

“Nuove tecnologie per l’analisi non intrusiva dei manufatti”

Programma di ricerca

Ingegnerizzazione di prototipi e strumentazione per la diagnostica su manufatti monumentali in materiale lapideo

Prototipo del Modulo di Controllo

*Edoardo Bozzi, Massimo Chimenti, Enrico Fantini, Guido Gagliardi, Alberto Landucci,
Alberto Ribolini*

Istituto di Scienza e Tecnologie dell’Informazione “Alessandro Faedo”
Rapporto tecnico maggio 2007

2007-B4-

n

Sommario

Il lavoro descrive un componente della struttura modulare per l'ispezione superficiale di materiali lapidei mediante tecniche a microonde, realizzata nell'ambito del Progetto SP1a "Nuove tecnologie per l'analisi non intrusiva dei manufatti".

Il modulo contiene un firmware che provvede a pilotare la sonda d'ispezione in base alle istruzioni fornite dal software di acquisizione, residente su un calcolatore ospite; il modulo provvede a convertire in forma digitale il segnale prodotto dalla sonda ed invia i dati al calcolatore.

Il lavoro descrive la struttura del firmware e riporta gli schemi elettrici dei circuiti.

Abstract

The paper describes one of the components of the modular structure for microwave surface inspection of lapideous materials, developed with the grants of Project SP1a "Nuove tecnologie per l'analisi non intrusiva dei manufatti".

The described module contains an embedded firmware which drives the inspection probe according to the instructions transmitted by the acquisition software, running on the host computer; the module performs the analog to digital conversion of the output signal of the probe and send data to the computer.

The paper reports the firmware structure, the circuit schemes and characteristics of the components.

Indice

Introduzione.....	4
Funzioni svolte dal modulo di controllo MC.....	5
Segnali analogici.....	5
Dati digitali.....	5
Componente hardware.....	7
Firmware.....	12
Tipi di misura.....	12
Misura singola	12
Misura multipla	13
Gestione del modulo.....	13
Elenco dei comandi - richieste	14
Invio dati risultanti.....	16
Valori di default dei parametri di misura.....	16
Programma di test.....	18
Modo di collegamento	18
Parametri di misura	18
Modo di misura	18
Riferimenti.....	21

Introduzione

Il sistema per l'ispezione non distruttiva a microonde realizzato nell'ambito del Progetto Sp1a utilizza come sensore un'antenna a patch, la cui frequenza di risonanza varia in funzione della costante dielettrica del mezzo con cui l'antenna è a contatto. Il principio di misura consiste quindi nel misurare la frequenza di risonanza dell'antenna ponendola a contatto dell'oggetto da esaminare e confrontare il valore così ottenuto con quello ricavato in condizioni note di riferimento: si possono così individuare e localizzare variazioni della struttura di un oggetto, oppure confrontare oggetti differenti.

Il sistema ha la struttura modulare mostrata in figura 5.

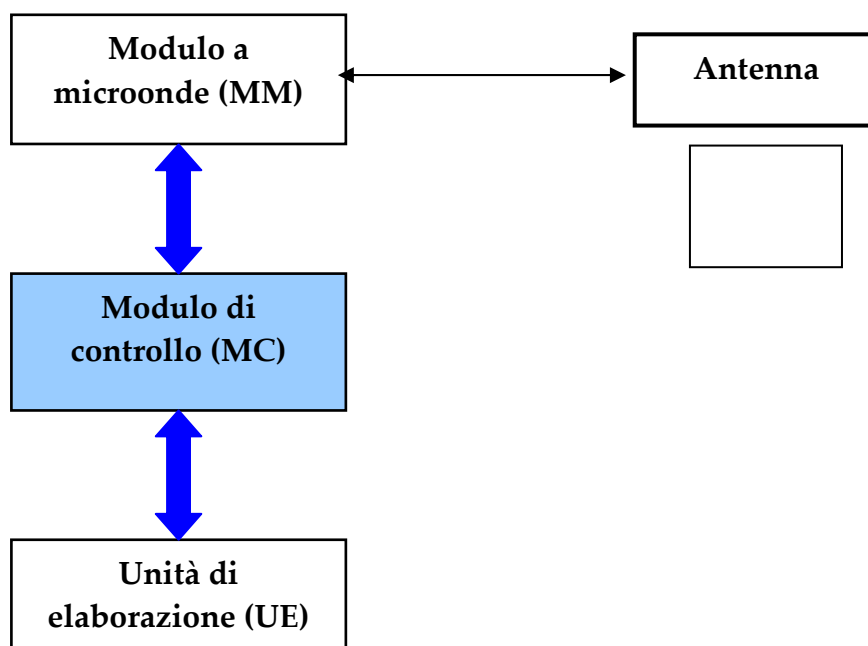


Figura 1. Diagramma a blocchi della struttura per l'ispezione a microonde.

