a LED, ricaricare un cellulare.

Nella pratica, un singolo Windbelt è un buon sostituto delle normali pile AA; per la produzione di energia elettrica è necessario realizzare un pannello costituito da diversi Windbelt, oppure utilizzare nastri di dimensioni maggiori.

FIERE ELETTRONICA INFORMATICA e RADIANTISMO

con Mercatino Radio Amatoriale



e Surplus



AREZZO

CENTRO AFFARI FIERE E CONGRESSI

VIA SPALLANZANI 23 - Autostrada A1 uscita Arezzo

16-17 APRILE

ORARIO: SABATO 10/20 - DOMENICA 10/19

CAORLE-VE

PALAEXPOMAR-CAORLE FIERE E CONGRESSI

VIALE A. MORO 21 - AUTOSTRADA A4 uscita S. STINO

7-8 MAGGIO

ORARIO CONTINUATO 9.00 - 19.00

PROSSIMI APPUNTAMENTI



10-11 SETTEMBRE

PIACENZA

PIACENZA EXPO' - LOCALITA' LE MOSE

24-25 SETTEMBRE

RAVENNA

PALAZZO MAURO DE ANDRE'

8-9 OTTOBRE

FIERA DI FERRARA

VIA DELLA FIERA 11

22-23 OTTOBRE

BOLOGNA

PALA NORD - PARCONORD

17-18 DICEMBRE

PIACENZA

PIACENZA EXPO' - LOCALITA' LE MOSE

Tel. 0545 27548 - Cell. 348 9030832

www.mondoelettronica.net

VALE COME RIDOTTO ANCHE IN FOTOCOPIA

RomeCup 2011, NON SOLO GARE

Si sono conclusi con grande soddisfazione di studenti, docenti, organizzatori e pubblico i tre giorni della RomeCup, la manifestazione di robotica organizzata a Roma dal 14 al 16 di marzo dalla Fondazione Mondo Digitale. Oltre alle gare tra i numerosi team presenti, la tre giorni romana è stata anche un'occasione per sottolineare l'importanza della robotica quale strumento di grande valenza educativa in tutti gli stadi della carriera scolastica, dalla scuola elementare all'università. La coincidenza con i 150 anni dell'Unità d'Italia è stata celebrata dai bambini di Eboli che hanno festeggiato l'anniversario con 16 robot ballerini: c'era un'orchestra completa, con direttore, archi e percussioni, e i ballerini con costumi

d'epoca che danzavano al ritmo delle musiche di allora. Tra i laboratori proposti, i workshop e le gare, sono state oltre 3 mila le persone coinvolte nella manifestazione nell'ambito della quale è stato stipulato un Protocollo d'Intesa tra le realtà che rappresentano tutte le aree della filiera robotica in Italia, dalle scuole ai centri di ricerca, dalle istituzioni pubbliche alle aziende private; scopo del Protocollo è quello di favorire un sistema formativo integrato capace di costruire conoscenze e competenze lungo tutto l'arco della vita, grazie all'uso della robotica e attraverso un sistema di governo e programmazione dell'offerta formativa, di ricerca e diffusione nell'ambito dei territori.

I numeri finali della manifestazione dimostrano quanto questo sforzo stia iniziando a dare i suoi frutti:

- 2.000 gli studenti che hanno partecipato ai laboratori;
- 14 i laboratori didattici attivati

di Arsenio Spadoni



- per le diverse età, da 6 a 18 anni, e i vari indirizzi di istruzione;
- 250 i docenti coinvolti;
 - 437 gli studenti che hanno seguito il laboratorio SIM 3D-Lite;
 - 100 gli studenti di 7 scuole superiori che si sono occupati dell'accoglienza;
 - 36 i primi firmatari dell'accordo di rete;
 - 200 i progettisti dei 50 team in gara (studenti delle scuole);
 - 6 le squadre universitarie (Robocup Mediterranean Open);
 - 36 i progettisti universitari, tra cui 8 ragazze;
 - 40 e oltre i prototipi robotici nell'area dimostrativa;
 - 15 le regioni italiane coinvolte nel primo accordo di rete nazionale per promuovere la robotica educativa;
 - 20 e più i diversi soggetti della rete laziale (Università, aziende, scuole ecc.)
 - 9 le regioni di provenienza dei team italiani in gara (Abruzzo, Campania, Friuli, Lazio, Lombardia, Piemonte, Puglia, Toscana e Umbria).

Ad inaugurare la manifestazione, lunedì 14 marzo presso l'ITIS Galileo Galilei è stato Tullio De Mauro, professore emerito all'Università "Sapienza" di Roma e presidente della Fondazione Mondo Digitale che, insieme a centinaia di studenti ed insegnanti, ha visitato le aree espositive, i laboratori didattici ed i workshop presso i locali dello stesso Istituto.

La maggior parte degli stand e dei laboratori ha messo in mostra l'impegno nel campo della robotica di numerose scuole italiane. Erano anche presenti Istituti di ricerca e alcune delle più importanti aziende che operano in questo campo. Tra le scuole, particolarmente interessanti i progetti proposti dall'IIS "G. Vallauri" di Fossano

(CN) tra i quali l'OmniMecTraveler, un robot a quattro ruote motrici indipendenti con rulli a 45° in grado di effettuare traslazioni laterali senza ruotare ed un'applicazione di riconoscimento vocale per il braccio robotico KUKA.

Anche l'ITIS "E. Fermi" di Roma ha proposto numerosi lavori nel campo della robotica tra i quali una simulazione di un percorso automatizzato completo di autovelox, telepass, semaforo e parcheggio con stazione di rifornimento per vetture elettriche con pannelli fotovoltaici.

Gli studenti dell'IIS "Guglielmo Marconi" di Latina hanno realizzato un braccio robotico per giocare a filetto e un sistema robotico su 2 ruote, dotato di una telecamera, in grado di scambiare dati e informazioni in modalità wireless con una console portatile.

L'ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile - ha presentato Venus, un robot per diverse applicazioni subacquee, dalla sicurezza al monitoraggio ambientale. Con un'autonomia di 3 ore e fino a 50 metri di profondità, Venus è l'elemento base di un sistema composto da più veicoli cooperanti e coordinati, cioè uno sciame di sottomarini autonomi.

La Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa ha presentato una mano artificiale in grado di manipolare un uovo: per far muovere le 5 dita con 20 gradi di libertà vengono utilizzati 15 motori elettrici, 15 sensori di posizione, 15 sensori di coppia e 6 sensori di temperatura. Il risultato è una mano artificiale con elevate capacità di presa e manipolazione. Tra le aziende, IT+Robotics presentava due robot della serie Robovie, piccoli gioielli prodotti dalla giapponese Vstone, in grado di muoversi con grandissima agilità; Robovie-X ha di recente vinto



Risultati e Classifica finale

Robocup Junior Dance

1° posto: Robo150 - Secondo Circolo didattico di Eboli
2° posto: RoboEboli - Secondo Circolo didattico di Eboli
3° posto: Aurora - Istituto comprensivo Mozart di Roma

Dance Secondary

1° posto: Pistoia1 - Istituto superiore S. Fedi di Pistoia
2° posto: Robopan - ITT Panetti di Bari
3° posto: Pinguino - ITIS Fermi di Roma

Rescue Primary

1° posto: CSI Mappano Istituto comprensivo G. Falcone di Mappano (TO)
2° posto: RoboFuturistico Istituto comprensivo G. Falcone di Mappano (TO)

Rescue Secondary

1° posto: Delpino - ITIS A. Volta di Pescara
2° posto: Pistoia - ITTS S. Fedi di Pistoia
3° posto: Leonardo - ITIS L. Da Vinci di Arcidosso

Explorer Junior

1° posto: P.F. - ITIS Von Neumann di Roma
2° posto: Alcolista anonimo - ITIS Von Neumann di Roma
3° posto: Principessa - ITIS Von Neumann di Roma

Explorer Senior

1° posto: Truce - ITIS Pacinotti di Roma
2° posto: Kepavet - ITIS Pacinotti di Roma
3° posto: Zippo - ITIS Pacinotti di Roma

Robocup Junior Soccer Secondary Open League Field B

1° posto: SPQR - ITIS Von Neumann e Galilei di Roma
2° posto: Manetti - ITIS Da Vinci di Arcidosso

Robocup Junior Soccer Secondary Light Weight League Field A

1° posto: Lyons - ITIS Von Neumann e Galilei di Roma
2° posto: SPQR Levis - ITIS Von Neumann e Galilei di Roma

Standard Platform League

1° posto: Austrian Kangaroos dell'Università di Vienna
2° posto: Los Idalgos

la Osaka Robot Marathon. Tra i laboratori, sempre molto affollato quello del Museo Civico di Rovereto (TN), che proponeva attività adatte a tutte le età; in quello per i più piccini si insegnava a progettare un automa per compiere un percorso articolato mentre i più grandi erano impegnati a programmare robot in grado di riconoscere suoni e musica, eseguire coreografie e ballare.

Molto frequentato anche il laboratorio di Roboteck che proponeva soluzioni di vario tipo, tutte basate sulla scheda Arduino e tutte low cost. Martedì il laboratorio ha visto la presenza del fondatore di Arduino, l'Ing. Massimo Banzi.

Nel frattempo nella palestra della scuola iniziavano le gare nelle varie categorie, dalla Dance, al Soccer, al Rescue. Presenti anche alcuni team universitari provenienti da tutto il mondo che si sono sfidati a calcio utilizzando i robot umanoidi Nao della francese Aldebaran. Le finali si sono svolte il 16 mattina nella bellissima scenografia offerta dalla sala della Protomoteca in Campidoglio.

Come si vede nell'apposito box, la parte del leone l'hanno fatta i ragazzi degli ITIS Von Neumann e Pacinotti di Roma, mentre la gara tra i robot umanoidi della Standard Platform League è stata vinta dai ragazzi dell'Austrian Kangaroos dell'Università di Vienna.

Sabato mattina c'è stata anche la firma di un Protocollo d'Intesa tra Istituti Scolastici, Fondazioni, Enti di Ricerca e aziende private con lo scopo di stimolare e facilitare



un processo di sviluppo che veda uniti tutti gli attori della filiera della robotica. Il sistema coinvolge, con modalità condivise, tutti i principali protagonisti del settore, collegando il mondo della ricerca e della produzione alle realtà scolastiche. È opinione comune tra i firmatari che nel nostro Paese la robotica rappresenti un'area di eccellenza tecnologica, educativa e industriale con enormi prospettive con un'opportunità unica e strategica per affrontare le diverse sfide. L'azione sinergica permetterà di creare una conoscenza chiara e definita dei percorsi multipli che offre la robotica, dalla scuola primaria all'industria e al lavoro. Così facendo si rinforzerà l'orientamento degli studenti verso le carriere scientifiche e tecnologiche. Simultaneamente, l'industria e i servizi della robotica potranno usufruire e influenzare le offerte educative, formative e di ricerca, in accordo con le tendenze tecniche e di mercato della robotica. Tra i firmatari del Protocollo anche Mediterraneo-Acquario di Roma che sta realizzando il nuovissimo acquario della capitale in collaborazione, per quanto riguarda





l'area specifica dei pesci robot, con l'Università Campus Bio-Medico di Roma e con la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa. Un bellissimo esempio di pesci robot era presente all'esterno del Campidoglio con una vasca di grandi dimensioni nella quale si muovevano alcuni esemplari realizzati dal Sant'Anna, del tutto simili ai veri pesci. Questi robot saranno importantissimi nelle spedizioni subacquee, nelle ricerche sull'inquinamento ambientale, nello studio di altri esemplari marini; potranno muoversi in ambienti ostili e persino compiere lavori subacquei. Lo studio del movimento degli animali (con l'uomo in prima fila) è stato da sempre al centro dell'attenzione di scienziati e ricercatori; proprio in questi giorni due robot hanno attirato l'attenzione sia degli addetti ai lavori che delle persone comuni: lo SmartBird di Festo, e il Nano Hummingbird di AeroVironment. Con il suo gabbiano-robot SmartBird, la multinazionale tedesca Festo sembra essere riuscita a decifrare il volo degli uccelli, uno dei più antichi sogni dell'umanità. Il prototipo si avvale anche dei risultati di un programma di ricerca denominato Bionic Learning Network a cui collaborano alcuni fra i più importanti centri di ricerca, Università e società internazionali di R&D. SmartBird è il più recente risultato di questo sforzo: un gabbiano-robot del peso di appena 450 grammi, con un'apertura alare di quasi due metri e dotato di eccellenti qualità aerodinamiche in grado di imitare fedelmente il battito

d'ali e tutti i movimenti caratteristici di un gabbiano: spiccare il volo, volare ed atterrare autonomamente. Ispirato al gabbiano reale, SmartBird deve la sua leggerezza alla fibra di carbonio con cui è costruito; ad assicurarne il movimento è una serie di ingranaggi che produce il battito delle ali e consente loro di assumere l'inclinazione necessaria in funzione delle varie condizioni di volo. Ad imprimere la direzione sono la coda e la testa mentre il complesso di movimenti è sincronizzato da due motori elettrici e da un insieme di cavi. L'elettronica di bordo utilizza un potente microcontrollore a 32 bit che calcola l'impostazione ottimale dei due servomotori, che regolano la torsione di ogni ala. Il battito e la torsione sono sincronizzati da tre sensori di Hall i cui dati vengono elaborati dal micro.

Per quanto riguarda Nano Hummingbird, è il più piccolo robot volante realizzato da AeroVironment, uno dei più importanti costruttori di droni per impiego bellico. Non a caso questo progetto è stato sviluppato per l'agenzia DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) dell'esercito americano. Anche questo uccello-robot presenta la particolarità di sfruttare per il volo un sistema ad ali battenti,

del tutto simile a quello di un vero colibrì, che gli conferisce una grande agilità con la possibilità di passare attraverso porte e finestre e posarsi ovunque, anche sui fili della corrente. Nano Hummingbird, come del resto tutti i droni, è comandato a distanza via radio ed invia all'operatore le immagini riprese da una minuscola telecamera; le immagini servono sia per sorvegliare l'ambiente in cui opera l'uccello-robot che per consentire all'operatore di controllarne il volo. In considerazione delle ridotte dimensioni (il colibrì è alto appena 16 cm) il raggio d'azione è di qualche centinaio di metri con una autonomia di una decina di minuti. Lo scopo di queste ricerche è quello di realizzare sistemi volanti sempre più piccoli e sofisticati da utilizzare principalmente per scopi militari (spiare le linee nemiche) ma anche per applicazioni civili. □



UNA PIATTAFORMA INERZIALE PER L'UAV

di ANDREA LETTIERI



Potenziamo il nostro UAV dotandolo di un modulo che migliora il sistema di stabilizzazione del volo usato nella versione precedente.

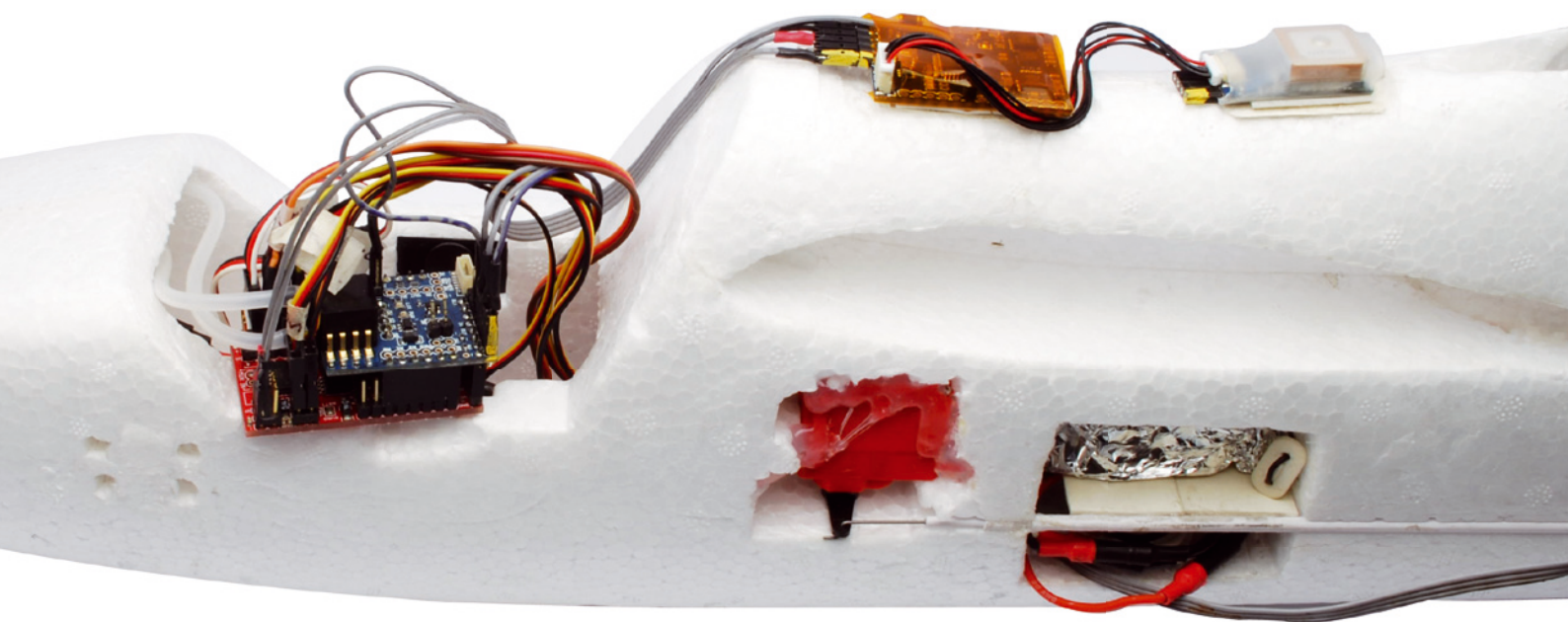
Nel presentarvi l'elettronica di bordo che ha trasformato il popolare aeromodello Easy Star nel nostro UAV, vi abbiamo anticipato (il mese scorso) la futura evoluzione del sistema di stabilizzazione, che sarebbe passato da quello basato su sensori a termofile ad uno più sofisticato, imperniato su un modulo IMU. Dopo un ulteriore atterraggio fallito, dovendo smontare tutta l'elettronica per eseguire le riparazioni, abbiamo infatti colto l'occasione per aggiornare il sistema di stabilizzazione dotandolo del modulo IMU. Così è nata la terza versione del nostro UAV. Tre versioni in pochi mesi ci dicono quanto sia veloce lo sviluppo tecnologico nel campo dell'elettronica miniaturizzata e quanto sia sofisticato il trasferimento in campo amatoriale delle tecnologie sviluppate per l'aeronautica.

Un IMU (Inertial Measurement Unit) è un sensore che, una volta installato correttamente e in modo solidale su un velivolo, è in grado di rilevarne e comunicarne l'orientamento nello spazio, la variazione dell'orientamento nel tempo e la velocità

con la quale avviene. Per la complessità della materia, abbiamo dedicato alle caratteristiche, al funzionamento ed alle problematiche correlate alla tecnologia IMU, un apposito articolo in questo stesso fascicolo. In queste pagine ci concentreremo, invece, su cosa è necessario fare per preparare, configurare ed integrare il modulo IMU da noi scelto.

Se iniziate da zero, ossia se non avete già costruito ed equipaggiato l'Easy Star modificato secondo le indicazioni fornite nel fascicolo n° 154, vi raccomandiamo di realizzare la nuova versione qui proposta; nel caso, invece, abbiate già costruito l'Easy Star descritto nel predetto fascicolo, dovette apportare le seguenti modifiche:

- nell'elenco dei componenti non sono più necessari i sensori ottici, i loro cavi di collegamento ed il cavo di prolunga del GPS;
- sulla fusoliera non è necessario predisporre il supporto per il sensore ottico dell'asse Z.
- sul modulo Vshield non serve più il connettore per il cavo di collegamento dei



sensori ottici, ma in compenso devono essere saldati ulteriori pin;

- sulla fusoliera dovete predisporre il pia-netto precedentemente previsto per il sensore ottico XY di misura adatta a so-stenere il modulo ArduIMU (vale ancora di più la raccomandazione della perfetta orizzontalità del supporto).

Se invece dovete ancora costruirvi l'UAV, seguite le indicazioni fornite nel fascicolo di marzo e applicate le modifiche anzidette. Il modulo IMU specificatamente realizzato per integrarsi con Ardupilot, è l'ArduIMU+ V2 (flat): è molto compatto, monta tut-ti i sensori necessari a realizzare un IMU 6DOF (6 Degrees Of Freedom), la con-nessione per il GPS ed un microcontrollore Atmel 328 dedicato all'acquisizione ed ela-borazione dei dati di orientamento e stabi-lizzazione, che permette di liberare potenza di calcolo sul processore di Ardupilot.

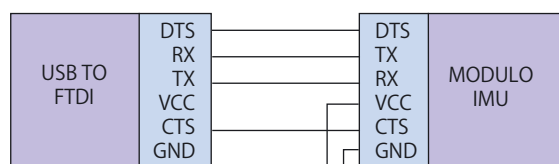
Le operazioni da eseguire per rendere ope-rativo il modulo ArduIMU sono le seguenti:

- preparare i cavi di collegamento;
- saldare i pin di collegamento sul modulo ArduIMU;
- saldare i pin di collegamento sul modulo Vshield;
- modificare il modulo GPS per poterne aggiornare il firmware;
- scaricare gli oggetti software;
- configurare e caricare il software di ge-stione su ArduIMU;
- modificare il firmware del modulo GPS;
- configurare e ricaricare il software di Ardupilot per farlo funzionare con Ardu-IMU.

