

INTERNAL REPORT

Switch Attenuator Box

Pierluigi Ortu, Mauro Pili, Andrea Saba, Giuseppe Valente, Enrico Urru

Report N. 56,
released: 27 07 2016

Revisore: Adelaide Ladu



Osservatorio
Astronomico
di Cagliari

Sommario

Sommario.....	2
1. Introduzione.....	3
2. Architettura e schema a blocchi.....	4
3. Progettazione e realizzazione dell'hardware.....	5
3.1 Scheda di controllo per lo step attenuator (ATT PRT v1.0).....	5
3.2 Scheda di controllo per switch elettro-meccanico.....	9
3.3 Scheda di controllo per switch pin-diode.....	11
3.4 Realizzazione della tastiera a 4 pulsanti.....	12
3.5 La scelta del monitor LCD.....	13
3.6 Lo stadio di alimentazione e stabilizzazione.....	14
4. Realizzazione del software e del firmware.....	15
4.1 Software di test tramite Labview.....	15
4.2 Il passaggio ad Arduino UNO.....	16
4.3 Realizzazione del software 2.0 e passaggio ad Arduino Ethernet.....	17
4.3.1 Controllo locale.....	18
4.3.2 Il firmware.....	19
4.3.3 Python interface.....	20
5 Realizzazione della parte meccanica.....	21
6 Cablaggio della BOX e aggiunta della dissipazione attiva.....	23
7 Misure elettromagnetiche.....	24
7.1 Prestazioni step attenuator.....	24
7.2 Prestazioni switch elettro-meccanico.....	26
7.3 Prestazioni switch pin-diode.....	27
8 Conclusioni.....	29
Riferimenti.....	30

1. Introduzione.

Lo scopo di questo rapporto interno è quello di descrivere le fasi di progettazione e realizzazione di un nuovo strumento per il laboratorio di microonde chiamato “Switch Attenuator Box” (SAB). Lo sviluppo di questo specifico progetto nasce dalla necessità generale di automatizzare il più possibile le misure nell’ambito delle microonde. Le misure sono affette da errori sistematici e non sistematici. Gli errori umani quali per esempio errori nella sequenza della misura o nella trascrizione dei risultati sono errori non sistematici di difficile individuazione. Tali errori sono rilevanti soprattutto quando la mole di dati ottenuti dalle misure è grande. La crescita esponenziale dei dati di misura è determinata dalla richiesta di sistemi multifeed a doppia polarizzazione da parte della radioastronomia moderna. Questi devono essere caratterizzati in particolar modo nel valore di temperatura di rumore, punto di compressione, guadagno per ogni singola polarizzazione e per ogni singola catena ricevente. Il sistema che andremo a descrivere consente la gestione di diversi dispositivi, utili in fase di misura, tramite un controllo remoto, attraverso un collegamento LAN, e un software di gestione sviluppato ad hoc. In particolare il SAB controlla un attenuatore digitale (Agilent 84904K [1]), due switch elettro-meccanici (Keysight 8761B [2]) e uno switch pin diode (MiniCircuit MSP2T-18-PM+ [3]). Nei capitoli a seguire verranno descritte le fasi di progetto del controllo, lo sviluppo del firmware, lo studio del case e infine le misure elettromagnetiche.

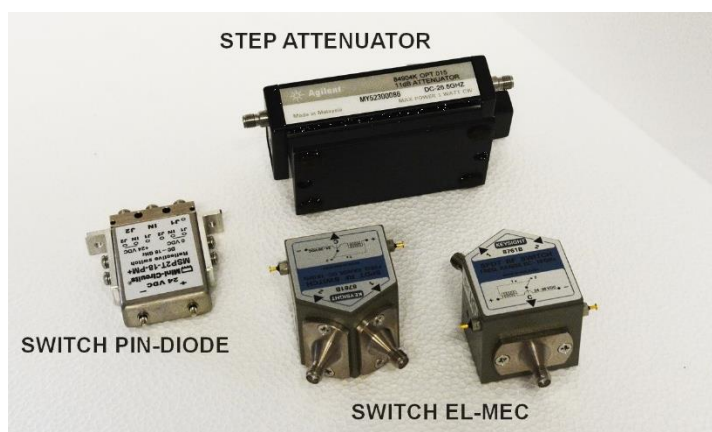


Figura 1: Componenti gestiti dal SAB.