Il Modulo a microonde (MM) provvede a generare il segnale di pilotaggio dell'antenna in base ai comandi ricevuti dal modulo di controllo (MC) e ad inviare ad esso il corrispondente segnale di misura V_{MIS}

Il Modulo di controllo (MC) provvede all'interpretazione dei comandi ricevuti dall'unità di elaborazione (UE), all'esecuzione delle operazioni del ciclo di misura definite dal programma ed alla trasmissione dei dati ad UE.

L'Unità di elaborazione (UE) provvede alla gestione di MC, allo scaricamento dei dati di misura provenienti da MC, alla loro elaborazione, alla presentazione dei risultati in forma grafica e all'archiviazione di dati, risultati e informazioni ausiliarie.

Funzioni svolte dal modulo di controllo MC

Il modulo di controllo è interfacciato in modo analogico col modulo a microonde e in modo digitale all'unità di elaborazione.

Segnali analogici

In seguito ad un comando esterno, prodotto da un apposito trigger, MC avvia il ciclo di acquisizione, costituito da N passi. In ciascun passo, MC fornisce al modulo a microonde [2] la tensione $V_T(i)$ che determina la frequenza d'uscita del VCO contenuto in MM e, dopo un opportuno ritardo, acquisisce i segnali V_{REF} e V_{MIS} presenti alle uscite dei diodi rivelatori (vedi figura 2).



Figura 2. Schema elettrico semplificato del modulo a microonde.

Dati digitali

Ad ogni passo del ciclo, MC memorizza i dati ottenuti mediante la conversione analogico/digitale di V_{REF} e V_{MIS} in posizioni successive di due vettori con lunghezza N, ripete l'operazione di acquisizione fino al riempimento dei vettori e invia i dati all'Unità di Elaborazione.

MC riceve dall'Unità di Elaborazione i parametri che definiscono il ciclo di acquisizione.

La figura 3 mostra la sequenza delle operazioni eseguite dal modulo di controllo.