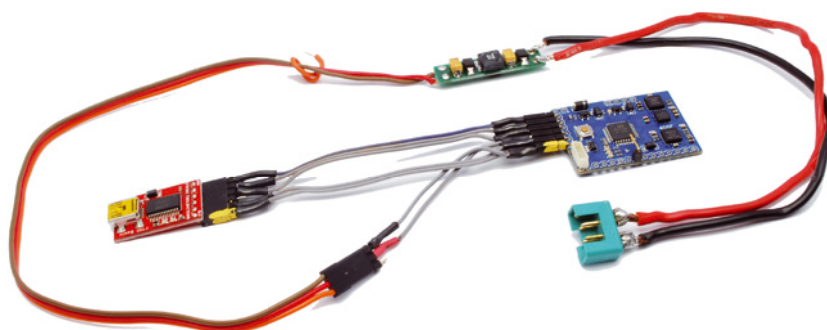
Vediamo qui di seguito i singoli passaggi.

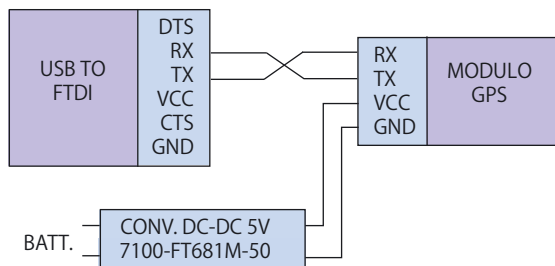
Preparazione dei cavi di collegamento

Il modulo ArduIMU è dotato di una con-

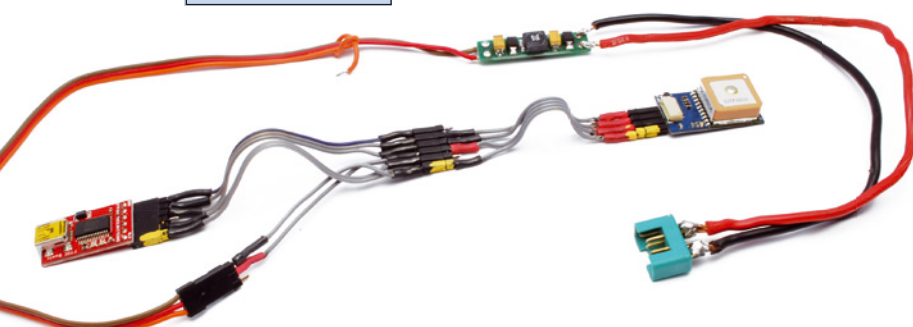


Schema del cavo FTDI per la programmazione del modulo ArduIMU.





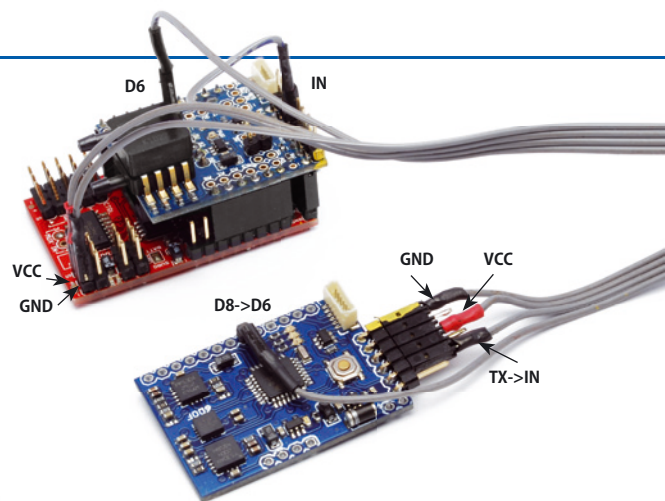
Schema del cavo di estensione per la programmazione del modulo GPS Mediatek.



nessione USB che viene utilizzata sia per l'aggiornamento del software che per il collegamento con il modulo Ardupilot più Vshield. Se siete in possesso di un'interfaccia USB FTDI con uscita a 5 volt, potete usare lo stesso cavo che usate per aggiornare Ardupilot, altrimenti, se possedete la versione a 3,3 V è necessario realizzare un cavo FTDI con alimentazione a 5 volt presa dall'esterno. Nello schema elettrico del cavo ed in foto è visibile il convertitore switching 7100-FT681M-50 (catalogo Futura Elettronica) che permette di utilizzare la batteria LiPo da 11,1 volt come fonte di tensione. Si raccomanda di segnare con un punto di vernice un lato dei connettori, per evitare di inserirli a rovescio, con conseguenze distruttive sui componenti (la nostra scelta è di marcare tutti i connettori dal lato della massa). Infine è necessario realizzare il cavo di collegamento dal modulo ArduIMU al modulo Vshield.



I pin da saldare sui moduli Vshield (a sinistra), e ArduIMU (a destra).



Saldare i pin di collegamento sul modulo ArduIMU

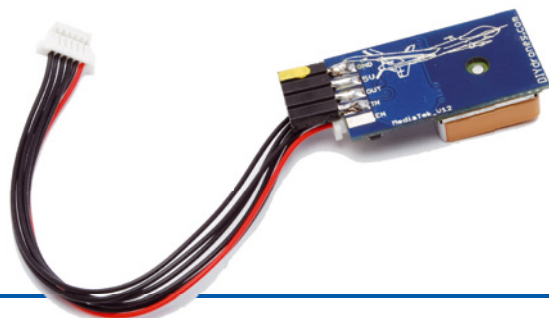
Come prima operazione è necessario saldare i pin di collegamento sul modulo ArduIMU. Il pin singolo saldato su D8 è un pin maschio angolato a 90 gradi; questa configurazione permette di avvolgere successivamente il modulo in un pezzo di tubo termorestringente per proteggerlo e installarlo con biadesivo sul pianetto originariamente previsto per il sensore ottico XY.

Saldare i pin di collegamento sul modulo Vshield

È necessario saldare un pin maschio sulla piazzola D6, del modulo Vshield e altri due pin nella posizione visibile in figura per connettervi eventualmente il pulsante di Reset, fornito nel kit Vshield.

Modificare il modulo GPS per aggiornare il firmware

Sotto il modulo GPS sono presenti delle piazzole che portano all'esterno alcuni dei segnali della porta seriale del modulo stesso; abbiamo utilizzato questa porta per la modifica del firmware del GPS, in quanto il modulo IMU richiede, per funzionare correttamente, di avere installata la versione di firmware 1.4. Per questo è necessario



saldare su queste piazzole un connettore femmina a partire dalla piazzola GND, come indicato in figura. Fate molta attenzione a saldare il connettore in modo da non intralciare l'inserimento del connettore "ufficiale" e a non esagerare con lo stagno, per non cortocircuitare le piazzole.

Scaricare gli oggetti software

A questo punto siamo in grado di caricare tutti i software sui rispettivi moduli.

Il software di gestione di ArduIMU, sempre in licenza open-source, si scarica dal link <http://code.google.com/p/ardu-imu/downloads/list> il file più aggiornato al momento è *ArduIMU_1.8.2.zip*.

Per aggiornare il firmware del GPS scaricare applicazione e firmware dalla pagina web <http://code.google.com/p/ardupilot/downloads/list>; il file corrispondente è *MTK_DIYdrones.zip*.

Configurare e caricare il software su ArduIMU

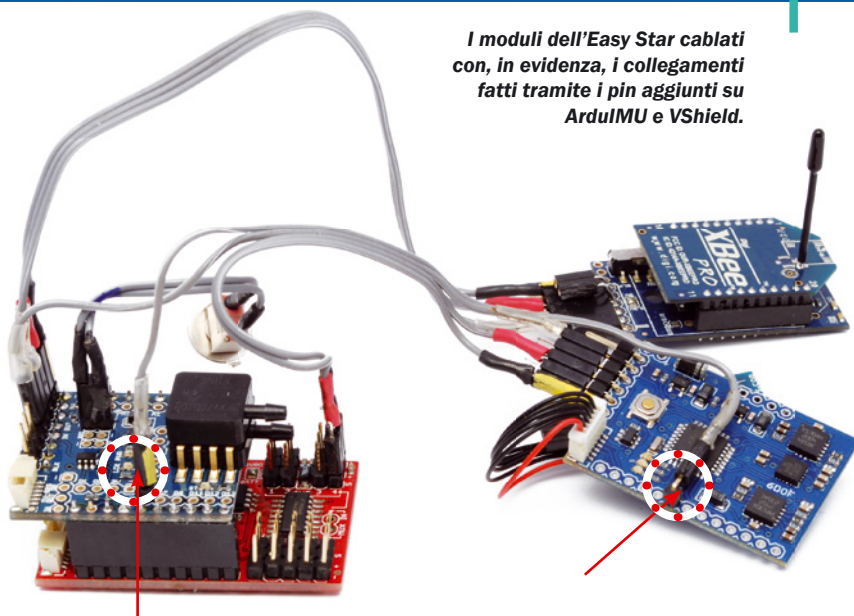
Connettete il modulo FTDI al PC con il cavo USB e al modulo ArduIMU con il cavo autocostruito, collegate l'alimentazione esterna (convertitore DC/DC e batteria LiPo oppure qualsiasi fonte a 5 volt in continua e stabilizzata) quindi estraete in una directory i programmi di ArduIMU dal file .zip che avete scaricato. Aprite l'IDE di Arduino, verificate la porta COM e connettete il modulo. A questo punto aprite e caricate il modulo *ArduIMU.pde*. Negli User Parameters, modificate le seguenti voci:

```
#define BOARD_VERSION 2 // 1 For V1 and 2 for V2
#define GPS_CONNECTION 0 // 0 for GPS pins, 1 for programming pins
                        / GPS Type Selection - Note Ublox or MediaTek
                        is recommended.
                        Support for NMEA is limited.
#define GPS_PROTOCOL 4 // 1 - NMEA, 2 - EM406, 3 - Ublox, 4 -- MediaTek
```

Il modulo ArduIMU viene informato del tipo di GPS collegato in quanto il software si incarica di gestire i dati GPS, sia per integrarli con quelli degli accelerometri e dei giroscopi, sia per sgravare la CPU di Ardupilot dall'onere della gestione dei messaggi provenienti dal GPS stesso.

Dovete fare una verifica di compilazione e, in caso di successo (come dovrebbe esse-

I moduli dell'Easy Star cablati con, in evidenza, i collegamenti fatti tramite i pin aggiunti su ArduIMU e VShield.



re) eseguire l'upload del codice sul modulo. Dopo il caricamento del software il modulo è pronto a funzionare, come viene dimostrato dal lampeggio dei LED. Vedremo in seguito il significato dei LED e le modalità di collegamento agli altri componenti.

Modificare il firmware del modulo GPS

Il modulo GPS è preconfigurato in fabbrica. A seconda del periodo di fabbricazione, può essere precaricato con diverse versioni di firmware: i più vecchi hanno la versione 1.2 del firmware. Il modulo ArduIMU, per colloquiare con il GPS, richiede che su quest'ultimo sia installata la versione 1.4; i modelli più recenti hanno la versione 1.6, che viene utilizzata dal modulo IMU di ArdupilotMega. Nel file scaricato si trovano la versione 1.4 del firmware e l'applicazione necessaria a caricarlo sul GPS attraverso la porta seriale; scompattate il file in una directory e collegate il modulo FTDI al PC ed al GPS con il cavo e l'estensione per il GPS (fate attenzione all'orientamento dei connettori e verificate sempre che le connessioni delle alimentazioni siano corrette, onde evitare danni irreparabili).

Collegate quindi l'alimentazione esterna. Nella directory scompattata è presente il file di documentazione *MediaTek_Programming.pdf*, che contiene le istruzioni per eseguire l'aggiornamento del firmware. Le ripetiamo brevemente per chi fosse in difficoltà con l'inglese:

- entrare nella directory dove è stato scompattato il file *MTK_DIYdrones.zip*;

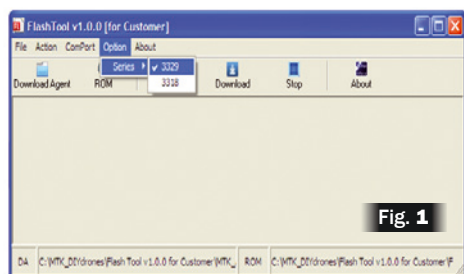


Fig. 1

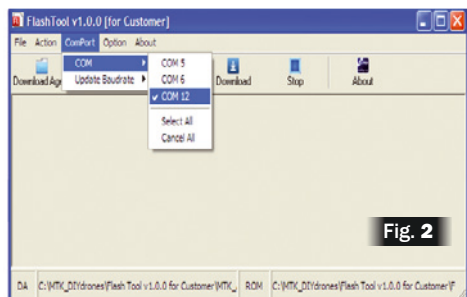


Fig. 2

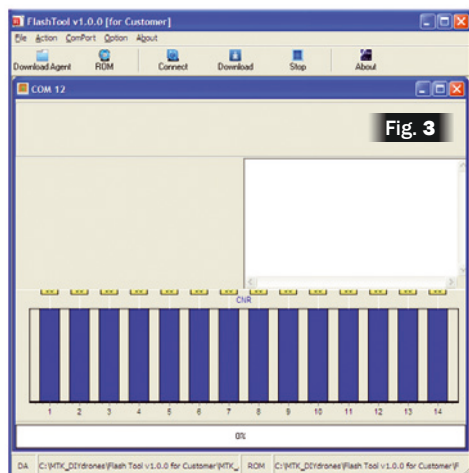


Fig. 3

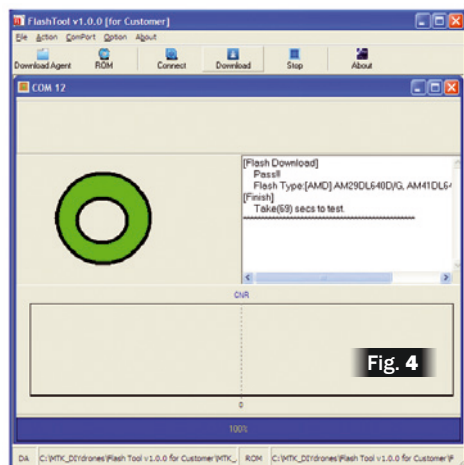


Fig. 4

- entrare nella directory *Flash Tool v1.0.0 for Customer*;
- lanciare l'eseguibile *PowerFlash.exe*;
- in *Option* -> *Series*, selezionare l'opzione 3329 (Fig. 1);
- in *ComPort* -> *COM* selezionare la porta assegnata al modulo FTDI (Fig. 2);
- in *ComPort* -> *Update Baudrate*, selezionare 115200;
- in *File* -> *Download Agent*, scegliere il file *MTK_AllInOne_DA_MT3329_v4.02.bin*;
- in *File*->*ROM*, risalire alla directory *Firmware* e scegliere il file *AXN1.30_2278_3329_384.1151100.1_binary.bin*;
- dal sottomenu *Connection*, scegliere *Connect*.

Fatto ciò, appare una videata con barre blu (Fig. 3); sempre dal sottomenu *Connection*, dovete impartire il comando *Download*. Una barra rossa indica il progredire del caricamento del firmware sul modulo GPS; questa operazione richiede un certo tempo, quindi siate pazienti e, soprattutto, non interrompetela. Una videata che mostra un anello verde indica il buon esito dell'operazione (Fig. 4).

Configurare e caricare il software di Ardupilot per ArduIMU

Collegate l'FTDI al PC con un cavo USB e alla porta FTDI di Ardupilot con il cavo autocostruito e, se necessario, configurare la porta COM generata dall'FTDI. Aprite l'IDE di Arduino e settate i parametri della porta COM dell'IDE con la porta utilizzata dal modulo FTDI, quindi alimentate Ardupilot con la batteria del modello.

Aprite e caricate la versione 2.7.1 del software Ardupilot, quindi modificate, oltre a quanto indicato nell'articolo di marzo, gli ulteriori parametri (che configurano il software per utilizzare il modulo IMU al

posto del GPS e contemporaneamente escludere i calcoli relativi ai dati provenienti dai sensori ottici) secondo quanto mostrato nel **Listato 1**. Fatte le modifiche, vi consigliamo di eseguire una compilazione di verifica e, in caso positivo, l'upload del software sul modulo Ardupilot. Ora colleghiamo i vari moduli come indicato nella foto e nello schema elettrico; ricordate che il GPS deve essere collegato al modulo ArduIMU con il cavetto corto in dotazione. Fate attenzione a installare il modulo orientato come nelle foto, con il connettore che guarda avanti ed il lato componenti del modulo rivolto verso l'alto. Eseguiti tutti i collegamenti, possiamo provare il funzionamento del modello nel suo insieme. Vediamo in dettaglio il comportamento del modulo ArduIMU: posizioniamo l'interruttore CTRL in posizione di NORMAL, accendiamo prima la trasmettente del radiocomando e poi colleghiamo la batteria che alimenta il modello. A questo punto il modulo ArduIMU inizia la fase di calibrazione, durante la quale dovremo tenere il modello immobile ed orizzontale nello stesso assetto del volo livellato (dritto a quota costante).

Sull'ArduIMU, i tre LED di colore rosso, blu e giallo iniziano a lampeggiare velocemente, a significare che il modulo è in fase di calibrazione. Teniamo il modello immobile ed orizzontale fino a quando i LED smettono di lampeggiare.

A questo punto il LED giallo rimane acceso permanentemente, segnalando che il modulo ArduIMU è inizializzato e calibrato correttamente. Il LED blu lampeggia insieme al LED blu sul modulo GPS, in attesa di un segnale GPS valido.

Una volta ottenuti segnali GPS validi, i due diodi blu restano accesi permanentemente. Questa operazione può richiedere anche più di dieci minuti. Da questo momento i

Listato 1

```
/******  
//HARDWARE CONFIGURATION  
#define SHIELD_VERSION 1 // Old (red) shield versions is 0, the new (blue) shield version is 1,  
-1 = no shield  
#define AIRSPEED_SENSOR 1 // (boolean) Do you have an airspeed sensor attached? 1 = yes, 0 = no.  
  
#define GPS_PROTOCOL 3 // 0 = NMEA  
// 1 = SIRF,  
// 2 = uBlox  
// 3 = ArduIMU  
// 4 = MediaTek,  
// 5 = Simulated GPS mode (Debug),  
// -1 = no GPS  
  
//Ground Control Station:  
#define GCS_PROTOCOL 0 // 0 = Standard ArduPilot (LabVIEW/HappyKillmore),  
// 1 = special test,  
// 2 = Ardupilot Binary(not implemented),  
// 3 = Xplane  
// 5 = Jason's GCS,  
// -1 = no GCS (no telemetry output)
```

controlli e le verifiche sono gli stessi descritti nel numero precedente, in particolare per il funzionamento della stabilizzazione e l'uso della telemetria. Per quest'ultima vi rimandiamo all'apposito riquadro che trovate in queste pagine.

Calibrazione del PID

Contrariamente alle affermazioni ed agli annunci divulgati dai media e dalla stampa non specializzata, non esiste un sistema UAV al mondo che possa essere utilizzato senza bisogno di essere, almeno inizialmente, configurato e calibrato. Anche i sistemi di controllo più sofisticati devono essere personalizzati per i diversi modelli e configurazioni di veicoli volanti ed anche a seconda della tipologia di utilizzo; infatti è la capacità di messa a punto e calibrazione che porta ai risultati ottimali. Una sorta di magia che vediamo, oltre che nell'aeronautica, anche nel mondo delle gare di auto e moto ed in molti altri campi scientifico-tecnologici

e artistici. Il software di controllo del modulo Ardupilot contiene un file di parametri da utilizzare per le prime prove, con i valori iniziali configurati per essere utilizzati con un modello Easystar standard che vola in condizioni di quasi assenza di vento.

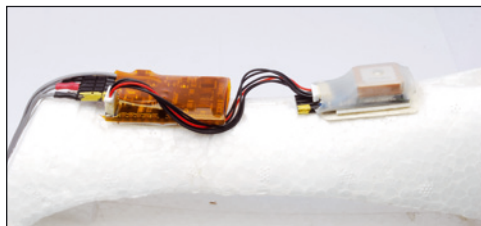
Così come ogni modello deve essere "trimmato" durante i primi test per volare al meglio, anche le prestazioni del modulo Ardupilot possono essere migliorate intervenendo a ragion veduta su alcuni parametri di configurazione.

Come già anticipato nel primo articolo di questa serie, il software di controllo di Ardupilot è caratterizzato da una cascata di controllori PID, semplificati nello schema a blocchi illustrato nella **Fig. 8**. A seconda delle modalità di volo impostate, la catena di controllori viene riconfigurata per ottimizzare il risultato voluto. Ad esempio, in **FLY_BY_WIRE** viene attivata la catena di controllori costituita dai moduli IMU, controllori PID Pitch e Roll (Beccheggio e Rollio) e controllori PID dei servocomandi; i controllori di navigazione vengono esclusi, mentre in modalità **AUTO** anche questi ultimi partecipano al controllo complessivo del modello. Nelle modalità che utilizzano l'intera cascata di moduli, come **AUTO**,

RTL, **LOITER**, il controllo della navigazione determina la differenza di bussola tra la direzione di volo del modello e la direzione del punto GPS da raggiungere; se la rotta deve essere corretta viene calcolato un angolo di virata (rollio) per riportare in rotta il modello. I parametri **GAINS** del controllo di navigazione traducono la correzione di rotta in un proporzionale angolo di virata.