2. Architettura e schema a blocchi.

Nella Figura 2 si può osservare l'architettura finale utilizzata per il sistema e basata su controllore Arduino Ethernet [4] che pilota tre schede di controllo, si può osservare inoltre la presenza di un controllo locale tramite tastiera e di un monitor LCD per l'interazione con l'operatore.

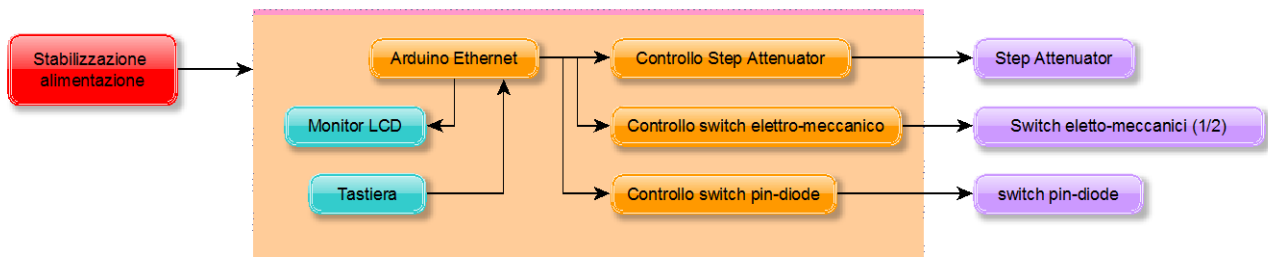


Figura 2: Schema a blocchi del sistema.

Come si vedrà durante l'esposizione di questo documento, il controllore scelto per la realizzazione è stato sostituito due volte per soddisfare al meglio le esigenze che venivano chieste di volta in volta. Inizialmente è stato utilizzato un controllore della National Instruments (NI myDAQ [5]); successivamente si è passati ad Arduino UNO rev. 3 [6] poiché questa scheda, con microcontrollore Atmel [7], garantisce elevate proprietà in merito a prestazione e personalizzazione mantenendo un costo decisamente contenuto rispetto al myDAQ. Infine, il passaggio ad Arduino Ethernet ha permesso di adempiere anche alla richiesta di remotizzazione del sistema.

Il monitor LCD, connesso tramite bus I²C [8], consente la visualizzazione dei comandi e degli stati in cui il dispositivo si trova. Le tre schede di controllo forniscono gli input necessari ai seguenti dispositivi: lo Step Attenuator, gli Switch elettro-meccanici e lo Switch Pin-diode.

La tastiera a quattro pulsanti permette al sistema di essere pilotato da locale e di attivare la modalità remota.

Lo stadio di alimentazione e stabilizzazione, posto a monte dell'intero sistema, garantisce elevata stabilità fornendo in uscita tutte le tensioni necessarie al corretto funzionamento della componentistica.

3. Progettazione e realizzazione dell'hardware.

3.1 Scheda di controllo per lo step attenuator (ATT PRT v1.0)

Gli step dell'attenuatore digitale vengono impostati tramite dei relè posti al suo interno. Per pilotare le induttanze dei relè è stato predisposto uno stadio di diodi di ricircolo, necessari ad evitare la generazione di spike i quali, oltre a creare dei disturbi, potrebbero danneggiare la logica stessa e l'elettronica di pilotaggio.

Lo stadio di ricircolo è visualizzabile in Figura 3 evidenziato dal riquadro verde (1).