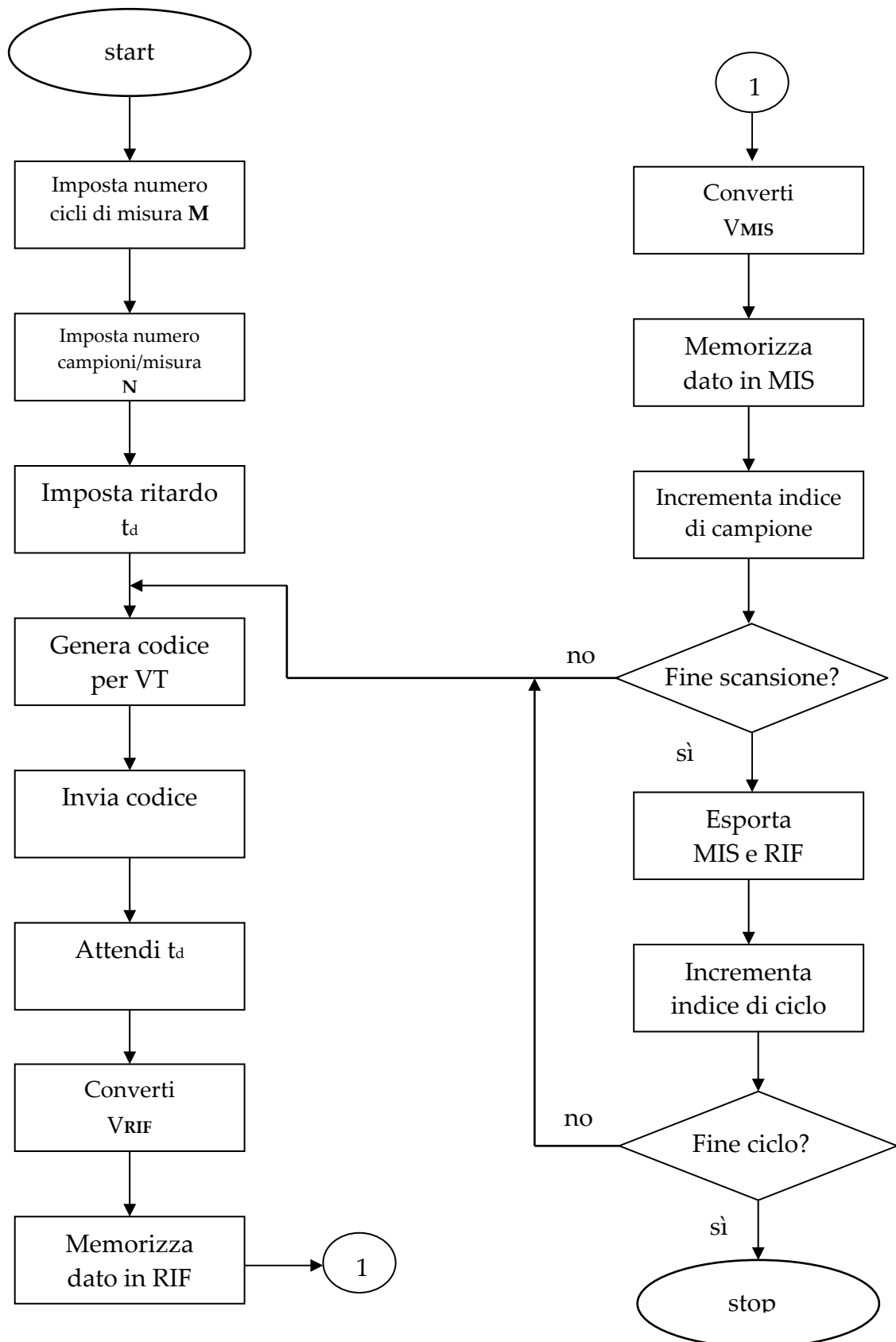


Figura 3. Schema a blocchi delle operazioni eseguite dal modulo di controllo.

Componente hardware

Il modulo di controllo è stato realizzato impiegando una scheda programmabile GRIFO[®]554 (vedi figura 3); le principali caratteristiche della scheda sono riportate in tabella 2 [3].



Figura 4. Scheda GRIFO[®]554.

CPU	Philips 80C552
Memoria	EPROM 32KB RAM 32KB RAM/EEPROM/EPROM 32KB EEPROM Seriale 256 byte
Frequenza di clock	22.1 MHz
Risoluzione A/D	10 bit
Tempo di conversione A/D	27 μ s
I/O	16 linee programmabili
RS232	2 linee

Tabella 1. Caratteristiche e prestazioni della scheda GRIFO[®]554.

La scheda è dotata dell'architettura modulare mostrata in figura 4; nella nostra applicazione è stata impiegata una parte dei componenti, per svolgere le funzioni riportate in tabella 2.