Ad esempio, se un determinato valore di *Navigation Roll P Gain* produce un angolo di rollio di 5 gradi a fronte di una correzione di rotta di 10 gradi, raddoppiando il valore dello stesso *Navigation Roll P Gain*, a fronte della stessa correzione di rotta otterremo un angolo di rollio di 10 gradi (virata più stretta, ma più difficile da controllare). Il controllo PID dei servo si incarica di ridurre l'errore tra l'angolo di rollio impostato dal *Navigation* e l'eventuale differenza di assetto indotta da cause esterne e rilevata dal controller IMU, riportando il modello all'assetto desiderato. In caso di **FLY_BY_WIRE**, il controllore di navigazione non interviene e quindi il modello viene mantenuto in volo orizzontale livellato unicamente dalla cascata di controllori IMU e Servo.

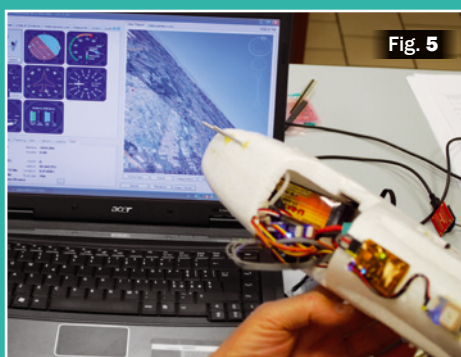
Di seguito trovate alcune racco-



La telemetria

Per la telemetria, ci serviamo dell'applicativo Happy Killmore GCS, un progetto open-source nato per sviluppare una stazione di controllo compatibile con diversi autopiloti amatoriali. Il progetto è in rapida evoluzione, con rilasci a cadenza quasi settimanale. La parte più innovativa dello sviluppo riguarda l'integrazione del protocollo Mavlink, nato da un progetto parallelo, anch'esso open-source; Mavlink è un protocollo di comunicazione bidirezionale tra autopiloti e Ground Station che permette, oltre alla comunicazione dei dati di telemetria, anche la configurazione da remoto dell'autopilota, la gestione delle modalità di volo, la calibrazione dei parametri dei controllori PID e la gestione della comunicazione a linea di comando (una specie di Telnet senza fili). La sezione Strumenti presente nel pannello in alto a sinistra, ci permette di verificare il comportamento del modulo IMU con immediatezza e precisione. Allo scopo, accendiamo la trasmettente e colleghiamo la batteria al modello con la telemetria collegata mediante i moduli Xbee; nel pannello in basso a sinistra corrispondente alla linguetta "Porta COM" configuriamo la Porta di comunicazione che corrisponde al modulo Xbee, la velocità di comunicazione (38.400 bps) e clicchiamo sul pulsante "Connetti".

Utilizziamo gli strumenti che riproducono l'orizzonte artificiale e l'immagine del velivolo, orientiamo il modello tenendolo perfettamente orizzontale con il muso puntato verso lo schermo del PC e premiamo il pulsante "Azzerà" sullo strumento che riproduce l'immagine dell'aereo; in questo modo la posizione del modello reale e della sua immagine vengono a coincidere. Se muoviamo il modello lateralmente o trasversalmente, l'orizzonte artificiale segue il nostro movimento. Incliniamo il modello lateralmente di 45 gradi e manteniamolo in questa posizione; l'orizzonte artificiale si inclina dello stesso angolo, ma dalla parte opposta rispetto al nostro movimento; se il GPS riceve dati validi, anche



l'orizzonte nella finestra di Google Earth si inclina coerentemente con quello artificiale (**Fig. 5**). L'effetto notevole è che l'orizzonte artificiale e l'immagine nella finestra di Google Earth si mantengono inclinati come il modello; lo stesso accade se incliniamo il modello di muso. Questo dimostra che gli accelerometri del nostro IMU fanno il loro dovere, rilevando l'orientamento riferito agli assi X e

Y; la telemetria ci permette di riprodurre visivamente la situazione sulla Ground Station. Anche la riproduzione del nostro modello sul relativo strumento si orienta stabilmente, indicando la posizione assunta dal modello. Ora proviamo a vedere il comportamento dei giroscopi ruotando il modello sull'asse verticale, che non è normalizzato dal sistema di accelerometri. L'orizzonte artificiale non è affetto da questo tipo di rotazione, mentre lo è lo strumento che riproduce l'immagine del modello; il movimento viene seguito in modo meno preciso: una rotazione in un senso seguita da una rotazione uguale nel senso opposto non riporta la figura nello strumento alla posizione iniziale. Questo comportamento rende evidente l'effetto di deriva dei giroscopi. In effetti, abbiamo visto che per la stabilizzazione in volo livellato sono sufficienti precisi riferimenti sugli assi X e Y, mentre l'asse Z è coinvolto nel controllo della navigazione. In volo, l'effetto di deriva dei giroscopi viene corretto utilizzando i dati di bussola provenienti dal GPS, che fornisce valori validi solo quando il modello è in movimento (a modello fermo il GPS non è in grado di fornire dati di bussola validi, situazione che possiamo verificare anche con il navigatore dell'auto: quando lo accendiamo, vediamo la mappa stradale orientarsi nel verso giusto solo dopo che abbiamo iniziato a muoverci). Anche lo strumento bussola presente nel pannello, se si muove, non fornisce dati affidabili a modello fermo. Il pannello a destra della Ground Station racchiude ed integra la mappa di Google Earth, che si posiziona automaticamente sulla zona dove ci troviamo, appena il GPS inizia a rivelare valori

mandazioni utili se volete calibrare al meglio il vostro Ardupilot.

1. Nel file di configurazione *AP_Config.h*, impostate le modalità di volo selezionabili dall'interruttore a tre posizioni come MANUAL, STABILIZE e FLY_BY_WIRE_A; la differenza tra FLY_BY_

WIRE_A e FLY_BY_WIRE_B sta nel fatto che in modo A il controllo del throttle è lasciato totalmente al pilota, mentre in modo B è controllato dal software, salvo intervento del pilota (il modo A è più conservativo per le prime prove).

2. Fate i primi test di volo del vostro mo-

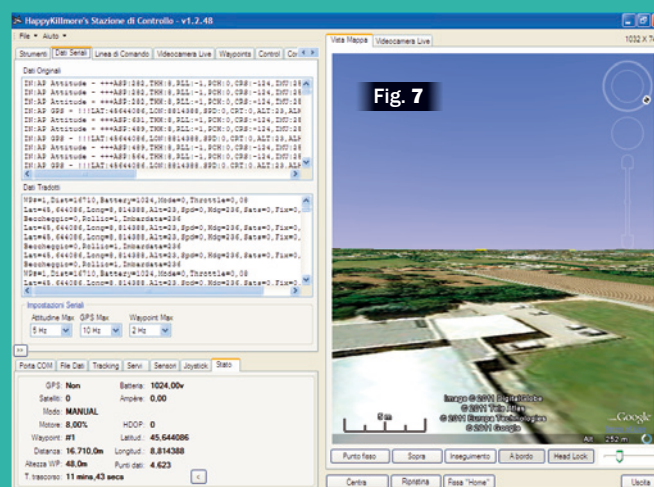
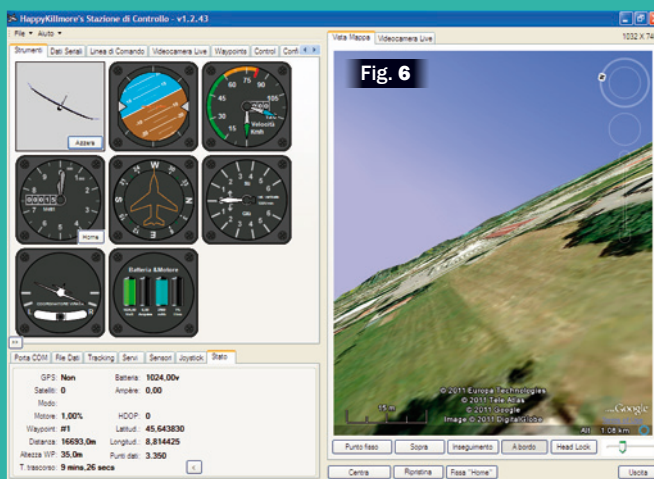
validi. A modello in volo, il percorso del modello viene evidenziato con una traccia colorata. Con i pulsanti presenti sotto il pannello della mappa possono essere selezionati diversi modi di "vedere" la mappa stessa:

- angolata verso il terreno, come se si fosse a bordo del modello, che è la classica rappresentazione dei navigatori satellitari;
- perpendicolare dall'alto;
- come se si fosse dietro il modello, su un altro aereo che lo insegue (**Fig. 6**).

Se decidiamo di montare a bordo del nostro modello una telecamera in grado di trasmettere il segnale a terra e colleghiamo il ricevitore al PC con un adattatore video USB (ad esempio il modulo e-CAPTURE di Futura Elettronica) potremo scegliere di vedere la ripresa video nella Ground Station al posto del pannello degli strumenti o del pannello della mappa di Google, selezionando la scheda *Videocamera Live* collocata in alto sopra i pannelli. Sempre al disopra dei pannelli, la scheda *Dati Seriali* ci permette di vedere lo scorrere dei messaggi trasmessi dalla telemetria (**Fig. 7**) sia in formato nativo che tradotti e riformattati per una comprensione più "umana". Nella sezione in basso a sinistra, la scheda *File Dati* ci permette di accedere al pannello da cui possiamo indicare un file dove vogliamo che vengano salvati i dati seriali della telemetria, per poterli utilizzare in differita. Il pannello selezionabile con la scheda *Stato* ci mostra il cruscotto di sintesi con i dati salienti di funzionamento dell'ArduPilot:

- modalità di volo impostata;
- dati GPS (Lat, Lon, numero di satelliti);
- motore;
- distanza dalla prossima "boa";
- stato della batteria.

Il pannello "Tracking" ci permette di configurare la connessione ad un dispositivo di inseguimento di antenna (un'antenna direttiva che si sposta inseguendo il volo del modello per mantenere una ricezione ottimale in tutte le direzioni); anche questo, un progetto open-source basato su piattaforma Arduino che descriveremo in un prossimo articolo.



Nel menu *File->Impostazioni->Strumenti* è possibile selezionare quali quadranti si vogliono vedere rappresentati sul pannello. Nel menu *File->Impostazioni->Speech* possono essere attivati allarmi e segnalazioni e possiamo impostare i messaggi vocali che vengono pronunciati al verificarsi degli eventi e delle segnalazioni. Fin qui, le funzionalità della GCS utilizzabili con ArduPilot; le altre riguardano la comunicazione bidirezionale con possibilità di inviare comandi e modificare configurazioni e impostazioni anche in volo, ma non sono implementate in ArduPilot. Per sfruttarle, è in sviluppo la generazione successiva del progetto basato su Arduino Mega e denominato ArduPilot Mega, che descriveremo prossimamente.

dello in modalità manuale, in modo da poterlo trimmare. I trim impostati vengono rilevati automaticamente dal software quando si aziona l'interruttore di cambio della modalità di volo, quindi tenete gli stick al centro quando cambiate modalità di volo.

3. Eseguite le calibrazioni successive mantenendo una velocità di volo che vi permetta di controllare bene il modello. Le configurazioni successive valgono a questa data velocità costante; se desiderate cambiare la velocità di volo normale, dovete ripetere le operazioni

di calibrazione. Nel nostro caso abbiamo preferito mantenere una velocità corrispondente a circa un terzo di corsa dello stick del throttle, velocità alla quale il modello vola già al meglio con i parametri impostati ai valori predefiniti.

4. Portate il modello in modalità STABILIZE, verificando il comportamento in beccheggio e rollio (pitch e roll). Quando rilasciate gli stick, il modello deve tornare autonomamente in volo livellato. Se ciò non accade, seguite le istruzioni in fondo al paragrafo per la calibrazione della stabilizzazione di base.

5. Se in modo STABILIZE il modello vola bene, commutate in modo FLY_BY_WIRE_A e verificate il funzionamento degli stick: il modello deve andare dove lo guidate. Adesso verificate il controllo del rollio: portate lo stick del timone a fondo corsa a destra o a sinistra e verificate che il modello non assuma un angolo di rollio maggiore di 45 gradi e che lo mantenga per tutta la virata. Nel caso sia instabile (oscilla a causa di una sovracorrezione) diminuite il valore del parametro "#define SERVO_ROLL_P .004" (file *AP_PID_Setting.h*) oppure incrementatelo se la risposta è troppo lenta. Ripetete la stessa operazione per il controllo del beccheggio PITCH. Se il comportamento non è corretto, potete anche intervenire sui parametri (file *AP_Config.h*) HEAD_MAX, PITCH_MAX e PITCH_MIN. HEAD_MAX controlla il massimo angolo di rollio (valori per 100); ciò significa che il modello alla massima virata possibile si deve inclinare al massimo all'angolo impostato e mantenerlo per tutta la virata. Lo stesso dicasi per l'angolo di beccheggio. L'obiettivo è di fare in modo che il modello risponda ai comandi in modo simile a quando pilotate il modello direttamente senza sovracorrezioni e mantenendosi nei limiti degli angoli di inclinazione impostati.

6. Sempre in modo FLY_BY_WIRE_A, muovete lo stick del timone di direzione completamente a destra o a sinistra e verificate se il modello in virata mantiene un'altezza costante; se tende a scendere, incrementate il valore del parametro "#define PITCH_COMP .20"

(*AP_PID_Settings.h*) fino a quando il modello non è in grado di eseguire una virata al massimo angolo di rollio senza perdere quota.

7. A questo punto riconfigurate il software per includere il modo RTL. In modo RTL il modello deve tornare verso il punto di lancio; se vola in direzioni diverse aumentate il valore del parametro "#define NAV_ROLL_P .7" (*AP_PID_Settings.h*) di circa il 25 %. Se non risponde ancora abbastanza, aumentate il valore di "#define NAV_ROLL_I .01" (*AP_PID_Settings.h*). Se il modello torna verso il punto di lancio ma ondeggiando o serpeggiando, diminuite il valore di "#define NAV_ROLL_P .7". Se non è sufficiente, aumentate il valore del parametro "#define XTRACK_GAIN 10" (*AP_PID_Settings.h*).

Calibrazione e stabilizzazione

Se il modello in modalità STABILIZE vola a "delfino" o serpeggiando, probabilmente il parametro P del controllore di rollio e/o di beccheggio è troppo alto (sovracorrezione); in tal caso i parametri da modificare sono i seguenti (*AP_PID_Settings.h*):

```
//ATTITUDE: ROLL GAINS [Start with changes of no more than 25% at a time]
#define SERVO_ROLL_P .004
```

Oppure, per il beccheggio:

```
//ATTITUDE: PITCH GAINS [Start with changes of no more than 25% at a time]
define SERVO_PITCH_P .005
```

Un metodo pratico di calibrazione consiste nell'aumentare il parametro P fino a quando il modello comincia a ondeggiare sull'asse di rollio oppure a delfinare sull'asse di beccheggio, a questo punto ridurre il valore del parametro P alla metà di quello impostato. Poi incrementare il parametro I fino ad ottenere la stabilità voluta.

Potete iniziare dai valori predefiniti presenti nel file di configurazione, ma se volete stabilizzare in modo ottimale il vostro modello senza sovra controllo è bene partire da valori molto bassi, per esempio $P=0.1$ and $I=0$, ed incrementare progressivamente

te il valore di P fino ad ottenere il miglior risultato. L'incremento del valore di I tende a "innervosire" la risposta dei controllori e quindi a indurre sovra controllo. In alcuni casi, è meglio lavorare con pazienza sui parametri P lasciando molto bassi i valori di I. Nel primo articolo della serie dedicata all'UAV (numero 152 di Elettronica IN Gennaio-Febbraio 2011) è disponibile una descrizione un po' più approfondita del funzionamento dei controllori PID.

Se in modo AUTO o RTL il modello tende a salire, laddove l'abbiate dotato del sensore di velocità (tubo di Pitot) aumentate il valore di P e, se necessario, di I, dei seguenti parametri (AP_PID_Settings.h):

```
//FLY BY WIRE AIRSPEED: THROTTLE OUTPUT GAINS
#define THROTTLE_ALT_P .32
#define THROTTLE_ALT_I .04
```

Se non è installato il sensore di velocità, incrementate il valore del parametro:

```
#define NAV_PITCH_ALT_P .65
```

Futuri sviluppi

Il progetto Ardupilot, che ha aperto il cammino verso la possibilità di realizzare sistemi di controllo su modelli di aerei alla portata degli appassionati, si conclude con la configurazione descritta in questo articolo. Come possibile evoluzione che tratteremo nei prossimi numeri, vi è la possibilità di integrare una telecamera per la trasmissione delle immagini a terra e l'integrazione della Ground Station con un sistema di inseguimento automatico dell'antenna della telemetria e della telecamera verso il modello. Anche questo dispositivo rientra in un progetto open source realizzato su piattaforma Arduino. La vera evoluzione, in fase di maturazione in questi mesi, è la versione del sistema di controllo basata su ArduinoMega (AT-MEGA1280 e, nel breve ATMEGA2560) e denominata ArdupilotMega. Questa piattaforma è rivolta a modelli di aereo controllati su tre assi (alettoni, timone direzionale ed elevatore), multicotteri (quadri, esa ed optacopteri) e, in prospettiva, elicotteri. Le principali funzionalità

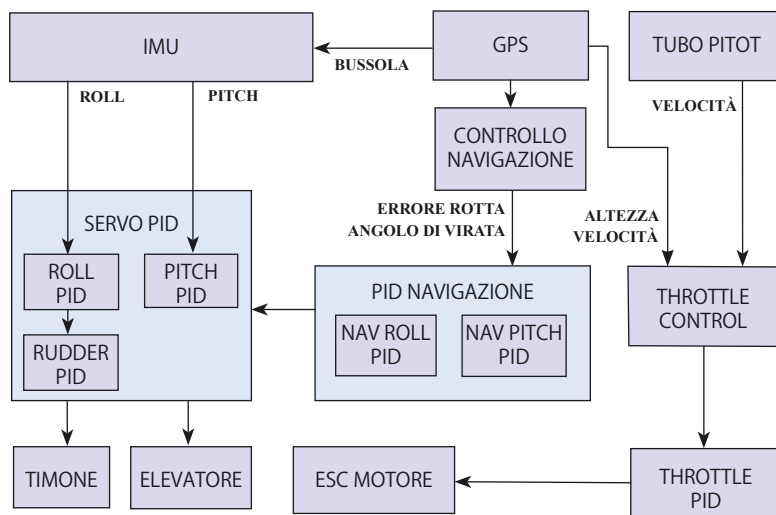


Fig. 8
Schema
a blocchi del
sistema PID.

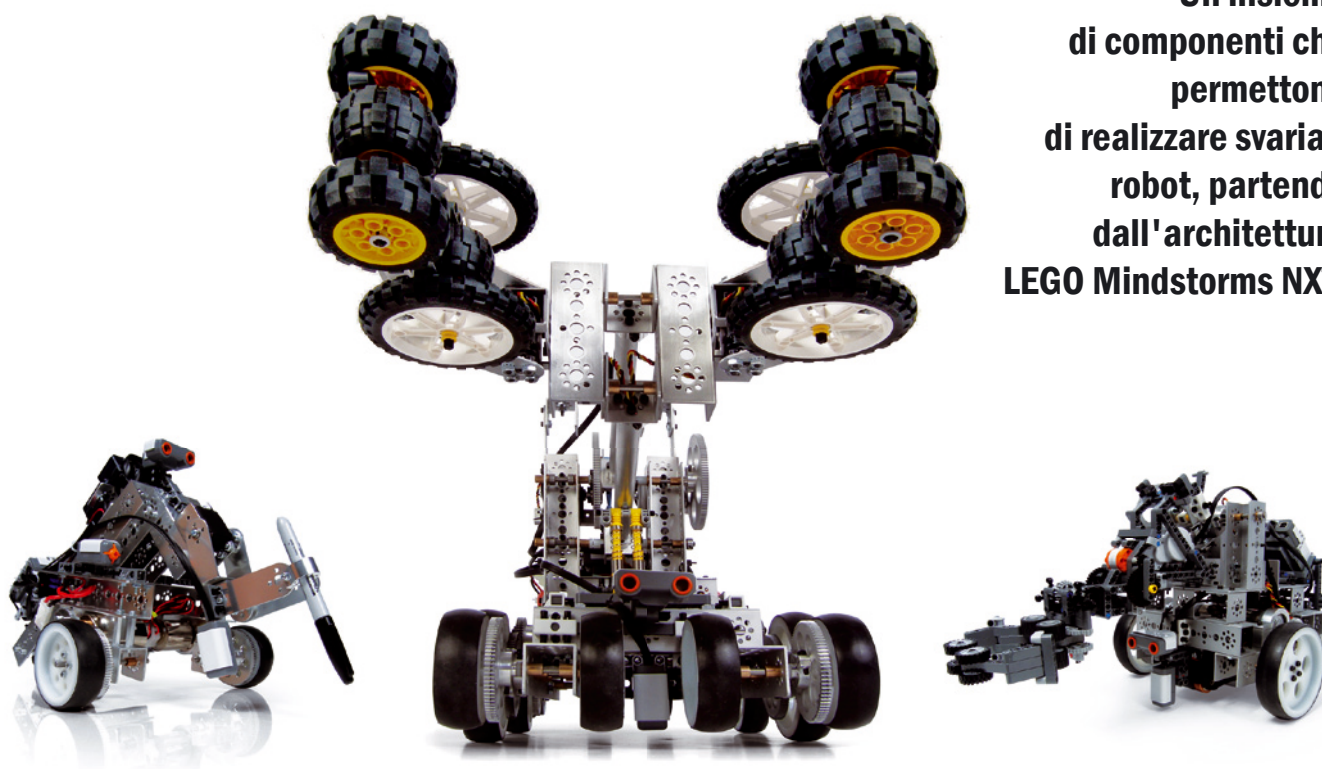
innovative che si prefigge il nuovo progetto sono:

- file di configurazione iniziale esterno in modo da eliminare la necessità di compilare il software ad ogni modifica dei parametri; saranno disponibili anche alcune "compilazioni" di firmware standard, in modo da eliminare completamente la necessità di utilizzare l'IDE di Arduino e caricare il software direttamente dal sistema di configurazione di missione;
- sistemi di calibrazione di IMU e PID sempre più sofisticati che prevedono l'ottimizzazione dei parametri di calibrazione per autoapprendimento del software;
- possibilità di integrare e configurare nuovi sensori come magnetometri (controllo hovering per modelli ad ala rotante) e sonar (obstacle avoidance e hovering a bassa quota);
- configuratori di missione sempre più sofisticati;
- telemetria bidirezionale con possibilità di configurazione e cambio modalità di controllo da PC;
- integrazione del protocollo MAVlink nel sistema di comunicazione della telemetria, che sta diventando lo standard condiviso in tutti i prodotti di controllo di modelli di aereo;
- nuove modalità di controllo di volo come Auto take off e Auto landing.