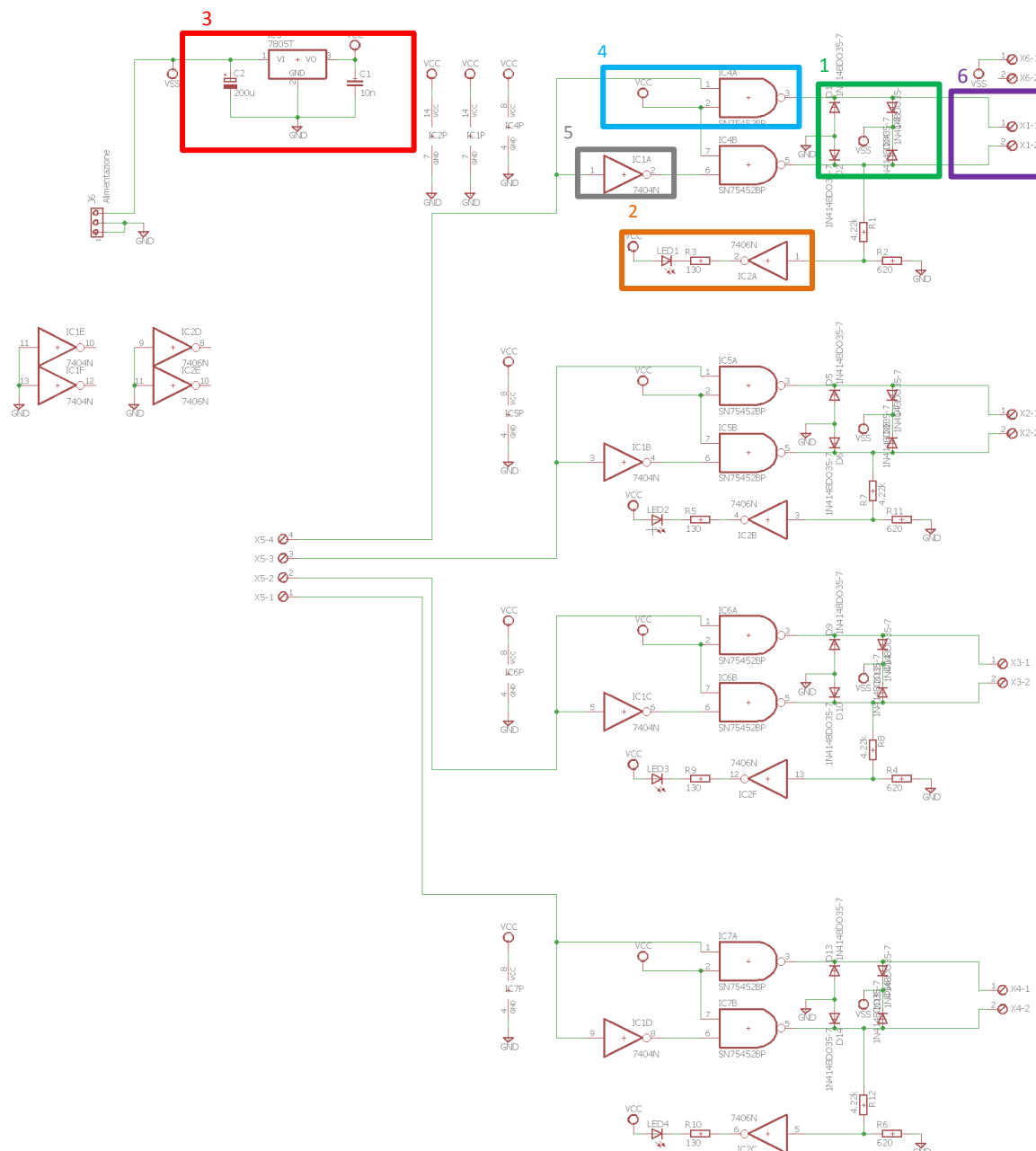


Figura 3: Schematico ATT PRT v1.0 realizzato con Eagle.

Lo schematico per la progettazione della PCB è stato realizzato tramite il software di progettazione elettronica Eagle [9]. La scheda lavora con due valori principali di alimentazione: i 15V che vanno a pilotare le induttanze dell'attenuatore e i 5V che garantiscono la corretta alimentazione della logica elettronica. Come si

può notare, infatti, è stato aggiunto uno stabilizzatore di tensione (LM7805 [10]) che garantisce una stabilizzazione ottimale sull'alimentazione da 5V. Lo stadio di alimentazione è evidenziato dal riquadro rosso (3).

