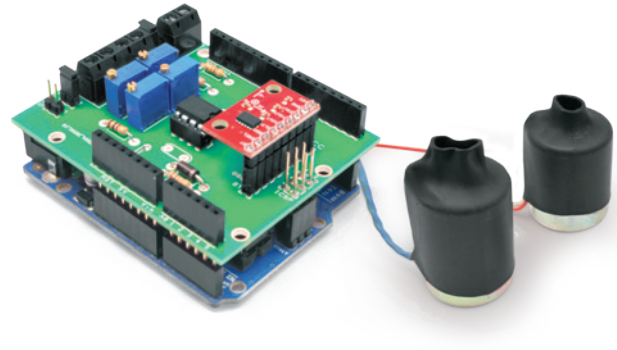
SHIELD RILEVATORE DI TERREMOTI PER ARDUINO (cod. FT994K)



Shield per Arduino in grado di svolgere la funzione di sismografo. Per poter trasformare le oscillazioni del suolo in una grandezza idonea ad essere registrata, è necessario collegare alla shield dei geofoni oppure un accelerometro a tre assi con uscita analogica (come ad esempio il Freescale MMA7361). In questo modo i movimenti e le vibrazioni del terreno verranno trasformate in corrente elettrica che opportunamente amplificata, verrà acquisita mediante Arduino. I dati acquisiti potranno essere visualizzati su PC in tempo reale, con la possibilità di salvare i dati su file excel o di elaborarli in tempo reale con funzioni più o meno complesse, il tutto grazie a LabView. Sfruttando lo stesso principio fisico che sta alla base dei terremoti (propagazione delle onde di volume e microtremori), può essere adattato a innumerevoli applicazioni, legate sia al mondo della ricerca pura e applicata nelle Scienze della Terra, quali lo studio dei terremoti e dei microterremoti, il monitoraggio di frane e valanghe, l'attività vulcanica, ma anche più "applicativi", come lo stato di salute di macchine con organi in movimento (rotanti) e di strutture (edifici e ponti) o la ricerca di rotture di condotte idriche sotterranee. Sarà inoltre possibile scoprire l'effetto delle vibrazioni indotte dal traffico sugli edifici, o come questi oscillino con il forte vento. La scheda necessita di una tensione di alimentazione di 5V e 3,3V (fornita tramite Arduino) ed ha un ingombro massimo di 69x55mm. Per completare il dispositivo è necessario acquistare separatamente la scheda ARDUINOUNOREV3 (ARDUINO UNO REV3 con Atmega328) e un modulo accelerometro a 3 assi MMA7361 o, in alternativa a quest'ultimo, 2 geofoni (reperibili presso rivenditori specializzati).

Realizzazione pratica e descrizione del circuito

Il montaggio di questo circuito non presenta alcuna difficoltà e quindi è decisamente consigliabile anche a chi è alle prime armi.
Facendo riferimento al piano di montaggio, iniziare col montare le resistenze, il diodo e i ponticelli sfruttando per questi i reofori tagliati dai componenti appena saldati. Nel montare lo zoccolo del circuito intergrato, prestare attenzione all'orientamento della relativa tacca di riferimento.
Procedere col montaggio dei trimmer multigiri, dei Jumper S2-S4, dei morsetti (rivolgendo verso l'esterno il lato di inserimento dei cavi) e dei pin strip maschio/femmina (a 6, 8 e 10 vie) previsti per il collegamento con la scheda Arduino assicurandosi che abbiano le rispettive