Vi terremo informati sull'evoluzione di questi progetti proponendovi nuovi articoli riguardanti modelli sia di aereo che di quadricottero. □

TETRIX: un kit, tanti ROBOT

Un insieme di componenti che permettono di realizzare svariati robot, partendo dall'architettura LEGO Mindstorms NXT.



dell'ing. MIRCO
SEGATELLO

Quanti di voi utilizzano i prodotti LEGO Mindstorms NXT per la realizzazione dei propri robot, si saranno resi conto che la struttura fatta assemblando i mattoncini, pur essendo di facilissima installazione e costruzione, non dispone di quella robustezza che talvolta sarebbe desiderabile o necessaria; la potenza stessa dei motori non è proprio il massimo se, ad esempio, volessimo realizzare un robot "rover" oppure un robot che in grado di interagire con oggetti non proprio dal "peso piuma". Per

questa ragione la società americana Pitsco ha ritenuto opportuno sopperire a queste -chiamiamole pure- carenze, realizzando propri prodotti che vi permetteranno di usufruire delle innumerevoli capacità offerte dai moduli programmabili NXT, abbinate ad un'adeguata struttura hardware, che non lascia insoddisfatto alcuno.

L'intero progetto, denominato Tetrix, portato avanti dai progettisti della Pitsco (<http://www.pitsco.com/>) fa largo uso dei migliori materiali disponibili sul mercato,

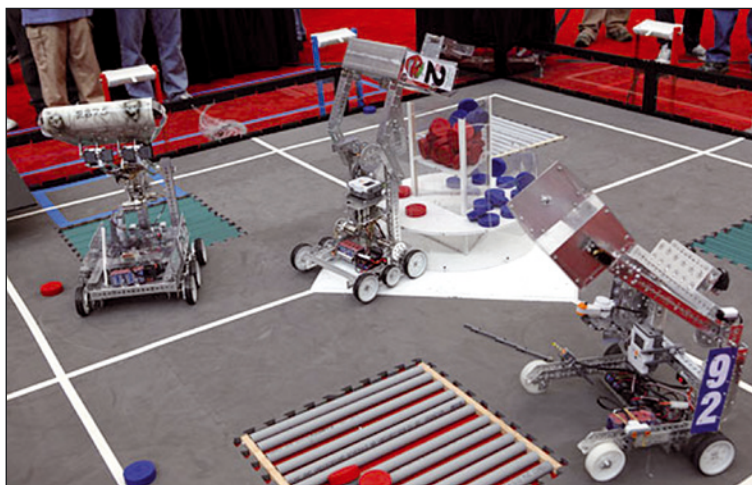
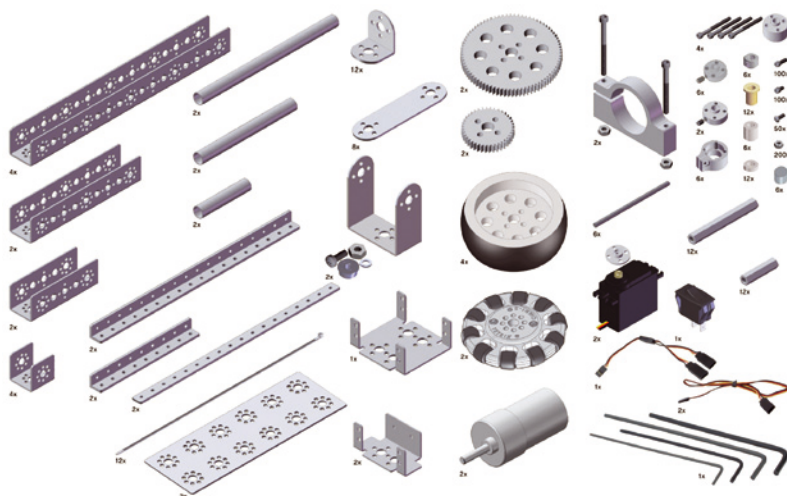


Fig. 1 - Tetrix alla FTC.

garantendo la realizzazione di componenti di prim'ordine. Con il termine Tetrix non si indica un ben preciso robot, bensì un insieme di componenti che permettono, opportunamente assemblati ed uniti al mattoncino CPU e in generale alla struttura LEGO NXT, di realizzare una molteplice quantità di robot tutti con funzioni e peculiarità diverse, tali che l'unico limite ai robot realizzabili sono dettati dalla fantasia di chi li assembla; infatti ciascun componente dispone di numerosi fori in modo che possa essere connesso ad altri componenti in maniere differenti. Si vedano, al riguardo, le immagini presenti in questo articolo, le quali riportano solo un piccolo esempio di quello che si può realizzare con i componenti del sistema Tetrix. Tetrix, il cui sito ufficiale è www.tetrixrobotics.com, è stato sviluppato per permettere la partecipazione alla FIRST Tech Chal-

Fig. 3 - Contenuto della confezione.



lenge (FTC) il cui sito ufficiale è <http://www.usfirst.org/>. Questa competizione, che coinvolge ragazzi da 9 ai 12 anni, è basata sull'uso dei moduli programmabili della LEGO e si suddivide in numerose categorie, compresa la più recente First LEGO® League.

Tetrix viene assemblato utilizzando diversi tipi di componenti in gran parte realizzati per estrusione di una lega di alluminio particolarmente dura e leggera, semplicemente avvitando delle viti. Ingranaggi e pignoni sono tutti ottenuti tramite macchine CNC, mentre le parti plastiche, tutte di ottima qualità, sono ridotte al minimo ed utilizzate essenzialmente per le ruote e qualche altro particolare. Alcune soluzioni permettono la perfetta adatta-

Fig. 2 - Tetrix set base.



bilità ai sensori e componenti LEGO NXT; particolare attenzione è stata posta nella possibilità di utilizzare servocomandi da modellismo standard, il che permette di aumentare di molto i gradi di movimento dei robot.

Tetrix dispone di robusti motori alimentati a 12 volt e capaci di sviluppare parecchi watt di potenza; in conseguenza di ciò il robot, una volta assemblato, arriva a pesare mediamente 3 kg.

Per capire meglio quali siano i componenti a disposizione, facciamo riferimento ai prodotti commerciali ora disponibili: Una prima confezione denominata TETRIX® Base Set visibile nella Fig. 1 è composta



Fig. 4 - Tetrrix starter pack.

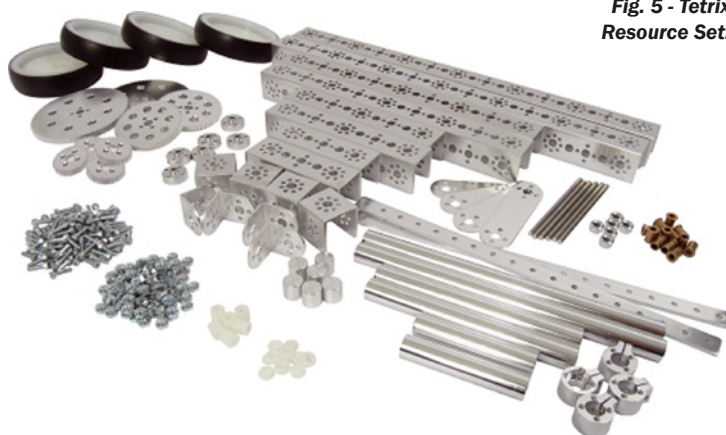


Fig. 5 - Tetrrix Resource Set.

dai seguenti componenti:

- longheroni strutturali e piastre;
- tubi e perni;
- servocomandi, motori, e accessori;
- ruote, ingranaggi e fissaggi;
- viti e chiavi a brugola.

Una seconda confezione, denominata TE-

TRIX® Starter Set, visibile nella **Fig. 2**, è composta dal Tetrrix Base Set con in più il TETRIX DC Motor Speed Controller e un telecomando a quattro canali per il controllo remoto.

Per chi volesse aggiungere ulteriori componenti è disponibile il TETRIX® Resource Set, che consiste in ulteriori pezzi meccanici e ruote.

Le differenti potenze in gioco rispetto ai LEGO NXT ed il diverso impiego hanno imposto ai progettisti di Tetrrix l'utilizzo di appositi circuiti elettronici per il controllo dei motori e dei servocomandi da modellismo; a tale scopo sono disponibili i seguenti componenti:

- TETRIX DC Motor Speed Controller necessario al controllo dei due motori a 12 volt e facilmente gestibile dal modulo NXT, in quanto con esso interfaccia-

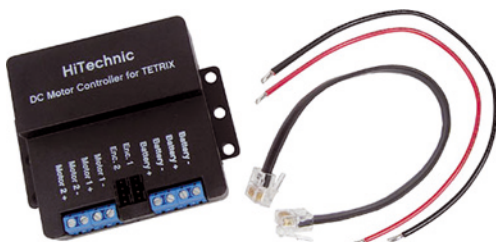


Fig. 6 - TETRIX DC Motor Speed Controller.



Fig. 7 - TETRIX Servo Controller.



Fig. 8 - Tetrrix Battery Pack.

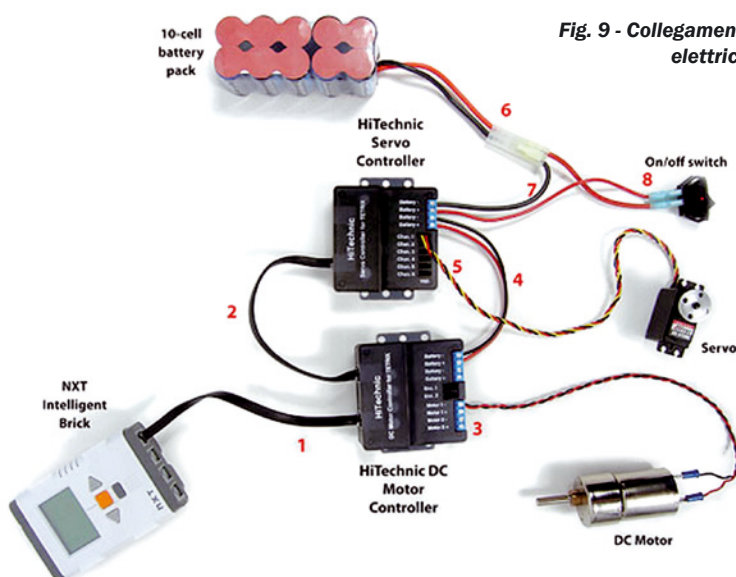


Fig. 9 - Collegamenti elettrici.

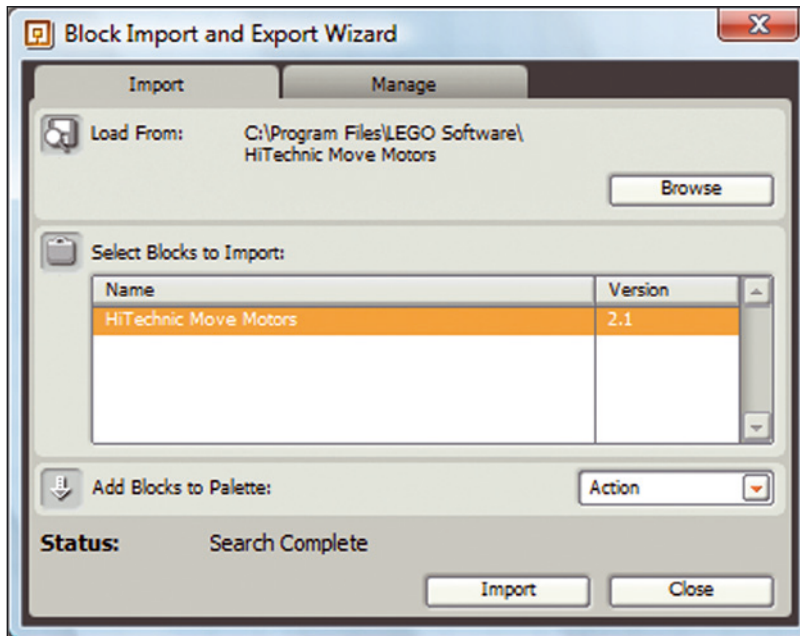


Fig. 10 - Aggiunta dei nuovi blocchi in NXT-G.

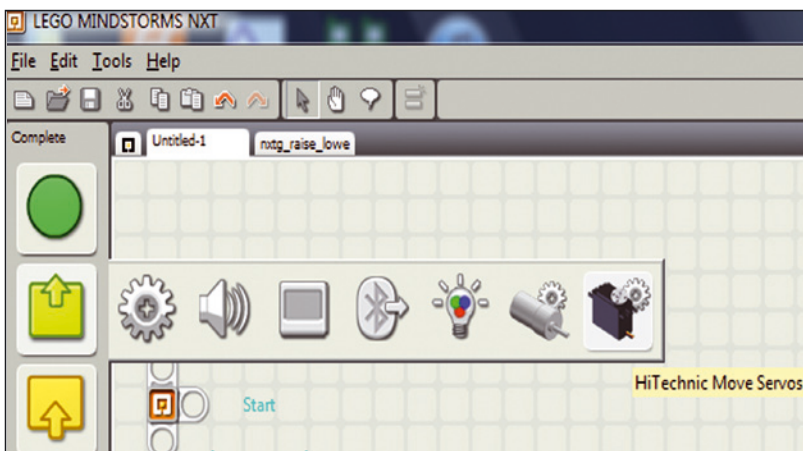
bile tramite le solite porte di comunicazione;

- Tetrix Servo controller, che permette il controllo di sei servocomandi da modellismo in modo indipendente, gestendone la rotazione tra -30° e $+30^\circ$ rispetto alla zona centrale; i servo si prestano bene per il controllo di bracci, pinze, nonché per la presa di oggetti e spesso anche per funzioni di pan e tilt per videocamere.

Potete trovare maggiori dettagli su questi due moduli sul sito del produttore, che è <http://www.hitechnic.com>.

Tetrix Battery Pack è invece l'alimenta-

Fig. 11 - Blocchi Tetrix disponibili.



zione di potenza per motori e servo ed è composto da 10 batterie ricaricabili Ni-Cd da ben 3.000 mAh, in grado di fornire una tensione di 12 volt.

È disponibile anche un apposito carica-batterie per questo pacco, il quale è dotato della funzione di ricarica rapida.

L'assemblaggio elettrico è molto semplice utilizzando gli stessi cavetti di LEGO NXT; gli unici morsetti da serrare, con un cacciavite, sono quelli dei fili dei motori e dell'alimentazione.

Tutta la documentazione riguardante l'assemblaggio meccanico è disponibile in formato cartaceo all'interno della confezione, ma, sul sito ufficiale www.tetrixrobotics.com, troverete molto di più, con ulteriori esempi e maggiori informazioni.

È disponibile anche un blog, in lingua inglese, mediante il quale gli sviluppatori di applicazioni possono confrontarsi <http://community.pitsco.com/blogs/tetrix/default.aspx>.

Per quanto riguarda la programmazione, essa si basa sul già molto noto ambiente di sviluppo dei LEGO NXT-G, al quale è però necessario aggiungere i blocchi di programmazione per il modulo motori e il modulo dei servocomandi; allo scopo, dal sito ufficiale della Pitsco accedete alla sezione *Mindstorm*, quindi alla sezione *download* e poi, portandovi su *programming blocks*, potete scaricare due file zippati contenenti i nuovi blocchi di programmazione.

Per poterli utilizzare avviate il software di programmazione NXT-G e cliccate su *Tools-BlockImports*, quindi aggiungete la cartella (scompattata) relativa ai file appena scaricati.

Adesso, nella sezione *Action* troverete i blocchi relativi ai due moduli per il controllo dei motori e dei servo.

Utilizzare questi nuovi blocchi è molto semplice: ad esempio, per il blocco motori è sufficiente specificare a quale porta è connesso il modulo, la velocità e la direzione di marcia, come per il modulo originale NXT-G. L'unica accortezza, se volete far ruotare assieme entrambi i motori, è quella di impostare la variabile *motor* su "A+B" e la variabile *reverse* su "B"; il motore B (oppure A, a seconda dell'installa-



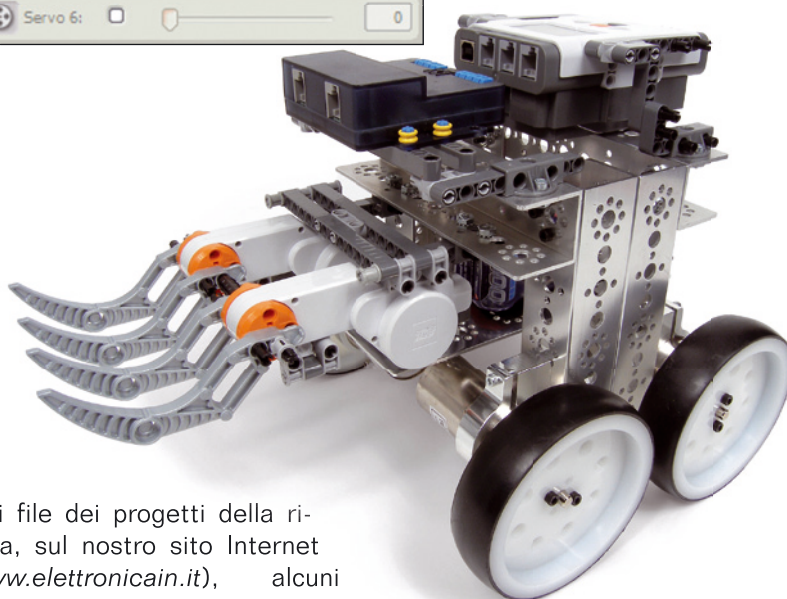
Fig. 12 - Blocco controllo motori.



Fig. 13 - blocco controllo servi.

zione) ruoterà con verso opposto rispetto al motore A (oppure B a seconda dell'installazione).

Il blocco Move-Servo permette la gestione dei sei servo connessi al modulo Servo controller. L'impostazione dei parametri di funzionamento è, anche in questo caso, molto semplice: come porta di comunicazione scegliete la stessa specificata nel controllo motori, mentre come controller impostate il valore "2", in quanto il valore "1" è -per impostazione predefinita- quello del controllo motore. I servo attivi sono quelli in cui è presente il segno di spunta accanto al nome, il valore a fianco è invece la posizione che assumerà il servo non appena ricevuto il comando; al valore 1 corrisponde una rotazione di -30° , al valore 255 una rotazione di $+30^\circ$ e, infine, al valore 127 corrisponde il posizionamento centrale. Per facilitare i vostri primi esperimenti rendiamo disponibili, assieme agli



altri file dei progetti della rivista, sul nostro sito Internet (www.elettronica.in.it), alcuni esempi di utilizzo di questi blocchi, già configurati e pronti per essere caricati nel modulo NXT.

Assicuratevi solo che il DC_Motor_Controller sia correttamente collegato alla porta 1 dell'NXT.

Buon divertimento con Tetrix e LEGO! □



cod: ARDUINOUNOKIT

€ 55,00

IVA inclusa.

Arduino

la piattaforma open source alla portata di tutti

STARTER KIT CON ARDUINO UNO

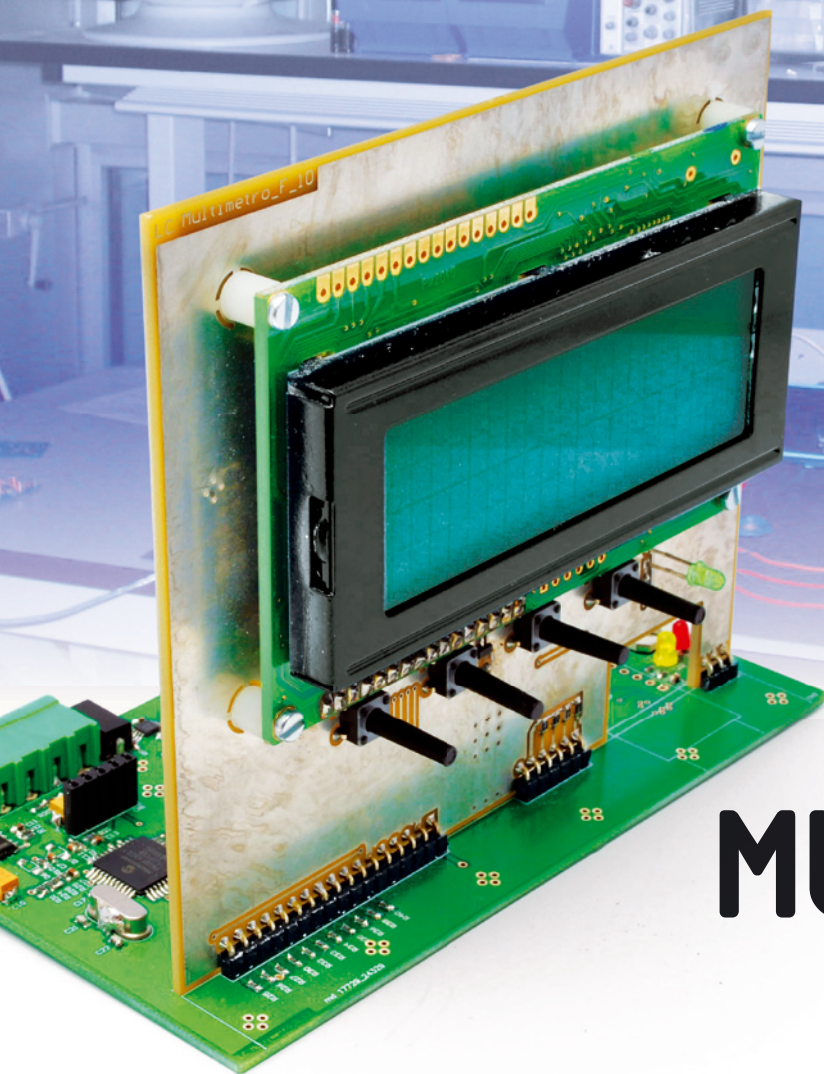
kit composto da scheda Arduino UNO, cavo USB, mini Breadboard a 170 contatti con 10 cavetti da 1,5 cm, piastra sperimentale (58,50 x 82,70mm), 2 motori elettrici, fotoresistenza, termistore, LED, micropulsanti, transistor e molti altri componenti necessari per cominciare ad utilizzare questa potente piattaforma hardware.