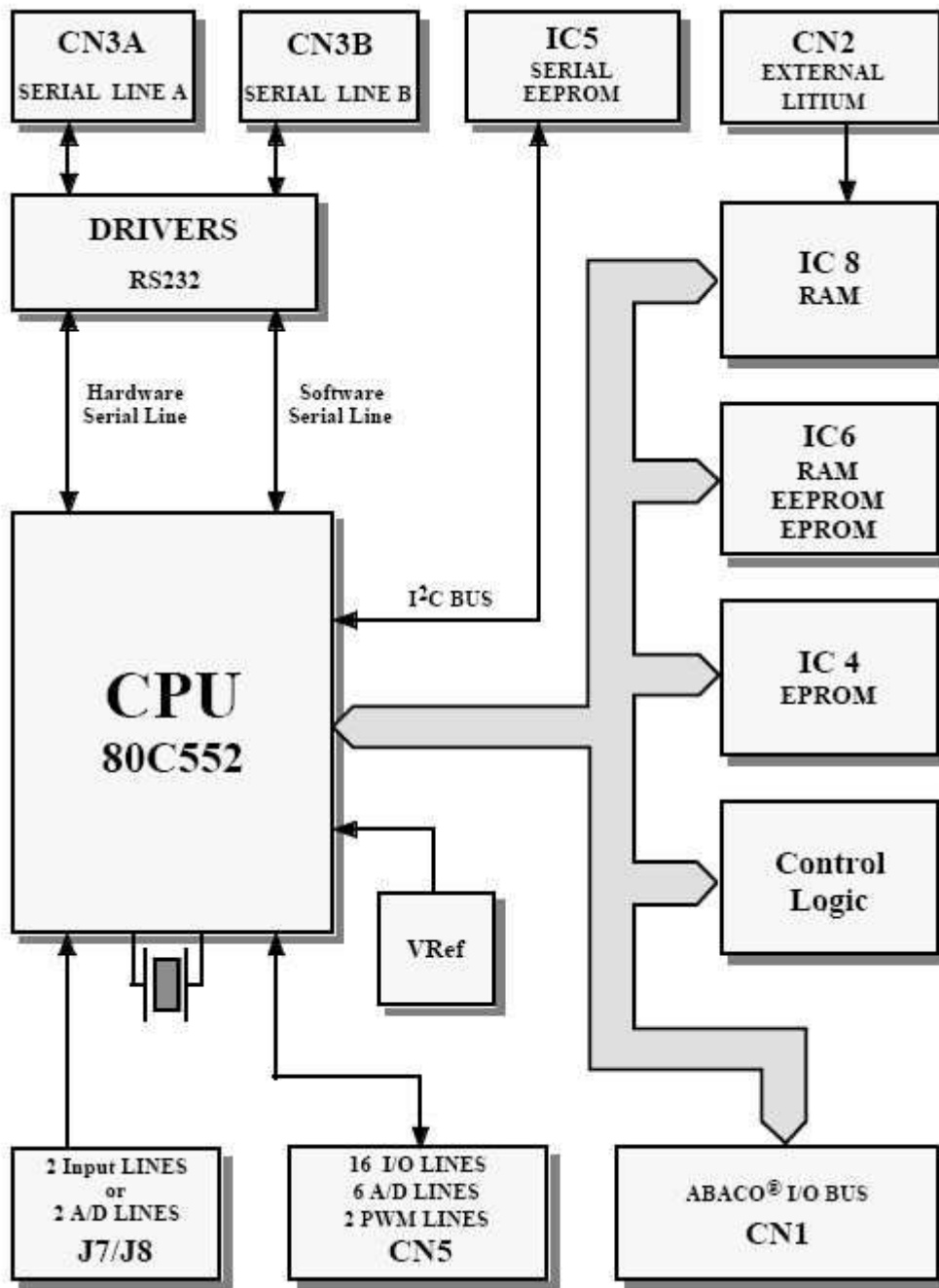


Figura 5. Schema a blocchi della scheda GRIFO@554.

componente	funzione	Note
CN3A CN3B DRIVERS	Collegamenti seriali verso il mondo esterno tramite RS232C standard	L'interfaccia con il modulo UE avviene tramite detto protocollo
IC8 IC6 Control Logic	Memoria centrale del dispositivo	Il programma viene scaricato per il debug in RAM e quindi copiato in EEPROM
VRef	Tensione di riferimento per la conversione A/D	
CN5	Espansione Bus Dati e ingressi analogici	Sono collegati con la scheda stampata contenente il convertitore D/A
CPU	Unità Centrale	Gestisce la UE in base al firmware caricato in RAM + EEPROM

Tabella 2. Funzioni svolte dai moduli della scheda GRIFO®554 impiegati dal Modulo.

Il convertitore D/A, necessario per pilotare il VCO del modulo a microonde, è stato montato su un circuito stampato, realizzato in modo da essere inserito sul connettore CN5 della scheda 554 (vedi figura 6).

La figura 7 mostra lo schema elettrico dello stampato. Oltre al convertitore D/A MAX502, il circuito comprende una coppia di operazionali ai cui ingressi sono applicati i segnali V_{REF} e V_{MIS} prodotti dai diodi rivelatori del modulo a microonde; regolando il guadagno degli operazionali si adatta il segnale d'uscita all'ingresso del convertitore A/D sulla scheda Grifo (2.49V).

Il circuito comprende una coppia di LED, che indicano lo stato del modulo: LED2 è acceso durante la conversione A/D dei segnali analogici provenienti dal modulo a microonde, LED1 è acceso durante il trasferimento dei dati all'unità di elaborazione.

Il pulsante SW avvia il ciclo di acquisizione, in alternativa al comando proveniente dall'unità di elaborazione.

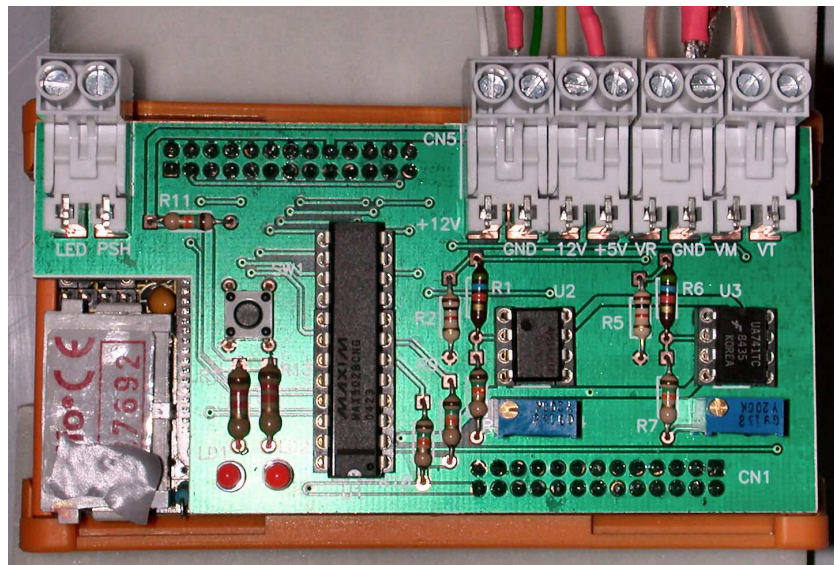
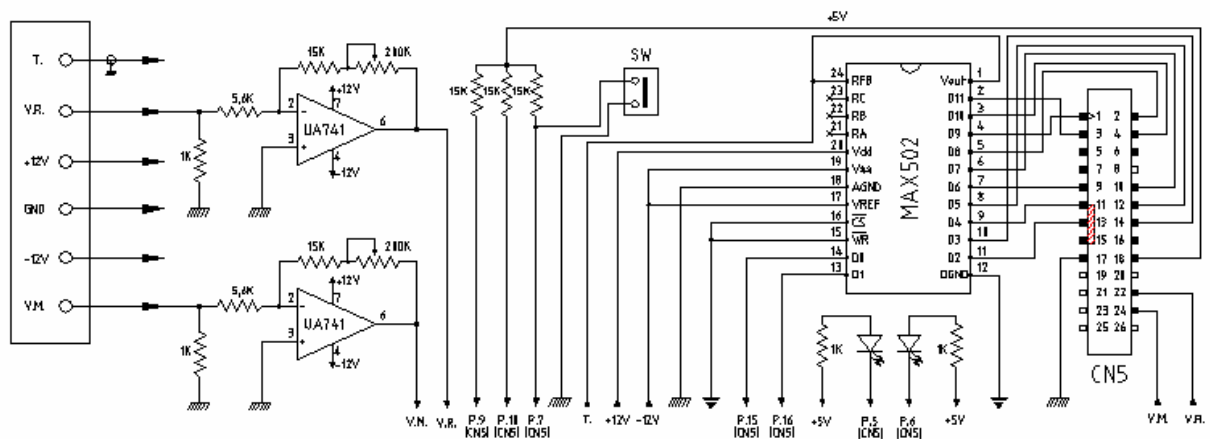