Il circuito si basa su integrati 75452BP della Texas Instruments [11], riquadro azzurro (4) in Figura 3, che sono delle porte logiche pilotabili da un segnale TTL 5V. Inoltre i 75452BP sono delle porte logiche open collector, quindi possono pilotare in uscita segnali di potenza superiore a quello TTL. Nel nostro caso la tensione pilotata è 15V, necessaria ad eccitare le induttanze tramite le morsettiere di uscita, evidenziata nel riquadro viola (6) in Figura 3.

Le induttanze dell'attenuatore devono essere pilotate con due valori in controfase per volta, come è possibile notare nello schema in Figura 4.

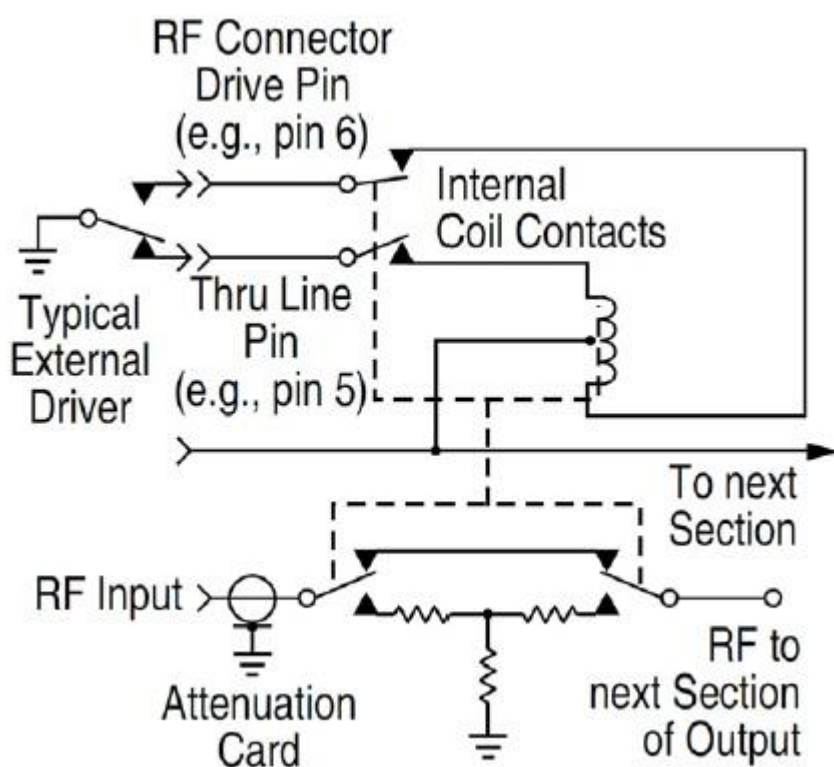


Figura 4: Schematico delle induttanze interne all'attenuatore [1].

Dallo schematico si può notare che l'induttanza è a presa centrale. Il pin centrale deve essere collegato direttamente all'alimentazione 15V mentre gli altri due pin servono a pilotare la chiusura delle lamelle per la scelta dell'attenuazione. Le due lamelle vanno pilotate in controfase, pertanto, quando una ha un valore di tensione alto, l'altro deve risultare basso e vice versa. Questo viene garantito dall'apposita porta TTL di negazione mostrata in Figura 3 nel riquadro in grigio (5).

La visualizzazione dello stato in cui si trova il dispositivo è possibile tramite apposito led pilotato dallo stadio in Figura 3 nel riquadro arancione (2).