FUTURA ELETTRONICA

Via Adige, 11 • 21013 Gallarate (VA)
Tel. 0331/799775 • Fax. 0331/792287

Maggiori informazioni su questo prodotto e su tutte le altre apparecchiature sono disponibili sul sito www.futurashop.it tramite il quale è anche possibile effettuare acquisti on-line.



Misura tensioni da 0 a 36 Vcc e correnti fino a 5 A e può memorizzare eventuali superamenti di soglie di tensione, corrente e potenza, selezionabili da un apposito menu. Seconda puntata.

MULTIMETRO DIGITALE

di MATTEO DESTRO

Nella precedente puntata abbiamo descritto l'hardware del multimetro senza però parlare del firmware memorizzato nella memoria Flash del PIC18F4523. In queste pagine colmeremo questa lacuna, andando ad approfondire i concetti utilizzati per la realizzazione del firmware. La descrizione inizierà dalla trattazione del menu operatore necessario per impostare e sfruttare le potenzialità messe a disposizione dello strumento stesso.

MAPPATURA EEPROM PIC18F4523 E GESTIONE TESTI SUL DISPLAY

Il PIC18F4523 possiede 256 byte di EEPROM, la quale viene utilizzata in parte per la gestione dello

strumento; la EEPROM non utilizzata viene comunque configurata con un valore fisso (0xFF). La **Tabella 1** riepiloga i dati salvati in EEPROM e la loro rispettiva locazione di memoria (indirizzo). Per quanto riguarda i testi fissi che compaiono sul display LCD, sono memorizzati nella Flash del PIC18F4523 e vengono richiamati utilizzando delle apposite routine per la lettura della stessa. Ai testi fissi viene solitamente abbinato un testo variabile, ad esempio una misura di tensione, il quale viene aggiunto in automatico dal firmware dopo le opportune elaborazioni. I testi sono memorizzati in Flash a partire dall'indirizzo 0x0300 fino all'indirizzo 0x05C3. La **Fig. 1** mostra uno scorcio della

Tabella 1

Add	Descrizione
0x00 ÷ 0x01	Flag configurazione multimetro. Attualmente viene salvato solo il riferimento all'offset. Se Bit impostato a 0 offset negativo, se invece bit impostato a 1 offset positivo.
0x02 ÷ 0x03	Offset di correzione lettura valore analogico. Il valore dell'offset viene ricavato durante la taratura dello strumento.
0x04	Valore del contrasto LCD.
0x05 ÷ 0x0F	Non utilizzati. Byte impostati a 0xFF.
0x10 ÷ 0x11	Soglia di tensione massima. Se viene superata questa soglia si genera una anomalia la quale viene salvata nella EEPROM I ² C come descritto precedentemente.
0x12 ÷ 0x13	Soglia di corrente massima. Se viene superata questa soglia si genera una anomalia la quale viene salvata nella EEPROM I ² C come descritto precedentemente.
0x14 ÷ 0x17	Soglia di potenza massima. Se viene superata questa soglia si genera una anomalia la quale viene salvata nella EEPROM I ² C come descritto precedentemente.
0x18 ÷ 0x19	Soglia di tensione minima. Se viene superata questa soglia si genera una anomalia la quale viene salvata nella EEPROM I ² C come descritto precedentemente.
0x1A ÷ 0x1B	Soglia di corrente minima. Se viene superata questa soglia si genera una anomalia la quale viene salvata nella EEPROM I ² C come descritto precedentemente.
0x1C ÷ 0x1F	Soglia di potenza minima. Se viene superata questa soglia si genera una anomalia la quale viene salvata nella EEPROM I ² C come descritto precedentemente.
0x20 ÷ 0xFF	Non utilizzati. Byte impostati a 0xFF.

memoria Flash del PIC18F4523 dove si possono osservare i testi di cui abbiamo parlato. Sempre in Flash, viene salvata la tabella di linearizzazione riguardante le misure in corrente.

Per ognuno dei 4096 possibili valori di quantizzazione si applica un fattore di correzione necessario a linearizzare e a rendere più precisa la misura di corrente. I valori di linearizzazione vengono prelevati dalla Flash usando delle apposite routine che descriveremo tra breve.

Adesso occupiamoci di spiegare come è stato realizzato il firmware, del menu di gestione dello strumento e di come gestire e utilizzare le varie funzioni messe a disposizione dallo stesso.

MENU DI GESTIONE DEL MULTIMETRO

Iniziamo la descrizione del firmware dal menu operatore il quale, a seconda delle selezioni fatte, mostrerà informazioni di natura diversa. Oltre al menu principale, composto da due pagine, ci sono diversi sotto-menu che serviranno per mostrare delle informazioni oppure per eseguire delle impostazioni, come ad esempio la data del clock calendar. La Fig. 2 mostra l'albero del

menu con tutti i relativi sotto-menu necessari alle varie configurazioni.

Come si può intuire, per interagire con il menu si utilizzano i pulsanti **P1**, **P2**, **P3** e **P4**, i quali sono posizionati esattamente sotto il pannello LCD. La posizione di ogni pulsante non è casuale, ma si colloca sotto la relativa voce di menu nel display. Per capire meglio provate a guardare la Fig. 2 e, più precisamente, il menu identificato con il numero 1: si può notare che ad ogni pulsante è associata una voce di menu ed è così per tutti gli altri menu e sotto-menu.

Sempre guardando alla predetta figura, si può notare che sono state create due pagine per il menu principale (1 e 2) e tutta una serie di sotto-menu richiamabili dai due menu principali.

Le voci del menu principale sono essenzialmente sei, in particolare:

- **PAC**: Page alarm clear (cancella gli allarmi memorizzati in EEPROM);
- **PAV**: Page alarm view (visualizza gli allarmi memorizzati in EEPROM);
- **PAS**: Page alarm setting (imposta le soglie minima e massima per la tensione, la corrente e la potenza);

- **PDS**: Page display setting (imposta il contrasto del display LCD);
- **PCS**: Page clock-calendar setting (imposta la data e l'ora del clock calendar);
- **PUS**: Page USB setting (imposta la gestione della periferica USB: riservata a futuri sviluppi).

Tutte le voci di menu compaiono nella quarta riga del display LCD, in particolare **PAC**, **PAV** e **PAS** fanno parte della prima pagina di menu (1), mentre **PDS**, **PCS** e **PUS** sono parte della seconda pagina (2). Per passare da una pagina alla successiva si utilizza la freccia "giù" oppure "su" a seconda che ci si trova nella prima o seconda pagina. Il simbolo della freccia è associato al pulsante **P1**, mentre i simboli **PAC** (**PDS**), **PAV** (**PCS**) e **PAS** (**PUS**) sono rispettivamente abbinati ai pulsanti **P2**, **P3** e **P4**.

Nelle pagine del menu principale compaiono anche i valori di tensione, corrente e potenza misurati istante per istante, nonché l'ora corrente, il giorno della settimana e la data. In questo modo si ha una visione completa della situazione. Le misure di tensione, corrente e potenza sono identificabili rispettivamente dalle lettere **V**, **I** e **W** in testa ai valori visualizzati.

In entrambe le pagine del menu principale, per attivare l'acquisizione degli allarmi si devono premere assieme i pulsanti **P3** e **P4**. La conferma dell'attivazione sarà data dalla comparsa di un pallino sulla prima riga del display LCD, che verrà posizionato esattamente tra la misura di tensione e la visualizzazione dell'ora corrente (punto 3 nella Fig. 2).

Premendo nuovamente i due pulsanti **P3** e **P4** si andrà a disattivare la funzione di acquisizione ed il pallino scomparirà

Fig. 1

dal display. Se è stato rilevato un allarme, ovviamente dopo averne attivato l'acquisizione, e se per questa tipologia di allarme il buzzer è attivo, quest'ultimo suonerà secondo una ben precisa cadenza, come già accennato nella precedente puntata. Se si desidera tacitare tale buzzer sarà necessario premere assieme i pulsanti **P1** e **P2**.

Ovviamente se verrà intercettato un nuovo allarme e se esso prevede la gestione del buzzer, quest'ultimo tornerà a suonare come da programma. La pressione dei pulsanti **P1** e **P2** per la tacitazione del buzzer può essere fatta sia nella prima che nella seconda pagina del menu principale.

A questo punto possiamo passare alla descrizione dei vari sotto-menu cominciando da quello chiamato **PAS**, il quale viene richiamato premendo il pulsante **P4** nella prima pagina del menu principale. Premendo **P4** viene richiamata una nuova pagina che invita a scegliere su quale tipologia di misura si vuole intervenire per impostare le soglie di massimo e di minimo (4). Tali soglie, se superate, identificano una situazione di allarme e se l'acquisizione degli allarmi è abilitata, queste vengono registrate nella EEPROM I²C presente sulla scheda. Per selezionare su quale misura intervenire dovete utilizzare i pulsanti **P1** e **P2**. Agendo su questi pulsanti si sposta la selezione la quale è identificata da un pallino. Per convalidare la selezione fatta e quindi aprire un ulteriore sotto-menu, premete il pulsante **P3** (ENT), ovvero **P4** (ESC) per ritornare al menu principale.

Per fare un esempio, supponiamo di voler impostare le soglie di massimo e minimo per le misure di tensione: premendo il pulsante

0300	4920	504D	534F	4154	4552	5420	4E45	4953	IMPOSTA RE TENS
0310	4E4F	2045	2020	4E49	5247	5345	4F53	4120	ONE IN GRESSO A
0320	2B20	5635	4344	2020	2020	2045	5250	4D45	+SVDC E PREM
0330	5245	2045	4E45	4554	2052	2020	2020	2020	ERE ENTE R
0340	2020	2020	2020	2020	2020	2020	4E45	2054	ENT
0350	2056	2020	2E20	2020	2020	2020	2020	203A	V . :
0360	3A20	2020	2049	2020	2E20	2020	2020	2020	: I . :
0370	2020	2020	2020	2020	2057	2020	2E20	2020	W .
0380	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	
0390	2020	4150	2043	5020	5641	2020	4150	2053	PAC P AV PAS
03A0	2020	2020	2020	4450	2053	5020	5343	2020	PD S PCS
03B0	5550	2053	2020	4C41	5241	204D	4F46	2052	PUS AL ARM FOR
03C0	2056	2020	2020	2020	2020	4C41	5241	204D	V ALARM
03D0	4F46	2052	2049	2020	2020	2020	4C41	2020	FOR I AL
03E0	5241	204D	4F46	2052	2057	2020	2020	2020	ARM FOR W
03F0	2020	2020	2020	2020	2020	4520	544E	2020	ENT
0400	5345	2043	2020	6D56	7861	2020	2020	2020	ESC Vm ax
0410	2020	2020	2020	2020	2020	6D56	6E69	2020	Vmin
0420	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	5542	BU
0430	5A5A	5245	2020	2020	2020	2020	2020	2020	ZZER
0440	2020	2020	2020	2020	2020	4520	544E	2020	ENT
0450	5345	2043	2020	6D49	7861	2020	2020	2020	ESC Im ax
0460	2020	2020	2020	2020	2020	6D49	6E69	2020	Imin
0470	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	6D57	Wm
0480	7861	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	ax
0490	2020	6D57	6E69	2020	2020	2020	2020	2020	Umin
04A0	2020	2020	4C41	5241	204D	554E	424D	5245	ALAR M NUMBER
04B0	2020	2020	2020	2020	2056	2020	2E20	2020	V .
04C0	2020	2020	4220	5A55	2020	2020	2020	2020	BUZ
04D0	2020	2020	2020	2020	2020	2020	5345	2043	ESC
04E0	4F44	5920	554F	5720	4E41	2054	4C43	4145	DO YOU W ANT CLEA
04F0	2052	2020	4C41	5241	204D	494C	5453	3F20	R ALAR M LIST ?
0500	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	
0510	2020	2020	2059	2020	4E20	2020	2020	2020	Y N
0520	434C	2044	4F43	544E	4152	5453	2020	2020	LCD CONT RAST
0530	3020	2025	2020	2020	2020	2020	2020	3120	0%
0540	3030	2025	2020	2020	2020	2020	2020	4520	00%
0550	544E	2020	5345	2043	2020	2020	203A	3A20	NT ESC : :
0560	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	203A	:
0570	3A20	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	:
0580	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	
0590	FFFF	FFFF	0400	150E	0404	0004	0400	0404	
05A0	0E15	0004	0000	1E0C	0C1E	0000	0000	1E1E	
05B0	1E1E	001E	0400	3F02	0402	0000	0800	3F10	 ?
05C0	0810	0000	6A1A	6A19	0E10	6EE7	90D8	361D	j.j ...n...6

P3 viene richiamato un ulteriore sotto-menu nel quale si deve selezionare se si vuole impostare la soglia di massimo, di minimo o abilitare/disabilitare il buz-

zer (5). Come per il sotto-menu precedente, la selezione viene fatta agendo sui pulsanti **P1** e **P2**; un pallino a sinistra indicherà la selezione desiderata. A questo

D	M	Y	HH	MM	SS	TH	TYPE	BZ	VALUE
1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	7 Byte
◆ D:	Giorno. Indica il giorno di registrazione dell'allarme								
◆ M:	Mese. Indica il mese di registrazione dell'allarme								
◆ Y:	Anno. Indica l'anno di registrazione dell'allarme								
◆ HH:	Ora. Indica l'ora rispetto alla quale è stato registrato l'allarme								
◆ MM:	Minuti. Indica i minuti rispetto ai quali è stato registrato l'allarme								
◆ SS:	Secondi. Indica i secondi rispetto ai quali è stato registrato l'allarme								
◆ TH:	Soglia. Indica se è stata superata la soglia superiore (U), inferiore (D) o se il parametro è rientrato nella norma (O)								
◆ TYPE:	Indica il tipo di allarme. In tensione (V), in corrente (I) oppure di potenza (W)								
◆ BZ:	Buzzer. Se il valore è 1 buzzer attivo quando rilevato allarme, se 0 buzzer non attivo quando rilevato allarme								
◆ VALUE:	Valore di tensione, corrente o potenza memorizzato (Valore ASCII)								

Riquadro 1 - Distribuzione dei dati relativi agli allarmi.

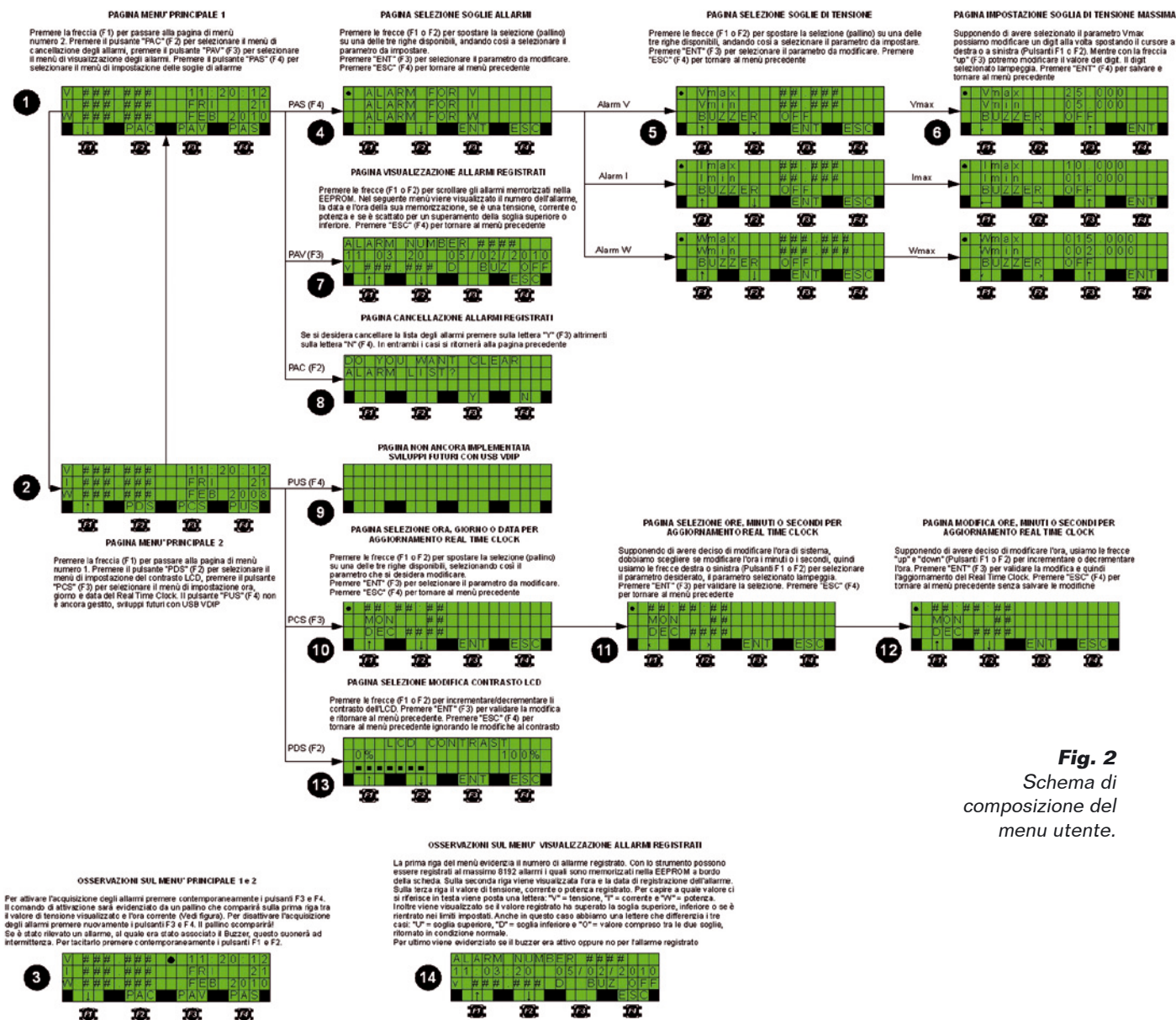


Fig. 2
Schema di composizione del menu utente.

punto, se si vuole convalidare la selezione bisogna premere il pulsante **P3**; se, invece, si vuole annullare, occorre premere il pulsante **P4**, azione che fa ritornare al precedente sotto-menu. La convalida della selezione abilita il sistema per la modifica del valore di soglia selezionato. L'evidenza dell'abilitazione ad apportare la modifica è data dal cursore che lampeggia e dal fatto che la riga quattro dell'LCD è cambiata (6); infatti compariranno due frecce per muovere il cursore lampeggiante a sinistra (**P1**) o a destra (**P2**) ed una freccia

verso l'alto (**P3**) per incrementare il numero selezionato dal cursore. Il pulsante **P4** (**ENT**) servirà per validare il nuovo valore di soglia. Premendo detto pulsante, oltre a validare il nuovo valore di soglia il sistema provvederà anche a memorizzarlo nella EEPROM presente sul PIC18F4523. Quanto appena detto è valido per l'impostazione della soglia sia minima che massima. Se invece si decide di abilitare/disabilitare il buzzer, i pulsanti **P1** e **P2** perdono di significato; per abilitare o disabilitare il buzzer verrà usato solo il pulsante **P3**. A questo punto

si deve premere **P4** (**ENT**) per salvare la modifica apportata. Tutto quanto è stato detto fino ad ora è valido anche per l'impostazione delle soglie di massimo e minimo inerenti alle misure di corrente e di potenza. Per i dettagli, guardate sempre la **Fig. 2**, che vi permette di identificare il percorso da seguire tra i sotto-menu. Passiamo adesso alla descrizione del sotto-menu **PAV**, il quale viene richiamato premendo il pulsante **P3** nella prima pagina del menu principale. Questo menu ha il solo scopo di visual-

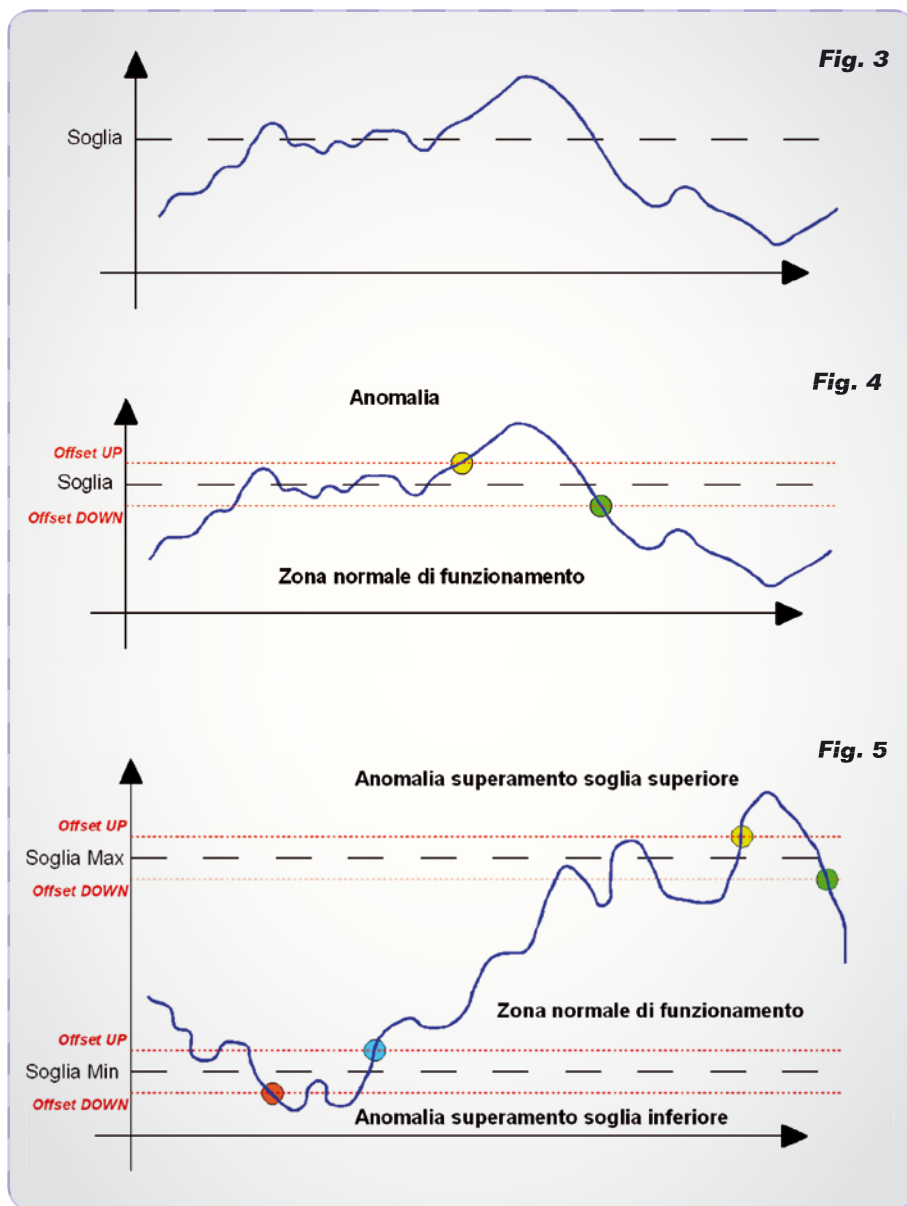
lizzare gli allarmi memorizzati nella EEPROM I²C; ricordiamo che ogni allarme memorizzato necessita di 16 byte di spazio, che sono distribuiti come mostra il

Riquadro 1.