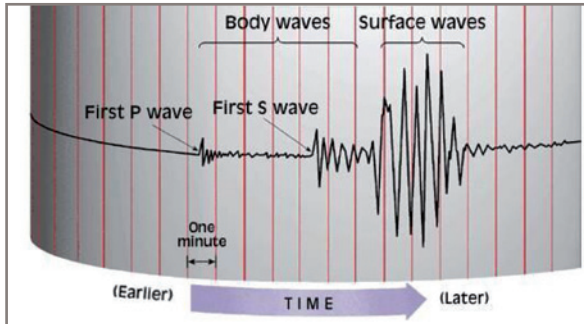
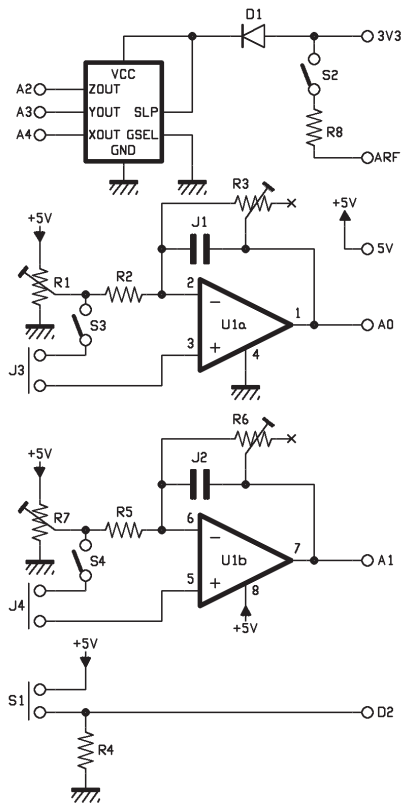


Fig. 1 *- Schema di un sismogramma.*

Schema elettrico



punte rivolte verso il basso. Ultimare il montaggio saldando il pin strip femmina a 9 vie (siglato ACC) e il connettore ICSP (ottenuto tagliando con un tronchesino due segmenti da 3 pin ciascuno da uno strip M/F a 8 poli) orientando verso l'alto i relativi pin maschio.

Nota: per i condensatori J1 e J2 vedere punto ***3)*** nella colonna a fianco.

Di seguito è riportata la descrizione del circuito e il funzionamento dei vari componenti:

1) I trimmer da 50 kohm (R1 e R7) sono necessari per acquisire entrambe le componenti dell'onda sismica, con la funzione di spostare lo "zero" a 512 count, corrispondenti a circa 2,5 volt, metà del valore dell'Adc di Arduino UNO, ovvero 1024 (10 bit).

2) Amplificatore operazionale LM 358 N (U1), settato in configurazione invertente: le due resistenze R2 ed R3 (R5 ed R6), sono scelte in funzione del grado di amplificazione da ottenere. Per acquisire attività sismica e microtremori il guadagno non deve essere inferiore a 500, pertanto si potrebbe utilizzare al posto di R3, un potenziometro logaritmico (a scatti) che consente di amplificare con multipli di R2 pari a 1 – 10 - 100 – 1000.

3) In parallelo ad R3 è previsto l'inserimento del condensatore **J1**, mentre in parallelo ad R6 il condensatore **J2**, le funzioni dei quali sono di filtrare le componenti di disturbo. Il dimensionamento di questi condensatori è legato oltre che ad una considerazione puramente elettronica (guadagno e scelta di R2 e R3) anche alle componenti sismiche ed all'azione ed intensità che si desidera misurare, la quale dipenderà dal rumore di fondo tipico dell'area in cui si vuole effettuare la misurazione stessa.

4) Pulsante di trigger (S1) connesso tramite una resistenza da 10 kohm al pin D2 di Arduino. Si tratta di una predisposizione ad uno sviluppo successivo della scheda, la quale potrà essere applicata, oltre che a misurazioni sismiche passive (ovvero microtremori e terremoti), anche su misurazioni di sismica attiva.

5) ARF consente di spostare il riferimento, ovvero il fondo scala di Arduino da 5V, che è il valore standard a 3,3V. È connesso tramite una R8 di 10 kohm al pin ARF, ed escludibile con lo spostamento del ponticello S2. Il suo uso consente di migliorare in parte la dinamica di acquisizione, richiede l'inserimento di una stringa all'interno dello sketch da caricare su Arduino, ed il suo uso è indicato qualora si voglia sostituire il gruppo di geofoni con un accelerometro a tre assi, ad esempio il Freescale MMA7361. Quest'accelerometro fornisce un'uscita di 0,8 volt/g (g accelerazione di gravità, 9,8 ms) con fondo scala settabile a 1,5 g o a 6 g, e può essere connesso alla scheda previo filtraggio con condensatori e con una "blanda" amplificazione ed appunto utilizzo di ARF a 3,3V.