Il circuito di controllo lavora in simbiosi con lo step attenuator e non è possibile testarlo separatamente a meno che non vengano utilizzate delle resistenze di pull-UP opportunamente dimensionate, come è possibile

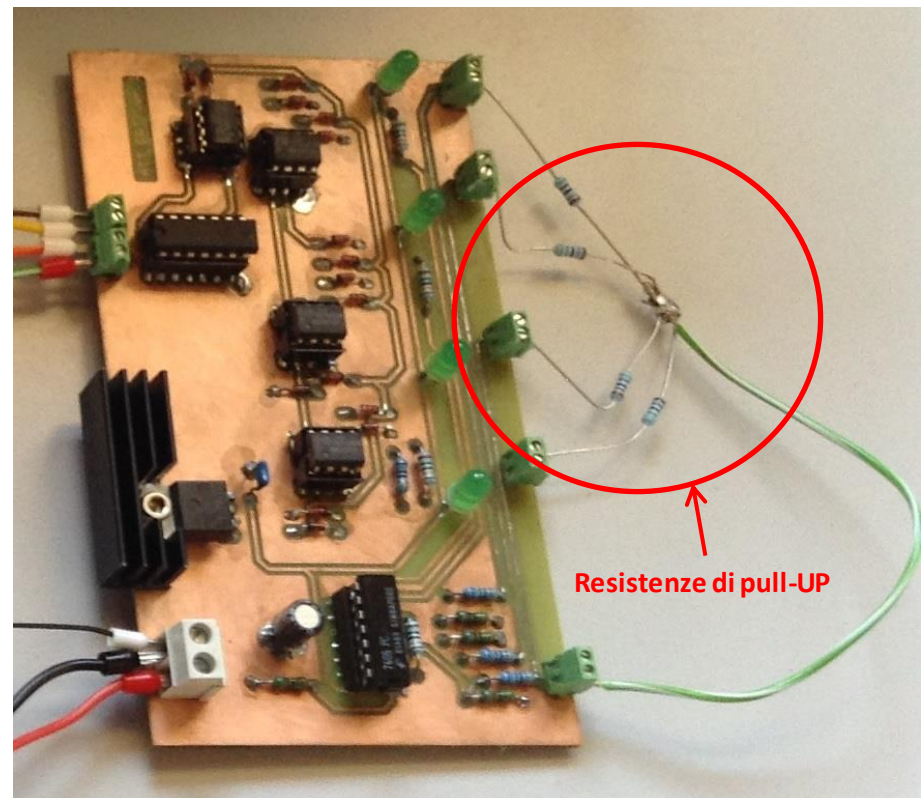


Figura 5: ATT PRT Ver 1.0 con resistenze di Pull-UP.

Figura 6 è mostrata la PCB progettata con Eagle, nella quale possiamo notare in rosso le piste lato TOP e in

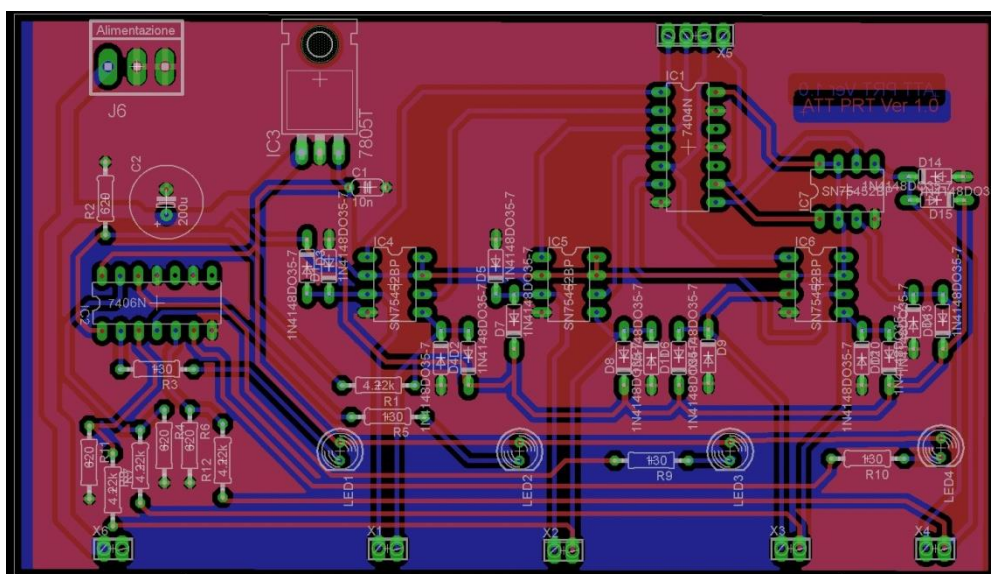


Figura 6: Board controllo Step Attenuator.