Dato che la memoria EEPROM su bus I²C è da 1 Mbit, cioè 128 kbyte, si possono memorizzare fino a un massimo di 8.192 allarmi. Il sotto-menu, quindi, avrà il solo scopo di visualizzare le informazioni memorizzate in un modo più "leggibile". Sempre guardando la Fig. 2, si può notare che sulla prima riga del display LCD viene visualizzato il numero dell'allarme visualizzato, sulla seconda riga compare l'ora e la data di memorizzazione dell'evento e sulla terza viene evidenziata la tipologia dell'anomalia memorizzata, ovvero "V" per le misure di tensione, "I" per le misure di corrente e "W" per le misure di potenza. Segue, quindi, il valore memorizzato durante l'anomalia ed in coda ad esso viene evidenziato se si è superata la soglia superiore "U", quella inferiore "D" oppure se il valore analogico è rientrato nella norma, cioè tra la soglia minima e la soglia massima ("O").

Per ultimo, sempre sulla terza riga, viene evidenziato se il buzzer era attivo oppure no durante la rilevazione dell'anomalia. Sull'ultima riga vengono evidenziati i tre possibili comandi che si possono impartire in questo sotto-menu. I pulsanti P1 e P2 servono per scorrere gli allarmi memorizzati, il pulsante P3 non ha significato (quindi non è utilizzato) mentre il P4 (ESC) serve per uscire dal relativo sotto-menu.

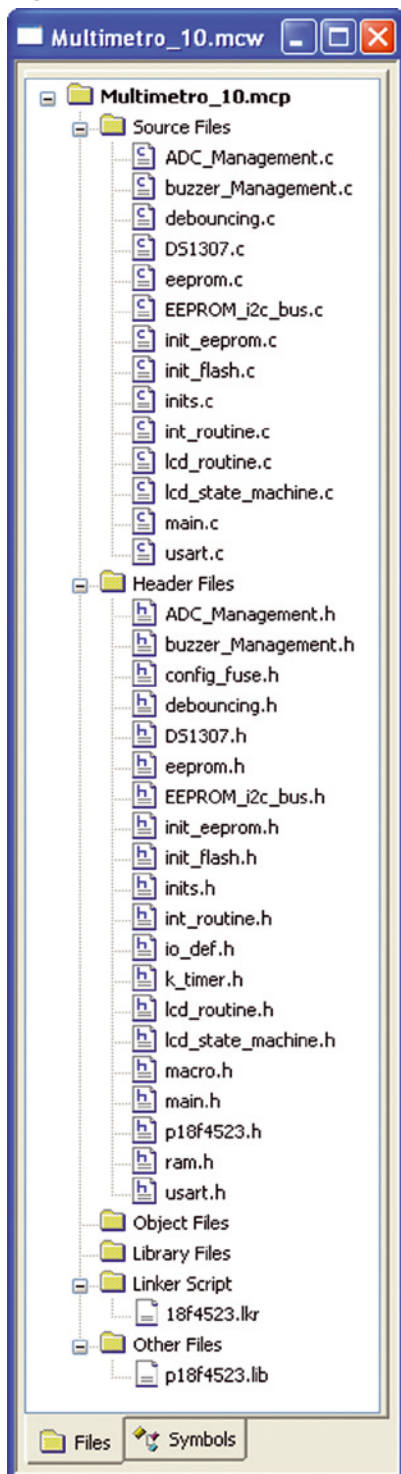
Non rimane che parlare del sotto-menu PAC (punto 8) il quale viene richiamato premendo il pulsante P2 nella prima pagina del menu principale; esso serve



unicamente per cancellare gli allarmi memorizzati nella memoria EEPROM esterna. Una volta attivato il sotto-menu, non rimane che decidere se cancellare gli allarmi, premendo il pulsante P3 (Y) oppure uscire dal sotto-menu e premere il pulsante P4 (N). Passiamo ora alla seconda pagina del menu principale, dalla quale si possono selezionare i sotto-menu PUS, PCS e PDS. Il sotto-menu PUS per ora non è operativo, in quanto la gestione della periferica USB HOST dell'integrato VDIP non è ancora implementata, quindi il pulsante P4 perde

di significato (9). Chi di voi se la sente, può modificare il firmware per attivarlo ed utilizzarlo. Saltiamo quindi al sotto-menu per l'impostazione del contrasto del display LCD, richiamabile premendo il pulsante P2 (PDS). In questo sotto-menu (13) si utilizzano i pulsanti P1 e P2 per aumentare/diminuire il contrasto del display LCD, mentre il pulsante P3 (ENT) serve per convalidare la modifica; il P4 (ESC) viene usato per uscire dal sotto-menu senza salvare le modifiche impostate. La regolazione del contrasto

Fig. 6



viene evidenziata sulla terza riga da una barra di riempimento che va da un minimo (0 %, basso contrasto) a un massimo (100 % alto contrasto).

Infine esaminiamo il sotto-menu PCS (punto 10), richiamabile con il pulsante P3 dal menu princi-

pale, il quale serve per impostare la data e l'ora del clock calendar presente sulla scheda. In questo sotto-menu, nella prima riga compare l'ora da modificare (ore, minuti e secondi); sulla seconda riga compare il giorno della settimana e il giorno corrente del mese. Infine sulla terza riga ritroviamo il mese corrente e l'anno. Sull'ultima riga ci sono i riferimenti soliti per interagire con il menu. Con i pulsanti P1 e P2 si selezioneranno i parametri che si vogliono modificare mentre con il pulsante P3 (ENT) si convalida la selezione.

La selezione del parametro che si vuole modificare viene evidenziata, come per gli altri sotto-menu, da un pallino che compare alla sinistra del parametro stesso. Per uscire dal sotto-menu premere il pulsante P4 (ESC).

Supponendo di volere modificare l'ora corrente (Ora, minuti e secondi), posizionate il pallino alla sinistra della stessa e poi premete il pulsante P3 (ENT); a questo punto l'ultima riga del display LCD verrà modificata e compariranno due frecce, sinistra (P1) e destra (P2), con le quali si potrà decidere se modificare l'ora, i minuti o i secondi (11). L'evidenza della selezione è data dal lampeggio dell'ora, dei minuti o dei secondi. Per convalidare la scelta premere nuovamente il pulsante P3 (ENT) oppure, per annullare, premere P4 (ESC). Premendo il pulsante P3 si convalida la selezione, ad esempio delle ore, di conseguenza la riga quattro dell'LCD cambierà nuovamente e con i pulsanti P1 e P2 si incrementerà o si diminuirà il valore da assegnare all'ora corrente (punto 12); lo stesso discorso si applica ai minuti e ai secondi previa selezione fatta nel precedente sotto-menu. Mentre si modifica il valore dell'ora

quest'ultima lampeggerà continuando ad evidenziare la selezione della stessa. Ottenuto il valore desiderato premere P3 (ENT) per salvare la modifica oppure P4 (ESC) per annullare le modifiche. Le modifiche apportate, se convalidate, verranno inviate all'integrato DS1307. Quanto appena discusso è estendibile anche al giorno della settimana, mese ecc.

SOGLIE GESTIONE ALLARMI

Nella trattazione del precedente paragrafo abbiamo accennato alla possibilità di impostare le soglie di minimo e di massimo per le misure in tensione, corrente e potenza. Il concetto di soglia è uguale per tutte e tre le misure e quindi tratteremo solo le soglie per le misure in tensione, in quanto il ragionamento si applica anche alle misure in corrente e potenza. Impostando il valore di massimo e minimo si configura il sistema a riconoscere tali soglie e, se superate, a identificare tale evento come anomalia. Usiamo la Fig. 3 per evidenziare il concetto di soglia; in essa si può osservare il segnale analogico di tensione che varia nel tempo (disegnato in blu) e in nero si è tracciata la soglia (tratteggiato). Tutte le volte che il segnale supera la soglia, si genera un evento che viene rilevato e salvato in EEPROM come anomalia. Con una soglia così impostata, c'è il rischio che se il segnale analogico continua a cambiare in prossimità della soglia il sistema continuerà a passare da una condizione di non anomalia a una situazione di anomalia. Per ovviare a questo inconveniente si è soliti introdurre un offset, sia positivo che negativo, per creare una zona di "svuotamento" dove le piccole variazioni del segnale analogico non fanno scattare la condizione di anomalia. Per capire quanto

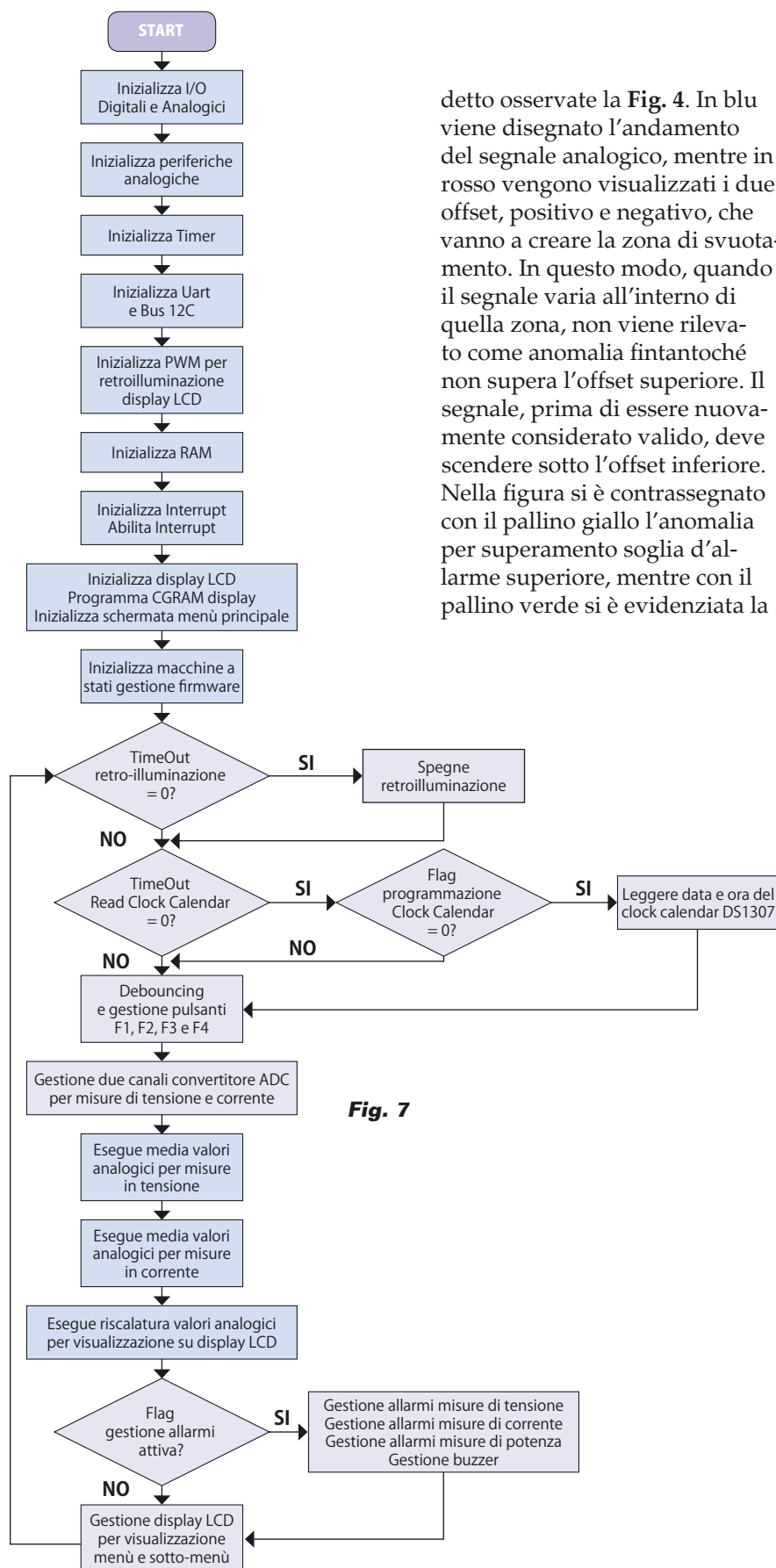


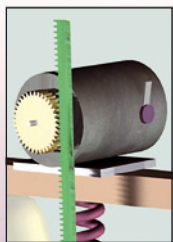
Fig. 7

detto osservate la **Fig. 4**. In blu viene disegnato l'andamento del segnale analogico, mentre in rosso vengono visualizzati i due offset, positivo e negativo, che vanno a creare la zona di svuotamento. In questo modo, quando il segnale varia all'interno di quella zona, non viene rilevato come anomalia fintantoché non supera l'offset superiore. Il segnale, prima di essere nuovamente considerato valido, deve scendere sotto l'offset inferiore. Nella figura si è contrassegnato con il pallino giallo l'anomalia per superamento soglia d'allarme superiore, mentre con il pallino verde si è evidenziata la

condizione di ritorno del segnale analogico a una situazione di normalità. Tra i due offset c'è il valore di soglia impostato, disegnato con un tratteggio. Per ultimo osserviamo la **Fig. 5**, dove si evidenzia l'andamento del segnale analogico tra le due soglie di massimo e di minimo. Quando il segnale analogico rimane entro le due soglie significa che non ci sono anomalie, mentre se il segnale scende sotto la soglia di minimo o sopra la soglia di massimo, viene registrata l'anomalia. Se il segnale si muove nelle due possibili zone di "svuotamento", una per la soglia di minimo e una per la soglia di massimo, il sistema non registrerà nessuna anomalia nemmeno se lo stesso ritorna nella zona normale di funzionamento. Nella figura si è evidenziata con il pallino arancione l'anomalia per superamento della soglia inferiore, mentre il pallino azzurro evidenzia il ritorno alla condizione di nessuna anomalia (il segnale è rientrato tra le due soglie); con il pallino giallo è stata evidenziata l'anomalia dovuta al superamento della soglia superiore e, infine, il pallino verde contrassegna un nuovo ritorno alla condizione di nessuna anomalia.

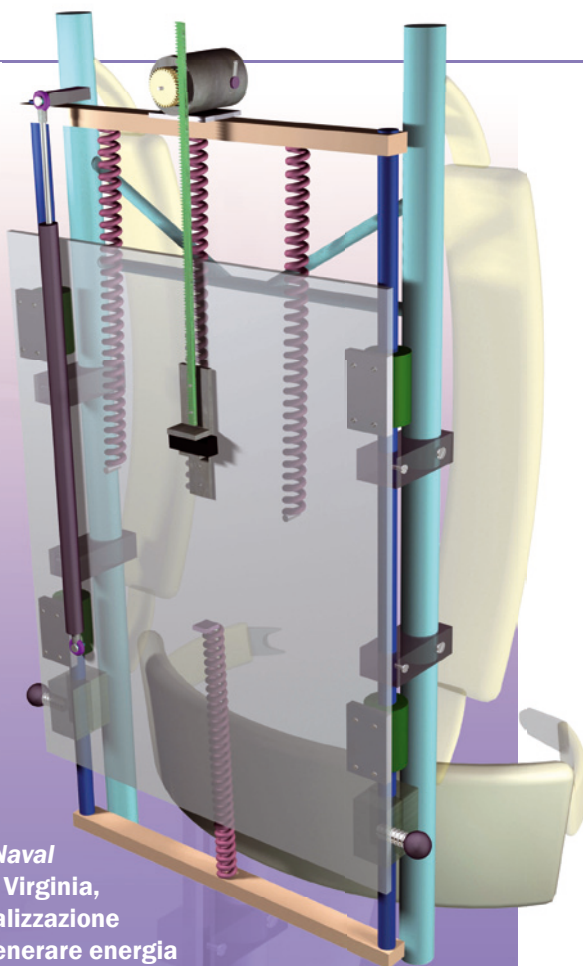
I valori di offset per le soglie di massimo e di minimo vengono impostati manualmente nel firmware e salvati come costanti. Nell'applicazione si sono impostate tre costanti, una per ogni misura, alle quali è stato assegnato il valore 100, equivalente a quasi 100 mV sulla lettura analogica da parte del convertitore ADC.

Si ricorda che con una risoluzione di 12 bit e una V_{ref+} di +4 V si ottiene una risoluzione di circa 976 μV . Se si desidera, si può aumentare o diminuire tali costanti a seconda delle esigenze. Queste



Elettricità ...in spalla

In America, all'Office of Naval Research di Arlington, in Virginia, stanno lavorando alla realizzazione di uno zaino capace di generare energia elettrica; basato sulla tecnologia *Small Business Technology Transfer*, lo zaino trasforma l'oscillazione cui è sottoposto dalla camminata, in corrente elettrica. Il generatore contenuto nello zaino funziona grazie ad una cella di carico, dove un peso trattenuto da molle scorre su due guide, azionando una cremagliera che ingrana il pignone di una dinamo. Il sistema, denominato *Suspended Load Backpack*, è in grado di generare fino a 7,4 W di potenza, sufficienti ad alimentare o ricaricare un lettore MP3, un computer palmare, un decoder per immagini CMOS, oppure un palmare GPS o un dispositivo Bluetooth.



costanti non sono modificabili utilizzando il menu di cui si è parlato in precedenza.

DESCRIZIONE DEL FIRMWARE (MAIN)

Analizziamo adesso il firmware necessario alla corretta gestione di tutta l'elettronica presente sulla scheda, il quale, come di consueto, è stato scritto in linguaggio ANSI C, il quale semplifica la realizzazione di routine complesse e rende allo stesso tempo il firmware più leggibile.

La Fig. 6 mostra l'impostazione

del progetto, che viene suddiviso su più file allo scopo di semplificarne la gestione. Per ogni file ".c" esiste il suo corrispondente ".h" che contiene la dichiarazione delle funzioni e le relative costanti utilizzate nel file ".c". Il file "ram.h" contiene le dichiarazioni di tutte le variabili pubbliche utilizzate nel firmware, cioè visibili da tutte le funzioni, mentre il "p18f4523.h" contiene le definizioni di tutti i registri del PIC; il file viene fornito direttamente dalla Microchip e va incluso obbligatoriamente nel progetto.