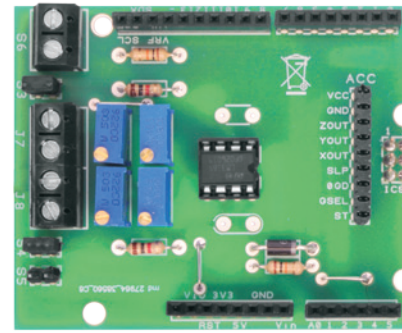
Taratura dello strumento

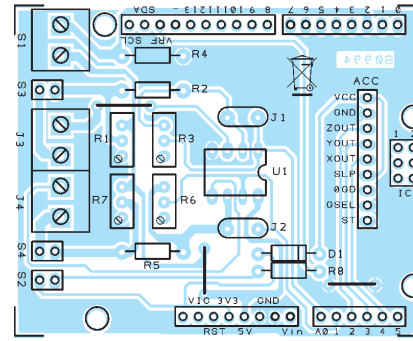
Lo strumento, dopo essere stato assemblato, necessita di una semplice operazione di taratura. Tale operazione non richiede particolari azioni, ed ha lo scopo di spostare lo " zero" e consentire l'acquisizione di entrambi le componenti, positiva e negativa, dell'onda sismica. Non essendo Arduino in grado di acquisire la componente negativa, e per mantenere il circuito più semplice possibile, si usa per l'appunto l'espediente del trimmer e dello spostamento dello zero. Per ottenere una perfetta taratura è necessario leggere all'uscita dell'op-amp il valore di 2,5 volt o in alternativa tramite Arduino il valore in count corrispondente a 512. Per effettua-

Piano di montaggio

Elenco Componenti:

R1: Trimmer multigiri 50 kohm
R2: 1 kohm
R3: Trimmer multigiri 1 Mohm
R4: 10 kohm
R5: 1 kohm
R6: Trimmer multigiri 1 Mohm
R7: Trimmer multigiri 50 kohm
R8: 10 kohm
J1: Vedere punto 3) in "Realizzazione pratica e descrizione del circuito"
J2: Vedere punto 3) in "Realizzazione pratica e descrizione del circuito"
U1: LM358
D1: 1N4007
ACC: Modulo accelerometro MMA7361
Varie:
- Zoccolo 4+4
- Morsettiera 2 poli (3 pz.)
- Strip Maschio 2 poli (3 pz.)
- Strip Maschio/Femmina 3 vie (2 pz.)
- Strip Maschio/Femmina 6 vie
- Strip Maschio/Femmina 8 vie (2 pz.)
- Strip Maschio/Femmina 10 vie
- Circuito stampato





re la taratura bisogna rimuovere il geofono, o bypassarlo con lo switch S3, e leggere il valore tra massa e uscita dell'op-amp, quindi ruotare il trimmer fino alla lettura del valore di 2,5 volt (o della metà del ARF usato), e quindi controllare che sul sistema di acquisizione software, nella scheda di taratura compaia il valore di 2500 mV. Ovviamente bisogna ripetere l'operazione per ognuno dei canali.

La connessione dell'accelerometro

L'accelerometro (opzionale) che può essere utilizzato con lo shield è l'MMA7361, in grado di fornire un'uscita analogica proporzionale all'accelerazione registrata. Questo tipo di accelerometro, offre la possibilità di settare il fondo scala su 1,5g (default) e 6 g. Il settaggio utilizzato per l'impiego con lo shield è 1,5g, intervallo utile per applicazioni sismiche. Il sensore alimentato a 3V fornisce un segnale analogico in uscita rispettivamente su tre assi X,Y e Z, con una risoluzione di circa 800 mV/g. Arduino UNO è equipaggiato con un convertitore A/D di 10 bit, esso quindi ha la capacità di discriminare variazioni in tensione di circa 4,88 mV. Considerato che l'accelerometro ha una risoluzione di 800 mV/g, A1 dovrebbe essere in grado di apprezzare variazioni pari a 6,25 g-3, una risoluzione di tutto rispetto, migliorabile con lo shield. I collegamenti sono abbastanza semplici. Il sensore può essere applicato direttamente sullo shield per mezzo dello strip femmina siglato ACC come mostrato in figura 2.