Per avere un'idea migliore dell'ingombro dei componenti e verificarne il corretto posizionamento è stato

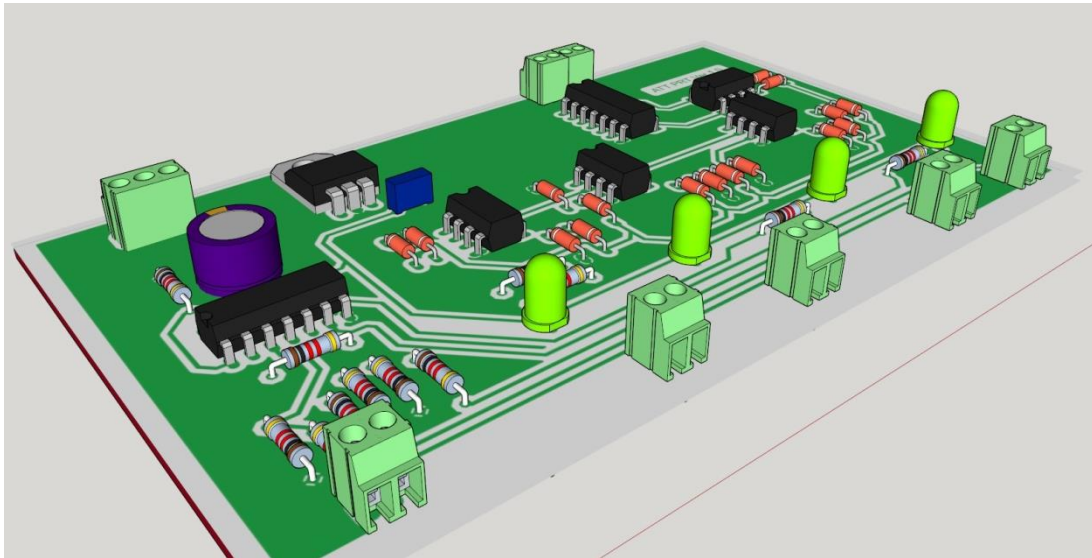


Figura 7: Rendering 3D ATT PRT v1.0.

Infine la PCB è stata realizzata con la fresatrice LPKF C100HF [13], presente presso i laboratorio di elettronica dell'Osservatorio Astronomico di Cagliari.

Si è scelto di pilotare la scheda tramite un programma realizzato con software Labview [14] della National Instruments e interfacciata con hardware della stessa casa denominato NI myDAQ, capace di effettuare misure, campionamenti, realizzazione di funzioni sia per segnali analogici che digitali.