Figura 6. Stampato aggiuntivo del modulo di controllo.



Legenda

- T. = Tuner
- VM = V. Misura
- VR = V. Riferimento

Figura 7. Schema elettrico dello stampato.

MC è collegato agli altri componenti del sistema mediante i connettori elencati in tabella 3.

Connettore	Piedino	Nome	Segnale
CN3		RS232	colleg. seriale con UE
CN3			
CN6	1	LED	da CN5 P6 (spia)
CN6	2	PSH	a CN5-P2 (start)
CN7	1	12 V	alimentazione MC e MM
CN7	2	GND	massa
CN7	3	-12 V	alimentazione MC
CN7	4	5 V	alimentazione MC
CN7	5	V_{rif}	riferimento da MM
CN7	6	GND	massa
CN7	7	V_{mis}	misura da MM
CN7	8	V_T	tensione tuner a MM

Tabella 3. Connettori del Modulo di controllo.

Firmware

Il firmware di gestione del modulo di controllo è stato progettato e sviluppato in linguaggio C. E' stato usato l'ambiente IDE di sviluppo prodotto dalla Ditta Keil Software modello PK51 Versione 7.0, C51 Professional Developer's Kit.

Tipi di misura

Il firmware consente di eseguire due tipi di misura, una singola e una multipla. Il buffer di memoria in cui viene memorizzato il pacchetto di dati acquisiti dalla misura singola è lo stesso in cui vengono memorizzati e mediati i pacchetti di dati acquisiti nella misura multipla. E' quindi necessario un RESET dei dati prima di passare da una misura singola ad una misura multipla. Il buffer è costituito da due aree di memoria composte di 4096 word (2 unsigned byte).

Per la descrizione approfondita delle due misure si utilizzeranno le seguenti diciture:

NIstart = valore di frequenza di partenza

NIstop = valore di ultima frequenza

NIstep = valore d'incremento

NDati = numero dati calcolato come $(NIstop - NIstart + 1) / NIstep$

TDely = numero di unità da 10 microsecondi.

Misura singola

La misura singola consiste di un'unica spazzolata in frequenza dal valore NIstart al valore NIstop con incremento pari a NIstep. Gli NDati vengono acquisiti sia sul canale relativo alla misura vera e propria, sia sul canale ove è applicata la tensione di riferimento. La misura è effettuata solamente se sono stati scaricati i dati precedentemente memorizzati.

Per tutta la durata della misura il LED 2 è acceso.

Ad ogni passo in frequenza le operazioni eseguite sono le seguenti:

- scrive il valore corrente associato alla frequenza sul DA in uscita;
- attende il tempo TDely (in unità da 10 microsecondi);
- seleziona sul multiplexer in ingresso il canale misura;
- campiona il dato di misura;
- seleziona sul multiplexer in ingresso il canale di riferimento;
- campiona il dato di riferimento;
- memorizza nel buffer il dato di misura e il dato di riferimento.

Al termine della spazzolata il convertitore DA viene scritto con un valore 0 corrispondente al valore minimo di frequenza.

Misura multipla

La misura multipla consiste in un numero successivo di spazzolate in frequenza in modo analogo a quanto specificato per la misura singola. I pacchetti di NData sono sommati al contenuto dei relativi buffer di memoria (misura e riferimento); per questo motivo le due aree di memoria (buffer), prima dell'inizio della misura vera e propria, vengono inizializzate a zero.