La Fig. 7 mostra lo schema a blocchi che descrive la "spina dorsale" su cui si basano tutte le funzioni messe a disposizione dal firmware stesso. Il firmware inizia sempre con la configurazione delle periferiche hardware presenti sul PIC18F4523, per concludersi con l'inizializzazione della memoria RAM a un valore noto (solitamente tutti zero). Concluse le varie inizializzazioni, si possono configurare e abilitare gli interrupt necessari alla gestione delle periferiche presenti a bordo del PIC18F4523. Gli unici interrupt gestiti dal firmware riguardano il timer0 e il convertitore analogico digitale a 12 bit. In seguito verrà aggiunta la gestione degli interrupt in trasmissione e ricezione dei dati attraverso l'interfaccia RS232 collegata direttamente al device VDIP1, che fa parte degli sviluppi futuri. Successivamente si deve configurare il controller del display LCD e, se necessario, configurare la sua CGRAM. Nell'applicazione si fa uso di caratteri non presenti nella tabella ASCII del controller e quindi è necessario programmare la memoria CGRAM; questi caratteri misurano 8x8 pixel e vengono letti dalla memoria Flash del PIC18F4523. I caratteri speciali trasferiti dalla Flash del PIC alla CGRAM riguardano le frecce (Up, Down, Right e Left), il pallino di selezione delle opzioni di configurazione nei vari sotto-menu e i rettangoli usati per la generazione della scrollbar nel menu di configurazione del contrasto del display LCD. Nel passo successivo si devono configurare tutte le macchine a stati che si occupano della gestione del multimetro. Concluso anche questo passo, il sistema entra in un loop infinito (main) nel quale chiamerà in sequenza tutte le funzioni necessarie a gestire

il multimetro. In cima al main, il sistema testa se il timeout per la gestione della retroilluminazione è andato a zero; in tal caso spegne la retroilluminazione del display LCD evitando sprechi di corrente. Successivamente viene testato il timeout per la gestione della lettura della data e dell'ora dall'integrato DS1307; se questo timeout è scaduto, cioè vale zero, allora si può iniziare la lettura della data e dell'ora a patto che non si sia attivato il sotto-menu di programmazione dell'integrato DS1307.

Seguono tutte le routine di gestione dei pulsanti **P1**, **P2**, **P3** e **P4**, la gestione delle macchine a stati per la lettura delle misure analogiche di tensione e corrente, le routine per il calcolo della media dei valori acquisiti, la riscalatura degli stessi, il calcolo della potenza e la successiva visualizzazione dei dati acquisiti. In ultimo vengono eseguite le macchine a stati per la gestione degli allarmi, a patto che sia stata attivata la funzione di intercettazione degli stessi.

Conclusa la gestione di tutte queste funzioni il sistema ricomincia la sequenza dall'inizio processando così il main all'infinito.

DESCRIZIONE GESTIONE ADC

Il PIC18F4523 dispone di un convertitore ADC a 12 bit multicanale. Con una risoluzione a 12 bit si hanno a disposizione 4.096 livelli di quantizzazione del segnale analogico i quali abbinati alla tensione di riferimento V_{REF+} restituiscono la risoluzione alla quale lavorerà il convertitore ADC. Nell'applicazione in esame, la tensione di riferimento V_{REF+} è pari a +4 Vcc e quindi si ha una risoluzione di circa 976,56 μV . Esaminiamo il canale RA0, che si occupa della misura della tensione presente sul carico; come

si può osservare dallo schema elettrico (pubblicato nella prima puntata) la tensione del carico non viene applicata direttamente all'ingresso del convertitore ADC, ma prima subisce una serie di conversioni in modo da adattarla al convertitore stesso. Per prima cosa viene divisa per 18 dal partitore di tensione formato dalle resistenze R18, R19 e R20 e successivamente amplificata di un fattore 2 dall'amplificatore per strumentazione. In questo modo in ingresso al convertitore ADC, canale RA0, ci sarà una tensione variabile tra 0 e +4 Vcc, perfettamente compatibile con quella di riferimento V_{REF+} . Una volta acquisito il valore analogico, il microcontrollore provvederà a filtrarne i due bit meno significativi per poi salvarlo nella memoria RAM; più precisamente, il valore viene memorizzato in un array da 16 elementi del quale si esegue una media trascinata dei valori in esso memorizzati, ottenendo così un valore stabile. Lo stesso discorso si applica al canale RA1 per le misure di corrente; in questo caso la corrente di carico che fluisce nella resistenza di shunt R11 viene amplificata e condizionata dall'integrato U3, che assieme alle resistenze R14 e R15 assicura che la tensione in uscita sia compatibile con la tensione di riferimento V_{REF+} . Anche stavolta il valore acquisito viene filtrato, salvato in RAM e mediato su sedici valori come per la misura in tensione; inoltre il valore mediato verrà linearizzato

secondo un'apposita tabella. Una volta acquisiti i valori di corrente e tensione, è possibile calcolare la potenza moltiplicando il valore di tensione per il valore di corrente.

Siccome la misura di corrente non può essere fatta nello stesso istante in cui si esegue la misura di tensione, per evidenti motivi, si ha un errore nel calcolo della potenza. Per ovviare a questo inconveniente si può pensare di effettuare la misura di corrente tra due misure successive di tensione, come evidenziato dalla Fig. 8. In essa in blu è evidenziato il valore analogico della tensione e in rosso quello della corrente; come si può osservare, viene eseguito un primo campionamento della tensione (V_a). Nell'istante successivo viene subito campionata la corrente (I_a) e, successivamente, ancora la tensione (V_b). La potenza verrà quindi calcolata moltiplicando la corrente I_a con la media dei due valori di tensione V_a e V_b . La media tra i due valori di tensione permette di avvicinarsi al valore di tensione più prossimo al valore di corrente campionato all'istante t .

REALIZZAZIONE PRATICA

Le due schede hanno una prevalenza di componenti SMD, per cui è necessario prestare un poco di attenzione durante l'assemblaggio delle stesse. Per la scheda base si consiglia di saldare prima tutti gli integrati SMD a partire dal microcontrollore. Usate un saldatore con una punta molto

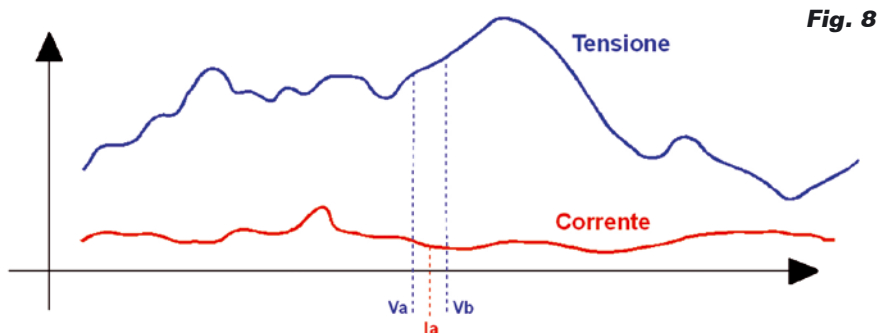


Fig. 8

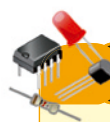
fine, ad esempio 0,1 mm, e dello stagno di diametro opportuno. Saldati tutti gli integrati eseguite un controllo visivo di tutte le saldature per verificare che non ci siano dei cortocircuiti tra i pin. Aiutatevi con un tester e, se possibile, con una lente di ingrandimento. Successivamente saldate tutte le resistenze e i condensatori SMD in case 0603, i diodi e i due quarzi. Saldare tutti i restanti componenti tradizionali a partire dal regolatore di tensione 7812. La resistenza R11 va montata sulla scheda nell'apposito spazio, dopodiché sopra ad essa va saldata un'altra resistenza di pari valore e potenza (chiamata R11b nello schema elettrico della scheda base) in modo da ottenere una resistenza da 50 mΩ. Per il pannello frontale, bisogna partire dai componenti SMD, poi sistemare i LED e i relativi pulsanti. Il display va saldato alla scheda ricordandosi di posizionarlo con degli opportuni distanziali; nel nostro prototipo abbiamo usato dei distanziali in nylon di spessore pari a 5 mm e diametro di 6 mm. Il condensatore elettrolitico va montato sul lato saldature, prestando attenzione alla sua polarità. Le due schede sono state progettate per essere inserite nel contenitore Incabox della Italtronics; in particolare, nel modello 01.509. L075, che ha una profondità di 75 mm. Il pannello frontale in alluminio di questo contenitore è siglato 06.298.0000, mentre quello posteriore, sempre in alluminio, è siglato 06.316.0000. Sia il pannello frontale che il posteriore vanno lavorati per poter alloggiare comodamente il display LCD e i pulsanti sul frontale e le relative morsettiere sul pannello posteriore. Il documento **"Misure pannello frontale.pdf"** contiene le misure

per la lavorazione del pannello frontale. Le misure sono necessarie per aprire la **"finestra"** per il display LCD e per fare i fori necessari ai quattro pulsanti e al diodo luminoso. Il diametro dei fori deve essere almeno 3 mm. Le due schede, una volta accorpate, vanno inserite nella prima slitta disponibile del contenitore Incabox.

TARATURA MULTIMETRO

La sezione che si occupa di misurare la corrente necessita di essere calibrata. Per eseguire la calibrazione è necessario accedere a un menu nascosto il quale può essere richiamato premendo e tenendo premuto il pulsante **P1** durante l'accensione dello strumento. Il pulsante può essere rilasciato una volta che si è entrati nel menu nascosto. Per la calibrazione è necessario disporre di un alimentatore stabilizzato in grado di erogare una corrente di almeno 5 A e di un carico (RL) da collegare ai morsetti 2 e 3 della morsettieria CN3. Il carico RL può essere di tipo passivo, ad esempio una resistenza corazzata, oppure un carico attivo, in modo da assorbire una corrente di 5 A. Infine è necessario collegare in serie al carico un amperometro per la misura della corrente assorbita. Per la taratura abbiamo utilizzato il carico attivo Active LOAD che descriveremo nei prossimi fascicoli. Come appena accennato, una volta richiamato il menu nascosto il sistema invita a collegare un carico RL che assorba una corrente di 5A; per fare ciò si può utilizzare il carico attivo presentato sulla rivista. Se si usa il carico attivo, bisogna ruotare il potenziometro dello stesso affinché sull'amperometro collegato in serie ad esso non si legga una corrente pari a 5A. A questo pun-

to si deve premere il pulsante **P4**, il sistema campionerà l'ingresso analogico inerente alla misura in corrente e dopo avere fatto la media su sedici valori salverà il valore letto in EEPROM. Questo valore indica il massimo valore in corrente che il sistema sarà in grado di leggere quando allo stesso verrà collegato un carico RL che assorbe una corrente massima di 5 A. Lo strumento non è in grado di apprezzare correnti superiori. Il valore salvato in EEPROM viene utilizzato dal sistema per riscaldare i valori letti per le misure in corrente in modo da distribuire le letture sui 4096 step messi a disposizione dalla risoluzione a 12 bit del convertitore ADC. Un'ulteriore correzione verrà fatta attraverso una tabella di salto, che a seconda del valore letto dal convertitore ADC sottrarrà un valore, detto di linearizzazione, rendendo più precisa la campionatura della corrente. L'errore massimo in lettura si attesta a ± 10 mA. Ovviamente a basse correnti l'errore è minimo, ma tende ad aumentare al crescere dell'intensità. ■



per il MATERIALE

Tutti i componenti utilizzati in questo progetto sono di facile reperibilità. Il master del circuito stampato può essere scaricato dal sito della rivista così come il firmware utilizzato per programmare il microcontrollore. Quest'ultimo, un PIC18F4523-I/PT, costa 8,00 Euro 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>



Conoscere e usare Arduino

dell'ing.
MIRCO
SEGATELLO

Interfacciamo Arduino con i ricevitori GPS utilizzando l'apposito GPS Shield e facciamo le nostre prime esperienze con la localizzazione da satellite. Nona puntata.

Questa volta ci occupiamo della interessantissima tecnologia GPS per la rilevazione della posizione sul globo terrestre (Global Position System). Come saprete sopra le nostre teste, a circa 20.000 km, sono posizionati dei satelliti che inviano costantemente sulla terra una serie di informazioni; queste, opportunamente captate ed elaborate, ci permettono di determinare la nostra posizione. Per ricevere ed analizzare i dati serve un GPS receiver completo di antenna, il quale, dopo essersi agganciato al segnale dei satelliti, fornisce sulla sua uscita una stringa di caratteri ASCII contenenti, oltre

alla posizione, importanti dati. Il ricevitore GPS deve ovviamente essere nella condizione di ricevere segnali dallo spazio e quindi non funziona in ambienti chiusi come abitazioni o gallerie; inoltre, come tutti gli apparati radio operanti a microonde, riceve male in presenza di palazzi o costruzioni di grandi dimensioni, dato che a tali frequenze la propagazione del segnale è quasi in linea retta. Se la ricezione è buona, dopo l'accensione serve un tempo di acquisizione (denominato fixing) di solito compreso tra 30 secondi e 1 minuto, dopo cui il ricevitore passa alla fase di tracciamento, nella quale fornisce la posizione. Per chi vo-

Tabella 1 - Contenuto della sentenza NMEA

Sentenza NMEA	Descrizione
GGA	Dati relativi alla posizione
GLL	Posizione geografica
GSA	Elenco satelliti attivi
GSV	Satelliti acquisiti
RMC	Dati minimi essenziali sulla posizione
VTG	Direzione al suolo e velocità

lesse approfondire l'aspetto teorico di questa tecnologia suggeriamo di leggere "Tecnologia ed apparati GPS" – VISPA edizioni (lo potete richiedere alla nostra redazione o acquistare on-line dalla sezione *Libri* del nostro sito www.elettronica.in.it).

La sequenza dei dati in uscita è composta da semplici caratteri ASCII codificati nella sentenza NMEA e contiene, oltre alla longitudine e latitudine del ricevitore anche l'altezza sul mare, la data e l'ora e le indicazioni dei satelliti agganciati. Oggigiorno il mercato fornisce svariati modelli di GPS facilmente utilizzabili nelle nostre applicazioni hobbystiche, a prezzi sempre più ridotti.

Per un acquisto consapevole ci sono alcuni parametri da tenere in considerazione: la dimensione, ad esempio, è un parametro importante soprattutto in apparecchiature che devono limitare gli ingombri; in questo rientra anche il discorso dell'antenna ricevente, che può essere integrata oppure esterna. Un altro parametro importante è il numero di letture che è in grado di fornire in un secondo: quasi tutti i modelli commerciali a basso costo forniscono una lettura al secondo, mentre i più evoluti arrivano anche a 10 letture al secondo.

L'alimentazione è un altro parametro di estrema importanza; di solito i ricevitori sono apparati progettati per funzionare in apparecchiature portatili e quindi pensati per essere alimentati a

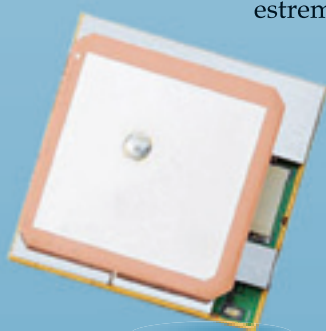


Fig. 1
Aspetto del ricevitore GPS EM406A.



Fig. 2 - Piedinatura EM406A.

3,3 o 5 volt con una corrente assorbita, variabile a seconda del modello, tra 10 e 50 mA, valore che va riducendosi con il migliorare della tecnologia.

Il numero dei canali gestibili è un altro parametro di solito sbandierato dai produttori, ma spesso una quantità inferiore di satelliti ben agganciati ed elaborati assicura migliori risultati di tanti satelliti ricevuti male.

La sensibilità fornisce un'indicazione della capacità di poter agganciare anche segnali deboli e quindi è indice di un buon funzionamento anche in zone disturbate o in cui giunge un segnale, debole come in centro città.

La precisione è un altro parametro di sicura importanza ed è strettamente legato al prezzo dell'apparato; tralasciando costose versioni per misure sul territorio (catasto o viabilità) i ricevitori commerciali si attestano su una precisione di ± 10 metri o poco meno.

Per chi di voi si stia chiedendo a cosa possano servire i ricevitori GPS, diciamo che la loro principale applicazione è la memorizzazione di un percorso, nel caso di escursionisti, o la tracciabilità dei veicoli; più raramente, i GPS si usano per la navigazione di veicoli senza pilota. Molto più spesso li troviamo integrati negli smartphone di ultima generazione, così da rendere disponibile una serie di servizi tra cui la visita guidata alle città d'arte o da aiutarci a recuperare la strada di casa durante una vacanza in una nuova città; gli smartphone con ricevitore GPS possono diventare (con appositi software) navigatori satellitari dotati di assistenza vocale.

Tra i modelli disponibili sul mercato ne abbiamo selezionati un paio di facile reperibilità e pienamente compatibili con la nostra scheda Arduino; infatti, vista l'estrema miniaturizzazione di questi apparati, l'uso con una semplice breadboard e qualche spezzone di filo non risulta molto agevole.

Tabella 2 - Descrizione della piedinatura EM406A

Pin	Nome	Funzione
1,5	GND	Zero volt alimentazione (ground)
2	Vin	Alimentazione positiva 4,5-6,5 V
3	RX	Segnale di ingresso RS232 per operazioni di programmazione
4	TX	Segnale di uscita RS232 (uscita dati)
6	1PPS	Fornisce un impulso ad ogni lettura (1 al secondo)

Il primo modello che prendiamo in considerazione si chiama EM406A ed è un modulo GPS a 20 canali con antenna integrata, le cui caratteristiche essenziali sono:

- chipset GPS a 20 canali SiRFStar III;
- alta sensibilità (-159 dBm);
- precisione nella posizione di ± 10 metri, 2D RMS e di ± 5 metri, 2D RMS;
- precisione nel calcolo della velocità di $\pm 0,1$ m/s;
- TTFF (Time To First Fix) estremamente efficace anche con livello di segnale non ottimale;
- supporta lo standard dati NMEA 0183 GGA, GSA, GSV, RMC, VTG e GLL;
- protocollo di comunicazione in logica TTL a 4.800 bps;
- tecnologia SuperCap che permette una rapida acquisizione dei dati dal satellite;
- antenna patch integrata;
- tempo di cold start di 42 s (da spento ad acceso);
- tempo di hot start di 1 secondo;
- alimentazione: 4,5 V ~ 6,5 V;
- consumo: 44 mA;
- dimensioni di 30x30x10,5 mm.

È possibile impostare il ricevitore per fornire diverse serie di dati in uscita; ad esempio, la sequenza GGA è quella illustrata nella **Tabella 3**. La stringa ricevuta, detta anche sentenza, è quindi la seguente:

\$GPGGA,161229.487,3723.2475,N,12158.3416,W,1,07,1.0,9.0,M,0000*18

Ma veniamo all'utilizzo pratico di questo ricevitore GPS (siglato EM-406A) reperibile presso la ditta Futura Elettronica (www.futura-shop.it) con codice 8160-EM406A, completo di cavetto di collegamento. Per chi volesse utilizzarlo direttamente su di una breadboard per fare degli esperimenti, consigliamo di eliminare il connettore di uscita in dotazione e rimpiazzarlo con uno più adatto; se invece intendete realizzare da voi uno stampato per ricevere i segnali da questo modulo, potete trovare, sempre a catalogo Futura Elettronica, il relativo connettore (codice 7300-CONNEM406A).

Tabella 3 - GGA data output.

Nome	Esempio	Unità	Descrizione
Message ID	\$GPGGA		GGA protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Position Fix Indicator	1		0=no fix 1=fix OK (GPS SPS Mode) 2=fix OK (Differential GPS, SPS Mode) 4= fix OK (GPS PPS Mode, fix valid)
Satellites Used	07		Range 0 to 12
HDOP	1.0		Horizontal Dilution of Precision
MSL Altitude	9.0	meters	
Units	M	meters	
Geoid Separation		meters	
Units	M	meters	
Age of Diff. Corr.			Null fields when DGPS is not used
Diff. Ref. Station ID	0000		
Checksum	*18		
<CR><LF>			End of message termination

Per interfacciare correttamente questo modulo con la scheda Arduino, possiamo semplicemente utilizzare l'apposita GPS-Shield disponibile sempre dalla Futura Elettronica con il codice 7300-GPSSHIELD, fornita già montata ed equipaggiata con il connettore per il modulo EM406A; in essa sono presenti anche un pulsante di reset ed uno di ON/OFF per il modulo GPS. Non comprende, però, i connettori per il fissaggio alla scheda Arduino che dovreste acquistare a parte (7300-STRIP6 e 7300-STRIP8) e successivamente saldare.

Questa scheda dispone inoltre di piazzole per il collegamento del modulo EM408, funzionante a 3,3 V. Per il modulo EM406, la scheda provvede a fornire l'alimentazione a 5 volt

ed il cablaggio dei due segnali TX ed RX del GPS con le linee D2 e D3 di Arduino. Particolare attenzione deve essere posta nell'uso del deviatore DLINE-UART. Con il deviatore in posizione UART il modulo GPS è connesso alle linee digitali 0 e 1, ovvero le linee TX ed RX del modulo UART di Arduino. Con il deviatore in posizione

Fig. 3 - GPS shield con modulo EM406A.