Taratura del sismografo

Dopo aver realizzato lo strumento sarà possibile visualizzare su schermo un sismogramma molto simile a quello presentato in Fig. 1, che fornisce una visione qualitativa del fenomeno. Occorre ricordare che la taratura è necessaria solo se si intende confrontare i propri dati con altri

acquisiti da altre stazioni, mentre se si desidera solo utilizzarli per acquisizioni non legate al terremoto, essa non è necessaria, anche se consigliata. Ad ogni modo, per effettuare la taratura è necessario disporre di alcuni parametri tipici del sensore che si andrà ad utilizzare (forniti dal produttore), oltre ad eventuali filtri che verranno utilizzati nel circuito, fattore di amplificazione ecc. Si consideri il sismografo al pari di un sistema lineare dove l'input è il movimento del suolo che determina l'ampiezza della traccia sul sismogramma che può essere espresso in numero di count. Per un dato strumento la funzione di risposta all'ampiezza della frequenza può essere calcolata con l'equazione:

Z (ω) = U (ω) Ad (ω)

In cui U (ω) è lo spostamento del suolo (ground displacement) mentre Z (ω) può rappresentare il numero di count o i mV e Ad (ω) è la risposta d'ampiezza dello strumento. Ad (ω) è il risultato dell'effetto combinato di tutti gli elementi del sismografo, sensore, amplificatore, filtri.
Ecco un esempio su come calcolarlo:
supponiamo che il sismografo abbia queste caratteristiche:
(Geofono alias sismometro) una f0= 1Hz; G= 200Vg-1 mentre (Arduino alias sismografo) usa Amplificatore= gain 100 - Un filtro a 25Hz Un digitalizzatore con gain di 105/V
Il gain del sistema espresso in termini di velocità, a 30Hz può essere calcolato in questo modo:
200V/ms−1 (sensore) × 100V/V (amplifier) × 0,2V/V (filter) × 105 Count/V (digitizer) = 4 × 108 Count ms−1
Il gain del sensore è 200V/ms −1, e il guadagno del filtro è −14db = 10−14 /20 = 0,2 a 30Hz.
Per convertire il gain in spiazzamento è necessario moltiplicare ω = 2πf
4 × 108 Count/ms−1 × 2π × 30s −1 = 7,5 × 1010 count/m = 75 count /nm.
Tutti questi calcoli servono a definire il rapporto tra count e spostamento, espresso in nm (nanometri, 10-6m).
In modo simile qualora si utilizzasse l'accelerometro o se si volesse esprimere il valore in accelerazione si dovrà dividere per ω = 2πf A 2Hz, il sismografo dovrebbe avere un guadagno di 200V/ms−1.
Applicando le considerazioni precedenti al proprio sensore, con queste caratteristiche:
f0 = 4,5Hz; G= 28,8V g-1; Amplificatore= gain 100; un filtro a 25Hz; Arduino con gain di 204,8 count/V
28,8 V /ms−1 (sensore) × 100 V/V (amplificatore) × 0,2 V/V (filtro) × 204,8 Count /V (digitizer) = 117965 count ms−1
117965 Count /ms−1 × 2 π × 30 s −1 = 7,5 × 10 10 count/m = 3,5 count /nm.

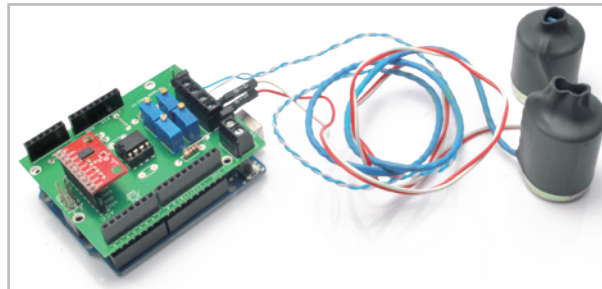


***Fig. 2** - Lo shield completo di modulo accelerometro e 2 geofoni (non inclusi) applicato sulla scheda Arduino UNO.*

Lo sketch

Lo sketch (scaricabile gratuitamente dalla scheda del kit FT994K su *www.futurashop.it*) è molto semplice e non contiene particolari funzioni, in modo tale da evitare ogni sovraccarico della memoria di Arduino che si tradurrebbero in una riduzione delle performance di acquisizione del dato, infatti anche la semplice funzione .serialPrint (";") nella stringa di uscita sulla seriale produce una riduzione del sample rate, da ciò la decisione di lasciare tutta la parte di visualizzazione, elaborazione e salvataggio direttamente al programma di acquisizione. La funzione Serial.print ("\t"); è stata inserita per dare "ordine" alla stringa seriale e rendere più semplice il lavoro di plottaggio dei dati sul grafico, mentre la funzione delay (1); è stata inserita in quanto si è osservata una certa "instabilità" del sistema con la sua assenza. Settati i canali di acquisizione, in tal caso tre, Arduino invia il dato su seriale ad una velocità di 115200 con una stringa del tipo XXX YYY ZZZ.