Per minimizzare il tempo di calcolo della media dei dati, si è impostato il numero dei pacchetti come una potenza di 2 in modo da effettuare la divisione finale del valore accumulato mediante uno shift-right di ciascun valore. Il numero di pacchetti previsti nella versione attuale è 2, 4 e 8. Nel caso di un valore passato tramite comando ACQUIMU diverso da quelli elencati, viene impostato in modo implicito il valore 2 come numero di pacchetti da mediare.

Ogni singola misura consiste di una spazzolata in frequenza dal valore NStart al valore NStop con incremento pari a NStep. La misura viene eseguita solamente se sono stati scaricati i dati precedentemente memorizzati.

Per tutta la durata della misura il LED 2 è acceso.

Ad ogni passo in frequenza le operazioni eseguite sono le seguenti:

- scrive il valore corrente associato alla frequenza sul DA in uscita;
- attende il tempo TDely (in unità da 10 microsecondi);
- seleziona sul multiplexer in ingresso il canale misura;
- campiona il dato di misura;
- seleziona sul multiplexer in ingresso il canale di riferimento;
- campiona il dato di riferimento;
- memorizza nel buffer il dato di misura e il dato di riferimento.

Al termine delle N spazzolate, il convertitore DA viene scritto con un valore 0 corrispondente al valore minimo di frequenza, e viene eseguita la divisione dei campioni accumulati secondo le modalità riportate in precedenza.

Gestione del modulo

MC è gestito completamente da interfaccia seriale; tutte le operazioni vengono inizializzate dalle apparecchiature esterne ad esso collegate. Alla sua accensione, al termine della sequenza d'inizializzazione propria, il modulo si mette in attesa di comandi o di richieste di stato dalla porta seriale.

La ricezione e la trasmissione dei comandi/richieste seguono il protocollo preimpostato dal firmware residente sul micro e denominato FMO52. La porta seriale utilizzata sulla scheda Microcontrollore GPC554 è quella denominata CN3A.

Le impostazioni della porta seriale sono le seguenti:

BaudRate:	19200
DataBits:	8
StopBits:	1

NO Parity
NO Handshake

Per comandi s'intende l'impostazione di un parametro necessario alla misura oppure lo start della misura vera e propria (vedi tipi di misura); per richiesta di stato invece s'intende la restituzione da parte del micro di un valore precedentemente associato ad un parametro, oppure l'informazione circa lo stato interno in cui si trova il modulo (errore, pronto, etc.), oppure il pacchetto completo di dati acquisiti ed elaborati.

Sia i comandi che le richieste sono costituiti da singoli caratteri alfabetici in formato UPPER-CASE; detti caratteri sono preceduti e seguiti dal carattere asterisco **<*>**; una richiesta di stato, o informazioni, sarà sempre nel formato:

<*><x><*>

mentre un comando potrà essere in uno dei seguenti formati (impostazioni):

<*><x><*> oppure **<*><x><d><*>** oppure **<*><x><a><*>**

Una richiesta di stato è sempre seguita dalla restituzione di uno o due byte in formato binario secondo l'informazione richiesta. Dove l'informazione richiesta è maggiore di 255 (max byte binario) sono restituiti 2 byte in sequenza (word) dove il primo byte è il byte basso della parola e il secondo byte è il byte alto della parola restituita. Questo è vero anche in tutti i dati che costituiscono il pacchetto risultante della misura essendo valori compresi tra 0 e 4095 (12 bit).

Ogni dato restituito (sia il singolo byte o il doppio byte per una word) è preceduto da un carattere cancelletto **<#>**; si tenga presente quindi che tutte le informazioni passate dall'apparecchiatura esterna al modulo sono racchiuse tra una coppia di caratteri asterisco **<*>XXXX<*>** mentre quelle passate dal modulo all'apparecchiatura esterna sono racchiuse tra una coppia di caratteri cancelletto **<#>XXXX<#>**.

All'interno del modulo viene calcolato anche il CRC di tutti i byte restituiti per verificare il corretto trasferimento del pacchetto (nella versione attuale non viene mai restituito all'apparecchiatura collegata). Il CRC è calcolato come somma dei byte modulo 256.

Elenco dei comandi - richieste

I comandi accettati da MC sono i seguenti:

NSTARTI <*><I><a><*> imposta il valore di partenza della campionatura
(2 byte che compongono una word – valore compreso tra 0 e 4095).
Non restituisce nulla.

NSTOPPI <*><F><a><*> imposta il valore di arrivo termine della campionatura
(2 byte che compongono una word – valore compreso tra 0 e 4095).
Non restituisce nulla.

NSTEPDI <*><Z><d><*> imposta lo step tra i dati di acquisizione; il numero
di dati acquisiti è sempre (NSTOPPI-NSTARTI+1)/NSTEPDI
(step in frequenza – tra 0 e 255).
Non restituisce nulla.

ACQUISN <*><S><*> esegue una singola misura di (nstop-nstart+1)/nstep.
Al termine dell'esecuzione ritorna la sequenza di caratteri: <#><S><#>.