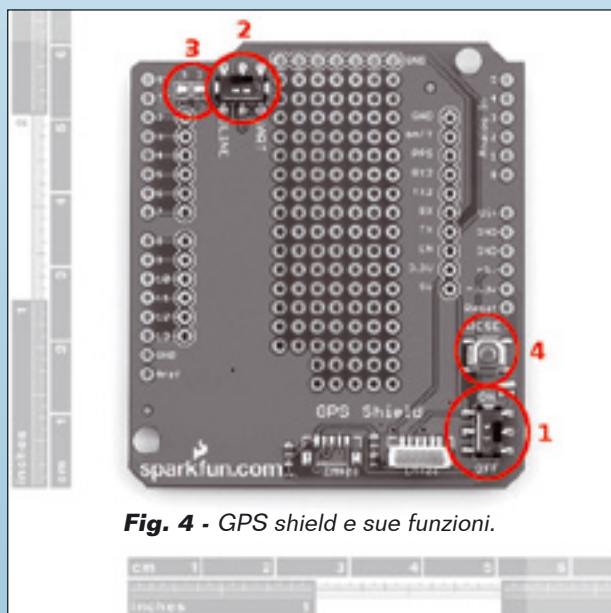
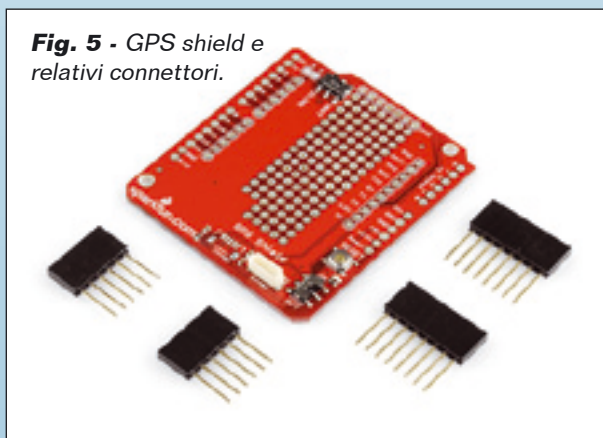


Fig. 4 - GPS shield e sue funzioni.

DLINE il ricevitore GPS è connesso alle linee digitali D2 e D3 di Arduino. Ponete il deviatore nella posizione DLINE sia per programmare Arduino sia per testare gli sketch; in questo modo non ci sarà alcun conflitto con i dati

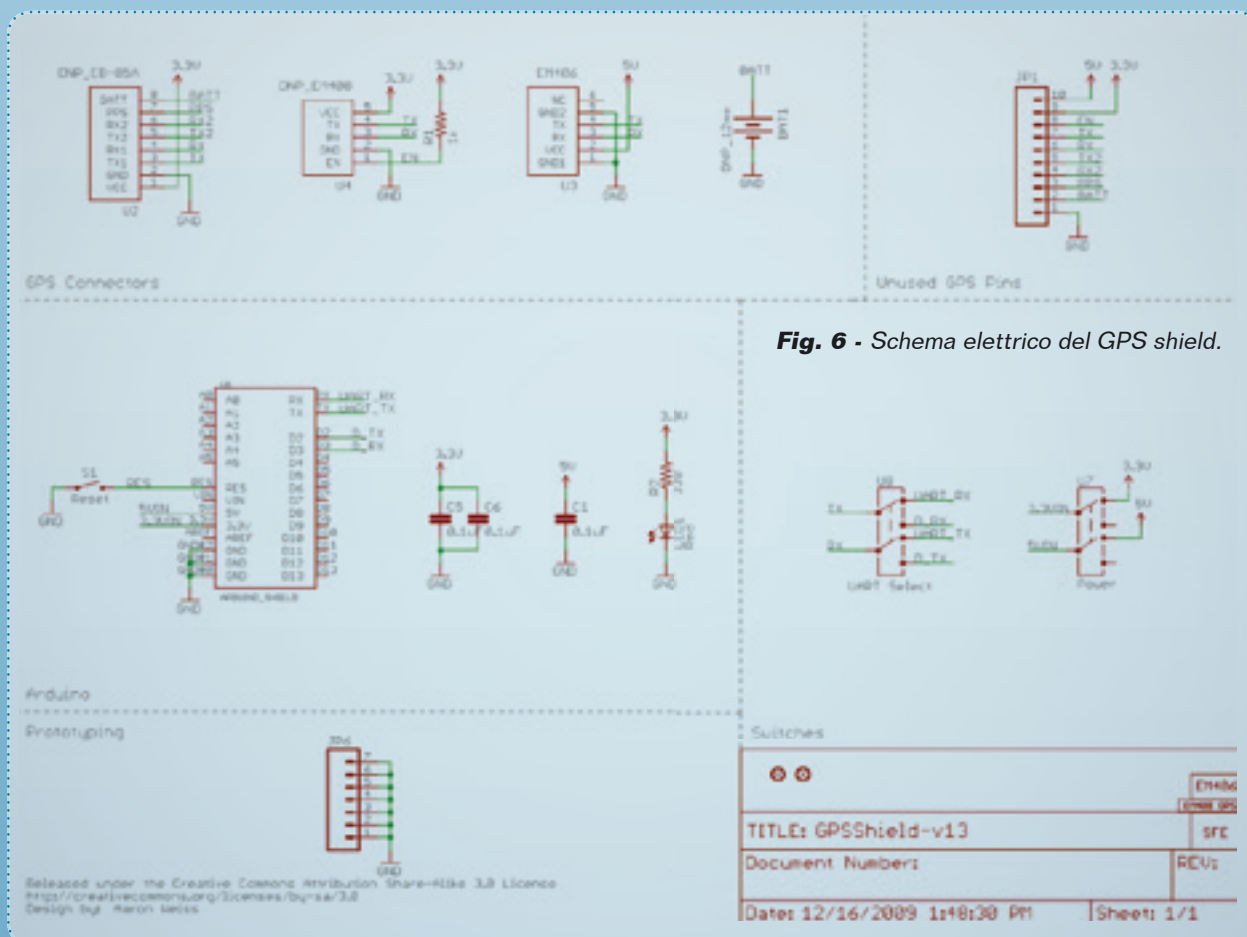
Fig. 5 - GPS shield e relativi connettori.



provenienti dalla USB, che invece impegnano le linee TX ed RX (pin 0 e 1).

Assicuratevi che il modulo EM406 non tocchi le piazzole sottostanti lo stampato della GPS-shield e in caso contrario isolatelo con della plastica.

A questo punto potete occuparvi della programmazione, obiettivo della quale è leggere la stringa che esce ogni secondo dal modulo EM406, estrapolando le varie sentenze contenenti i dati. Aver utilizzato la piattaforma



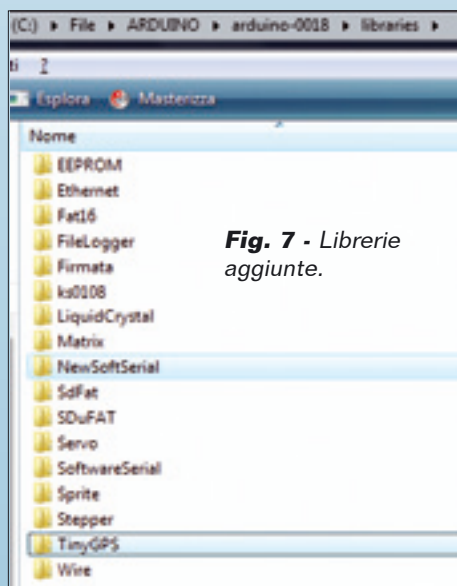


Fig. 7 - Librerie aggiunte.

Arduino ci assicura la disponibilità in rete di un'apposita libreria che ci assolve dal compito di dover redigere un complicato software. Le librerie che andiamo ad utilizzare si chiamano NeoSoftSerial e TinyGPS, sono state create da Mikal Hart e risultano reperibili all'indirizzo web <http://arduinoiana.org>; entrambe le librerie, come al solito, andranno copiate nella directory *libraries* del software Arduino. In alternativa potete scaricare queste librerie all'indirizzo <http://www.sparkfun.com/tutorial/GPSQuickStart/GPSQuickStart-lib.zip>. Assicuratevi che il deviatore di alimentazione sulla GPS shield sia in posizione ON e che il secondo deviatore sia in posizione DLINK, poi collegate Arduino al PC con il solito cavo USB. Sulla GPS shield si deve accendere il LED rosso (alimentazione OK); il LED sul modulo EM406 darà le seguenti indicazioni:

- LED OFF = ricevitore spento;
- LED ON = non agganciato, ricerca del segnale;
- LED lampeggiante = segnale agganciato.

Aprirete l'ambiente Arduino, importate l'esempio TinyGPS->StaticTest e caricatelo sul microcontrollore di Arduino. Aprirete Tools->Serial Monitor ed impostate la comunicazione su 115.200 Baud; riceverete una serie di dati preimpostati dal software, ma non ancora provenienti dal modulo GPS. Questa prima fase vi assicura che il trasferimento e la visualizzazione dei dati siano corretti. Scaricate quindi l'esempio denominato *gps_parsing_v12ii.pde* scritto da Aaron Weiss e reperibile all'indirizzo http://www.sparkfun.com/tutorial/GPSQuickStart/gps_parsing_v12ii.pde, poi caricatelo su Arduino; avviate Tool->SerialMonitor e finalmente a video vi ritroverete i dati acquisiti dal vostro GPS. Se il LED del modulo EM406A rimane a luce fissa per più di un minuto, significa che siete

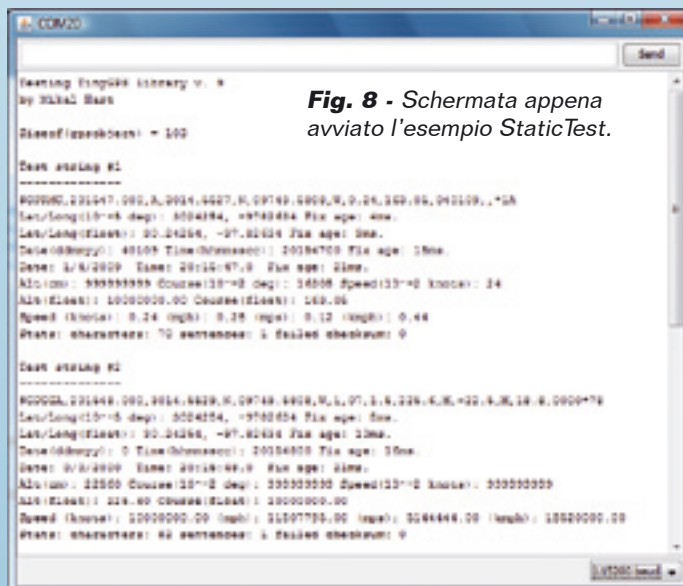


Fig. 8 - Schermata appena avviato l'esempio StaticTest.

com/tutorial/GPSQuickStart/gps_parsing_v12ii.pde, poi caricatelo su Arduino; avviate Tool->SerialMonitor e finalmente a video vi ritroverete i dati acquisiti dal vostro GPS. Se il LED del modulo EM406A rimane a luce fissa per più di un minuto, significa che siete

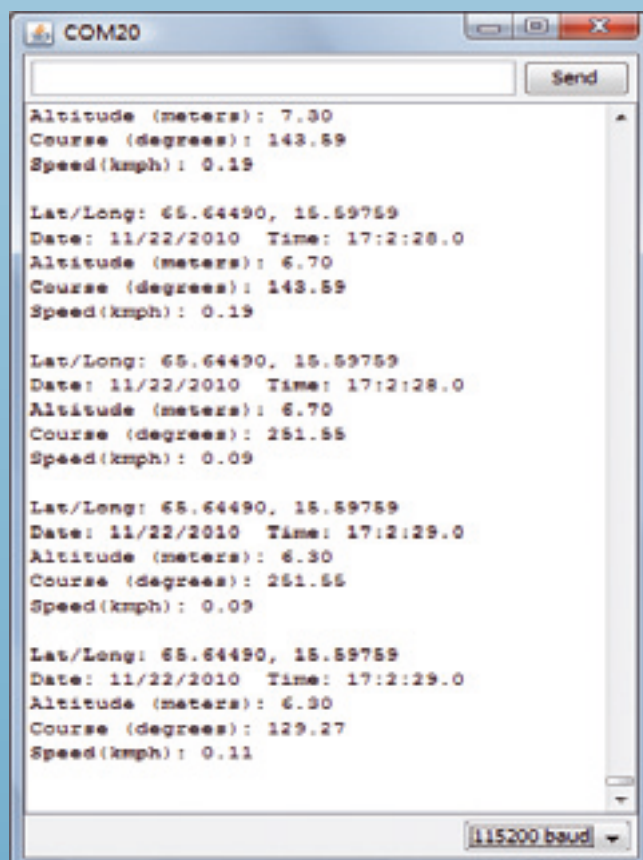


Fig. 9 - Schermata appena avviato lo sketch *gps_parsing_v12ii*.

Listato 1

```
// Queste righe servono ad includere le due librerie
#include <NewSoftSerial.h>
#include <TinyGPS.h>

// Si definiscono i pin usati per la comunicazione con Arduino ed il baud rate del modulo GPS
#define RXPIN 3
#define TXPIN 2
#define GPSBAUD 4800

// Viene creata un'istanza all'oggetto TinyGPS
TinyGPS gps;

// Si inizializza la libreria NewSoftSerial utilizzata per la comunicazione con il modulo GPS
NewSoftSerial uart_gps(RXPIN, TXPIN);

// Si dichiara un prototipo per la funzione della libreria TinyGPS
void getgps(TinyGPS &gps);

void setup()
{
    // Si inizializza il modulo UART per la comunicazione con il PC
    Serial.begin(115200);

    // Si imposta il baud rate per il modulo GPS
    uart_gps.begin(GPSBAUD);

    // Testo iniziale inviato dallo sketch verso il PC
    Serial.println("");
    Serial.println("GPS Shield QuickStart Example Sketch v12");
    Serial.println("    ...waiting for lock...    ");
    Serial.println("");
}

// Il loop principale semplicemente aspetta l'arrivo di una sentenza valida dal modulo GPS
// quindi ne estrae le sotto stringhe richieste e le invia al PC

void loop()
{
    while(uart_gps.available())    // Aspetta l'arrivo di dati validi
    {
        int c = uart_gps.read();    // Carica i dati ricevuti nella variabile c
        if(gps.encode(c))    // Verifica congruenza dati
        {
            getgps(gps);    // Estrapola le sottostringhe di dati e le invia al PC
        }
    }
}

void getgps(TinyGPS &gps)
{
    // Richiama la funzione che estrapola dalla sentenza i dati relativi alla posizione
    float latitude, longitude;
    gps.f_get_position(&latitude, &longitude);

    // Invia al PC i dati estrapolati
    Serial.print("Lat/Long: ");
    Serial.print(latitude,5);
    Serial.print(", ");
    Serial.println(longitude,5);

    // Richiama la funzione che estrapola dalla sentenza i dati relativi alla data
    int year;
    byte month, day, hour, minute, second, hundredths;
    gps.crack_datetime(&year,&month,&day,&hour,&minute,&second,&hundredths);

    // Invia al PC i dati estrapolati
    Serial.print("Date: "); Serial.print(month, DEC); Serial.print("/");
    Serial.print(day, DEC); Serial.print("/"); Serial.print(year);
    Serial.print("   Time: "); Serial.print(hour, DEC); Serial.print(":");
    Serial.print(minute, DEC); Serial.print(":"); Serial.print(second, DEC);
    Serial.print("."); Serial.println(hundredths, DEC);

    // Si può usare una sintassi diretta per inviare al PC i dati estratti
    Serial.print("Altitude (meters): "); Serial.println(gps.f_altitude());
    Serial.print("Course (degrees): "); Serial.println(gps.f_course());
    Serial.print("Speed(kmph): "); Serial.println(gps.f_speed_kmph());
    Serial.println();
}
}
```

in una posizione nella quale il segnale GPS non giunge con la sufficiente intensità. Spostatevi all'esterno, in una zona facilmente raggiungibile dai segnali satellitari, ed attendete che il modulo agganci correttamente i satelliti e cominci la fase di tracking nella quale, ogni secondo, invia i dati relativi alla posizione. Vediamo ora in dettaglio come funziona questo sketch, che viene meglio descritto dal **Listato 1**. Si parte con due righe di codice che servono a includere le librerie *NewSoftSerial.h* e *TinyGPS.h* e, a seguire, vengono definiti i pin da utilizzare per acquisire i dati e il baud-rate corrispondente. Poi vengono create le istanze e inizializzate le librerie, quindi si inizializza l'UART e lo si imposta a 115.200 baud; ora parte il loop principale nel quale lo sketch attende l'arrivo di stringhe di dati dal lettore GPS. Quando questi arrivano, le elabora per estrapolare latitudine e longitudine (oltre ad altri dati significativi) e ne invia le informazioni al PC.

L'elenco completo dei dati estraibili dalla sentenza GGA in arrivo dal ricevitore GPS sono i seguenti:

- get_position;
- get_datetime;
- altitude;
- speed;
- course;
- stats;
- f_get_position;
- crack_datetime;
- f_altitude;
- f_course;
- f_speed_knots;
- f_speed_mph;
- f_speed_mps;
- f_speed_kmph;
- library_version.

Un primo semplice utilizzo dei dati acquisiti si può fare inserendo direttamente su Google Maps® le coordinate relative alla posizione, in modo da rintracciare il ricevitore sulle mappe di Google. Dalla riga in cui sono specificate la latitudine e la longitudine (Lat/Long:) estrapolate i due numeri successivi ed inseriteli nel seguente indirizzo internet: <http://maps.google.com/>; per l'esattezza, componete nella casella degli indirizzi del browser una stringa del tipo <http://maps.google.com/maps?q=45.643876,>

Fig. 10 - GPS Bee visto da sopra.

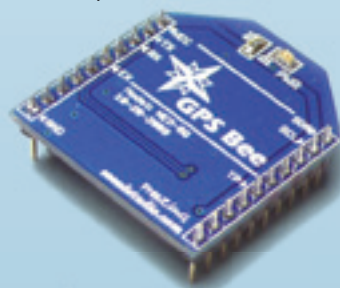


Fig. 11
GPS Bee visto da sotto.

8.814163, dove al posto di 45.643876, 8.814163 dovete scrivere le due coordinate desunte dalla vostra applicazione. Nel caso di questo esempio, 45.643876, 8.814163 sono le coordinate della nostra redazione.

Inserendo la stringa e premendo Invio (o facendo clic sul pulsante di inoltro dell'indirizzo) si aprirà la pagina web di Google Maps® con la posizione specificata sulla cartina sia in modalità stradale che satellitare, a scelta.

Per sperimentare applicazioni GPS con Arduino, potete usare un secondo modulo GPS denominato GPS Bee, facente uso del chipset U-BLOX5 e capace di ricevere sino a 50 satelliti contemporaneamente (ha quindi 50 canali); il suo formato lo rende del tutto compatibile con l'hardware dei moduli XBee. Le caratteristiche di questo modulo sono le seguenti:

- chipset U-BLOX 5;
- hot Start in 1 secondo;
- sensibilità di -160 dBm in acquisizione e tracking;
- precisione nella posizione di ± 2 metri;
- precisione nel calcolo della velocità di $\pm 0,1$ m/s;
- avvio accelerato a segnali deboli per moduli con funzione Kickstart;
- supporto servizi AssistNow Online e AssistNow Offline A-GPS; compatibile OMA SUPL;
- elevata immunità ai disturbi;
- frequenza di aggiornamento della posizione = 4 Hz;
- interfacce UART, USB, DDC e SPI;
- alimentazione: 2,7 V ~ 3,6 V;

- assorbimento: 44 mA;
- dimensioni XBee compatibili.

Questo modulo necessita di antenna esterna, come ad esempio la MINI ANTENNA GPS 15x15 mm con CONNETTORE U.FL, disponibile presso la ditta Futura Elettronica (codice Cod. 8160-MINIANTGPS) le cui caratteristiche sono:

- alimentazione: 3,3 V ~ 5 mA;
- V.S.W.R. (Rapporto Onde Stazionarie): <2;
- guadagno: 20 dB;
- peso: 15 g;
- dimensioni: 15 x 15 x 6,4 mm;
- lunghezza cavo: 90 mm.

Questo modulo GPS-Bee è facilmente interfacciabile con il PC utilizzando l'apposito adattatore XBee-USB (codice 7300-UARTSBV31 della Futura Elettronica). Grazie al software U-Center, scaricabile gratuitamente all'indirizzo <http://www.seedstudio.com/depot/>

datasheet/u-center_5.07_Installer.rar, è possibile visualizzare a video tutti i dati relativi a tempo, velocità, latitudine e longitudine, ecc.

Lo shield ArduinoXBee consente di interfacciare velocemente il modulo alla scheda Arduino, realizzando in maniera fissa le connessioni delle linee TX ed RX del modulo, alle linee TX ed RX della scheda Arduino, le quali, sono anche utilizzate dal convertitore USB-Seriale per l'interfacciamento alla porta USB. Questo vincolo non consente di gestire in contemporanea la comunicazione da parte del microcontrollore sia con il modulo GPS che con la porta USB; per i particolari, si veda la sesta puntata del corso, relativa ai moduli XBee.

Per la lettura dei dati in arrivo dal modulo GPS è possibile usare la libreria standard "Seriale" impostata per un Baud-Rate di 9.600 Baud, mentre la decodifica della sentenza può avvenire con la libreria precedentemente descritta.



Nuovo Multisim 11



Un approccio integrato alla progettazione di circuiti

- Realizza un prototipo virtuale via software prima di raggiungere il laboratorio
- Confronta all'istante i dati simulati con le misure reali
- Ricevi feedback istantanei dagli strumenti virtuali integrati
- Utilizza le funzionalità integrate per la didattica
- Scegli l'opzione con oscilloscopio da 100MS/s
- Sistema da laboratorio compatto, robusto e versatile
- 12 strumenti integrati in un'unica piattaforma

>> Scarica le risorse gratuite su ni.com/academic/it/eeep

02 41.309.1

IRS Ingegneria
Ricerca
Sistemi

Distributore unico per l'Italia
Tel.: +39 049 8705156 • info@irsweb.it

**NATIONAL
INSTRUMENTS**

NATIONAL INSTRUMENTS (NI) è un marchio registrato di NI Corporation, 11500 Neffs Avenue, Austin, TX 78759, USA. NI è un marchio registrato di NI Corporation. Tutti i diritti sono riservati. NI non è responsabile per l'uso non autorizzato del software NI. NI non è responsabile per l'uso non autorizzato del software NI. NI non è responsabile per l'uso non autorizzato del software NI.