Software di elaborazione

Il software di elaborazione è fortemente legato al tipo di indagine che si intende effettuare. Nel caso di terremoti generalmente si acquisisce il dato in tempo reale, lo si visualizza su schermo, ed eventualmente lo si invia ad una rete sismologica globale. Nel caso dei microtremori il discorso è un po' più complesso. Si acquisiscono le componenti X, Y e Z tramite geofoni verticali e orizzontali (oppure tramite accelerometro), si processano e confrontano tali componenti con

algoritmi appositi, ottenendo il rapporto spettrale "Orizzontale/ Verticale" (H/V), ciò consente la caratterizzazione microsismica del sito.
Il software **gratuito** che permette questo tipo di elaborazioni lo si può trovare su ***www.geopsy.org***, (Nakamura, H/V), assieme ad una dettagliatissima spiegazione fenomenologica.

Software di acquisizione

Il software di acquisizione ha lo scopo di visualizzare il dato acquisito in tempo reale ed eventualmente salvarlo su un file per la successiva elaborazione, e non è necessariamente legato al tipo di grandezza che si sta acquisendo, sia essa sismica, temperatura, velocità, pH etc.,
Esso si basa sul linguaggio di programmazione LabView. Lo scorso anno, National Instruments, software house di LabView, ha rilasciato un firmware da caricare su Arduino tramite il normale configuratore. Questo firmware consente il pieno controllo di Arduino tramite LabView.
Il firmware è fornito gratuitamente con il nome di LIFA acronimo di "LabView Interface For Arduino". È davvero molto ben fatto, e consente il pieno controllo di tutti i pin di Arduino sia in Ingresso che in Uscita, con la semplicità tipica del sistema di programmazione visuale di NI. Nonostante questo, il software che qui presentiamo NON si basa sul LIFA. Infatti una limitazione di questo è la velocità massima di acquisizione sostenibile da Arduino sulle porte analogiche.
Il firmware risulta infatti un pò "pesante", sovraccaricando il processore matematico di Arduino. Ciò si traduce in una netta riduzione della velocità di acquisizione analogica, che rimane accettabilissima nella maggior parte dei casi, ma non sufficiente per gli scopi del presente progetto. Abbiamo testato a lungo il diverso sample rate tra LIFA e SerialString ovvero la seconda opzione basata sull'invio di una stringa "seriale", il primo consente un sample rate max di 20 Hz per ogni canale, mentre utilizzando il protocollo seriale, ovvero inviando da Arduino una stringa di dati del tipo
mmm XXX YYY ZZZ
mmm XXX YYY ZZZ
si ottiene un sample rate max di 330 Hz per ogni canale, adatto per acquisizioni sismiche di qualità.
L'interfaccia del software di acquisizione, sviluppato in ambiente LabView, è riportata in Fig. 3, è costituito da tre schede, rispettivamente "Graph", "Replay" e "Sketch". L'interfaccia principale del software ("Graph") di acquisizione focalizza l'attenzione dell'utente sulla visualizzazione del dato (Fig. 4).
Gran parte dello schermo è infatti dedicata alla rappresentazione grafica in tempo reale, tre finestre separate rispettivamente per ognuna delle tre componenti: X, Y e Z. In basso (dettaglio in Fig. 3) sono posizionate alcune utilità, da sx il controllo dei tre assi dei grafici, con la possibilità di sovrapporre griglie di visualizzazione, cambiare colore alle curve, spessori ecc, ovvero effettuare tutte quelle operazioni di miglioramento dell'aspetto grafico della visualizzazione, oltre che la possibilità di settare il pin di acquisizione di Arduino. Nella parte centrale è invece riportato il box che consente il salvataggio del dato in un file di testo, la data di avvio e i millisecondi trascorsi dall'inizio.
All'interno del file dati sono riportati nella prima colonna i millisecondi trascorsi dall'avvio e a seguire, i valori in count dei tre canali, x y e z, oltre ad un tasto di reset dei millisecondi trascorsi. Sulla destra ("calibration") sono invece riportate tre caselle all'interno delle quali è possibile inserire equazioni nella forma y= mx+q.
L'importanza di tale casella risiede nel fatto che essa amplia la