ACQUIMU <*><M><n><*> esegue **n** misure e media i valori acquisiti.
Al termine dell'esecuzione ritorna la sequenza di caratteri: <#><M><#>.

DTDELAY <*><T><a><*> imposta il ritardo sull'acquisizione in unità da 10 microsecondi
ciascuna
Non restituisce nulla.

RESETDT <*><R><*> richiesta di reset ai valori di default
Ritorna la sequenza <#><R><#>.

INVIODT <*><D><*> richiesta invio dati
(vedi invio dati)

OUTDATA <*><O><a><*> imposta un valore sul DA in uscita
(utile nella fase di debug o taratura del sistema).
Ritorna la sequenza <#><O><#>.

NOTA BENE:

Con s'intende un byte binario da utilizzarsi come byte basso della word risultante, mentre con <a> s'intende un byte binario da utilizzarsi come byte alto della word.

Le richieste che possono essere inviate al modulo sono le seguenti:

NSTARTI <*><I><*> richiede il valore di partenza della campionatura
restituisce 2 byte che compongono una word nel formato <#><a><#>.
Il valore è compreso tra 0 e 4095.

NSTOPPI <*><F><*> richiede il valore di arrivo al termine della campionatura.
restituisce 2 byte che compongono una word nel formato <#><a><#>.
Il valore è compreso tra 0 e 4095.

NSTEPDI <*><Z><*> richiede lo step tra i dati di acquisizione; il numero restituisce 1 byte nel
formato <#><#>
Il valore è compreso tra 0 e 255.

DTDELAY <*><T><*> richiede il ritardo sull'acquisizione in unità da 10 microsecondi ciascuna

restituisce 2 byte che compongono una word nel formato <#><a><#>.
Il valore è compreso tra 0 e 4095.

RQSTATO <*><A><*> richiesta stato restituisce 1 byte nel formato <#><#>
I valori possibili sono:
ERRORE 255(binario)
TUTT OK 100(binario)
PRONTO 0
DATI PRONTI 5

NOTA BENE:

Con s'intende un byte binario da utilizzarsi come byte basso della word risultante, mentre con <a> s'intende un byte binario da utilizzarsi come byte alto della word.

Invio dati risultanti

Sia per la singola misura che per quella multipla, alla ricezione del comando INVIODT (invio dati) MC restituisce sempre un pacchetto costituito da 2 x NDATI word; il primo buffer è riferito alla misura e il secondo è riferito alla misura vera e propria. Ogni parola è costituita dall'invio in sequenza di una coppia di byte in formato binario di cui il primo è sempre il byte basso e il secondo è sempre il byte alto nella forma:

<a>

Il valore risultante di ogni singolo campione viene quindi calcolato come:

$$\mathbf{CAMPn = (<a> * 256) + }$$

Abbiamo già visto che NDATI è calcolato come:

$$\mathbf{NDATI = (NSTOPPI - NSTARTI + 1) / NSTPPI}$$

Viene calcolato il CRC dell'intero pacchetto. La trasmissione del pacchetto è segnalata dall'accensione del LED1 per tutta la dura del trasferimento.

Valori di default dei parametri di misura

All'accensione del modulo, o alla ricezione da parte di quest'ultimo di un comando RESETDT, i valori di default per la misura sono i seguenti:

NIstart = 0 valore di frequenza al limite inferiore (DA = low);
NIstop = 4095 valore di frequenza al limite superiore (DA = Vref);
NIstep = 1 valore numerico incrementale tra i campioni;
Nmedie = 1 numero medie da eseguire in caso di acquisizione multipla;
NDati = 4096 numero dati risultante (numero massimo);

TDely = 100 ritardo tra impostazione della frequenza e acquisizione pari a 1 millisecondo (100×10 microsecondi, che è l'unità minima di risoluzione temporale impostata sul microcontrollore.

BUFFER[][] = 0 il buffer in cui vengono memorizzati e mediati i campioni viene inizializzato a zero.

Programma di test

Il funzionamento di MC può essere verificato mediante un programma di prova, residente sull'Unità di elaborazione.



Figura 8. Schermata iniziale del programma di test.

La schermata iniziale del programma (vedi figura 8) consente l'inserimento delle seguenti specifiche mediante apposite finestre o pulsanti.

Modo di collegamento

- porta di collegamento RS232
- velocità di trasmissione

Parametri di misura

- frequenza d'inizio e di fine scansione (in codici numerici da 0 a 4096)
- valore d'incremento del codice
- ritardo tra impostazione della frequenza e acquisizione dei dati (in passi di 10 microsecondi)

Modo di misura

- singola
- multipla (ripetuta 44 volte)

Lo stato del modulo di controllo è verificabile mediante il corrispondente tasto: quando la periferica è pronta, si accende la spia blu sulla schermata.