Fig. 3 *- Range di circuito su breadbord. interfaccia principale del software di acquisizione basato su LabVIEW.*

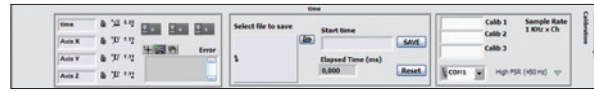


Fig. 4 *- Dettaglio delle utilità di miglioramento dell'aspetto grafico, salvataggio dei dati, inserimento delle rette di calibrazione, scelta della porta COM, sample rate.*

possibilità di utilizzo del software all'acquisizione di parametri non necessariamente sismici, ovvero collegando alle entrate analogiche di Arduino sensori di qualunque tipo di cui si conoscono le rette di taratura Volt - Grandezza, ed inserendo l'equazione di taratura nello spazio si visualizzerà direttamente sul grafico il valore reale della grandezza misurata, qualora non si disponga di una retta di taratura basta semplicemente inserire "x".
Si ha inoltre la possibilità di scegliere il sample rate tra High e Low, questa funzione non agisce su Arduino ma esclusivamente sulla visualizzazione sullo schermo, di fatto riducendo il numero di campioni visualizzati. Sempre nello stesso box è possibile settare la porta COM su cui è connesso Arduino. Cliccando sul tasto "check analogic" (Fig. 5) appariranno tre barre colorate che indicano rispettivamente i valori in mV per ognuno dei tre canali, oltre ad un display numerico che ne indica il valore istantaneo. Esse sono state inserite per semplificare le operazioni di taratura, infatti, seguendo le istruzioni contenute nel paragrafo "Taratura dello strumento", qui è possibile leggere il valore istantaneo, ed eventualmente modificarlo opportunamente con il trimmer di precisione, fino ad ottenere il valore desiderato che corrisponde alla metà della Aref (2500mV o 1650mV).
Infine in alto a dx si ha la possibilità di scegliere tra "seismic" e "environmental", il primo visualizza i dati sotto forma di count, mentre il secondo in mV, utile per visualizzare i dati di sensori con rette di taratura. Qui si trova anche il tasto di "stop" per interrompere il processo di acquisizione e del .VI in qualunque istante. Le dimensione e risoluzioni della finestra del software sono state ottimizzate per l'uso su netbook con schermo da 10 pollici che consentono l'utilizzo del sistema on site per effettuare le acquisizioni. Selezionando la scheda "Replay" (Fig. 6) si ha la possibilità di rivedere i dati acquisiti. Basta selezionare il file salvato, cliccando sull'icona "cartella", selezionarlo, premere "open", i dati verranno visualizzati sia graficamente, con la colonna dei millisecondi, oltre che in forma tabellare. Infine nella scheda "sketch" sono contenute le istruzioni per il corretto funzionamento del software di acquisizione, compreso lo sketch da caricare su Arduino.

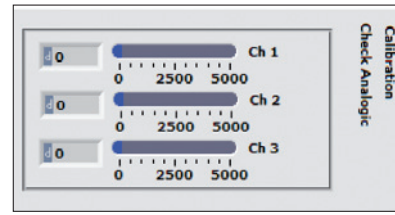


Fig. 5 - Dettaglio della scheda per la calibrazione.

Fig. 6

A tutti i residenti nell'Unione Europea. Importanti informazioni ambientali relative a questo prodotto.

Questo simbolo riportato sul prodotto o sull'imballaggio, indica che è vietato smaltire il prodotto nell'ambiente al termine del suo ciclo vitale in quanto può essere nocivo per l'ambiente stesso. Non smaltire il prodotto (o le pile, se utilizzate) come rifiuto urbano indifferenziato; dovrebbe essere smaltito da un'impresa specializzata nel riciclaggio.
Per informazioni più dettagliate circa il riciclaggio di questo prodotto, contattare l'ufficio comunale, il servizio locale di smaltimento rifiuti oppure il negozio presso il quale è stato effettuato l'acquisto.

Prodotto e distribuito da:
FUTURA ELETTRONICA SRL
Via Adige, 11 - 21013 Gallarate (VA) Tel. 0331-799775 Fax. 0331-778112
Web site:
www.futurashop.it
Info tecniche:
supporto@futurel.com

L'articolo completo del progetto è stato pubblicato su: Elettronica In n. 165