Il ciclo di acquisizione viene attivato mediante il tasto **Misura**: MC provvede a pilotare il VCO secondo le specifiche impostate

Al termine dell'acquisizione i dati contenuti in MC sono trasferiti nell'unità di elaborazione mediante il tasto **Trasf. Dati**; il programma attiva quindi la schermata mostrata in figura 9, in cui compaiono:

- i dati ottenuti campionando V_{REF} (colonna 1)
- i dati ottenuti campionando V_{MIS} (colonna 2)
- il valore $V = V_{MIS} / V_{REF}$ (colonna 3)

Questo rapporto è calcolato dal programma.

Bytes Letti n:	(0) V_{REF}	(1) V_{MIS}	(2) $V = V_{MIS} / V_{REF}$
(0) 1011	744	0.7359051	
(1) 1011	741	0.7329377	
(2) 1011	738	0.7299703	
(3) 1011	735	0.727003	
(4) 1011	732	0.7240356	
(5) 1011	730	0.7220573	
(6) 1011	729	0.7210683	
(7) 1011	727	0.71909	
(8) 1011	726	0.7181009	
(9) 1010	725	0.7178218	
(10) 1011	723	0.7151335	
(11) 1010	721	0.7138614	
(12) 1010	720	0.7128713	
(13) 1010	718	0.7108911	
(14) 1009	716	0.7096135	
(15) 1009	715	0.7086224	
(16) 1009	715	0.7086224	
(17) 1009	714	0.7076313	
(18) 1009	713	0.7066402	
(19) 1008	713	0.7073413	
(20) 1008	713	0.7073413	
(21) 1008	712	0.7063492	
(22) 1007	711	0.7060576	
(23) 1007	711	0.7060576	
(24) 1006	711	0.7067595	
(25) 1006	711	0.7067595	
(26) 1005	710	0.7064677	

Figura 9. Valori di riferimento e misura presentati dal programma di test.

Mediante il pulsante **Grafico** presente in questa schermata si ottiene la schermata di figura 10, che mostra il valore di V in funzione del codice di frequenza.

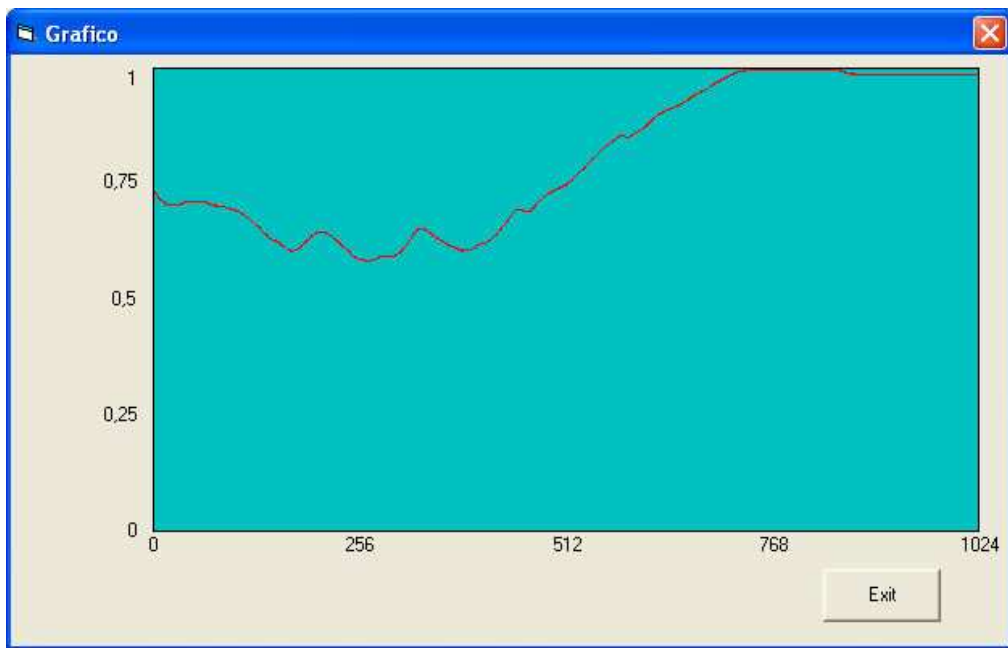


Figura 10. Grafico dei valori di misura.

Riferimenti

1. E. Bozzi, M. Chimenti, E. Fantini, G. Gagliardi, M. Orsolini, A. Ribolini, A. Zucchelli "Progetto di un sistema per misure non invasive a microonde" Rapporto tecnico ISTI, 2005 B4-03, febbraio 2005.
2. G. Gagliardi "Realizzazione del prototipo di un modulo a microonde per misure non invasive" Rapporto tecnico ISTI, 2007 B4-004, aprile 2007.
3. GPC® 554 General Purpose Controller 80C552, Manuale Tecnico Grifo, dicembre 1999.