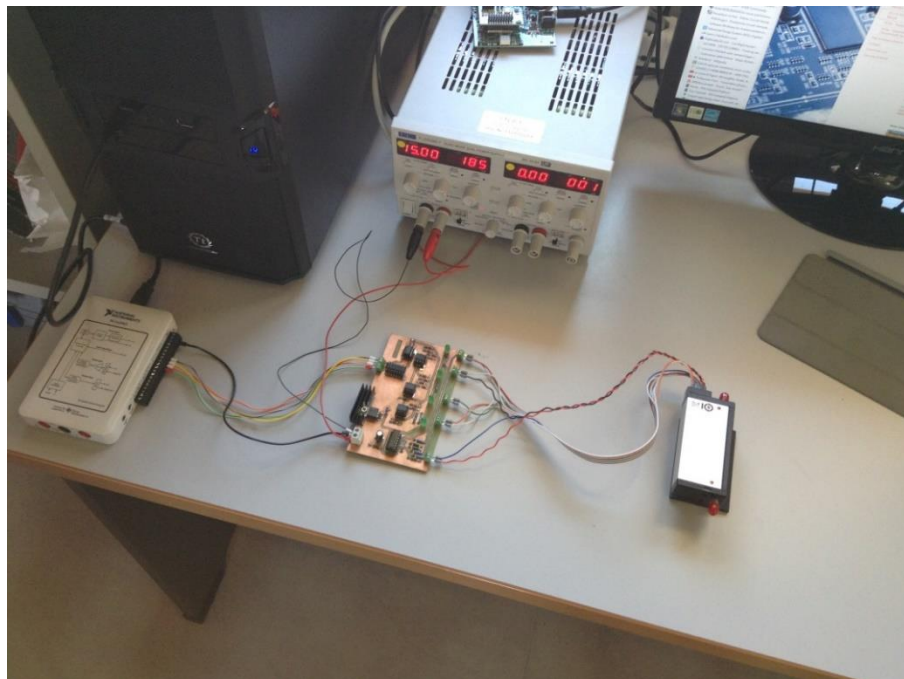


Figura 8: NI myDaq con ATT PRT Ver 1.0 e Step Attenuator.

In Figura 8 viene mostrato il collegamento dei vari componenti sotto test.

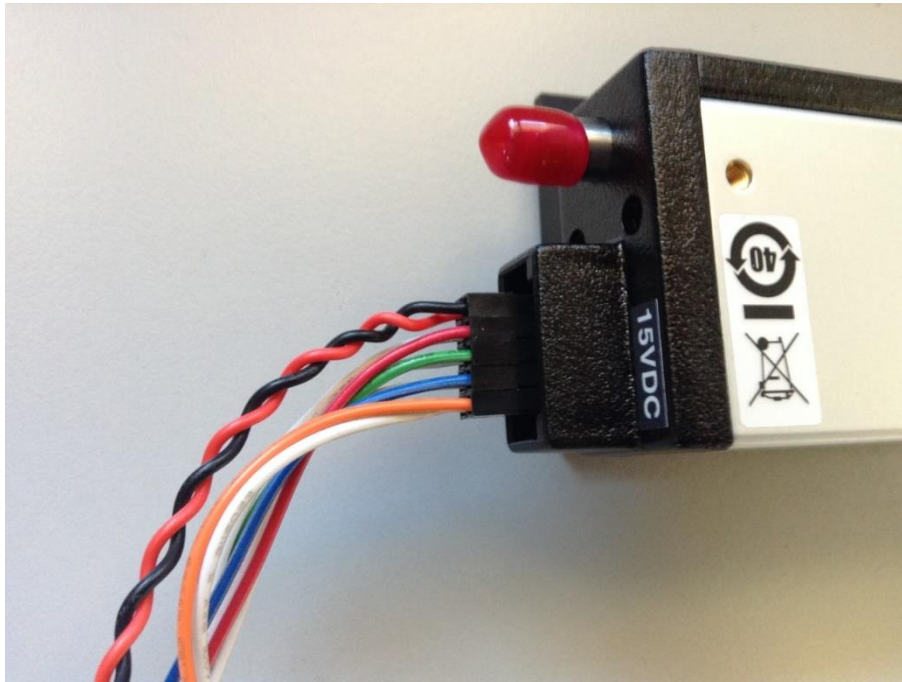


Figura 9: Zoom piedinatura Step Attenuator.



1	2	3	4	5
6	7	8	9	10

PIN	Colore	Funzione
1	Nero	X3-1
2	Rosso	X4-1
3	Verde	X2-2
4	Blu	N.C.
5	Arancione	X1-2
6	Rosso	X6-1 15V Vss
7	Bianco	X2-1
8	Bianco	X4-2
9	Bianco	X3-2
10	Bianco	X1-1

Tabella 1: Pinout connettore lato step attenuator.

Nella Tabella 1 viene mostrato il connettore lato step attenuator visualizzato in Figura 9 con i rispettivi colori dei cavi che lo collegano. Inoltre nella colonna di destra viene messo in evidenza il nome del connettore corrispondente allo schematico di Figura 3 e alla board in Figura 6.

3.2 Scheda di controllo per switch elettro-meccanico.

La scheda è stata realizzata tramite software di progettazione elettronica Eagle e lo schematico è quello mostrato in Figura 10.

Il funzionamento del circuito è basato sull'integrato di potenza L298N della STMicroelectronics [15] visualizzabile nel riquadro blu (2) in Figura 10; questo integrato è un H-Bridge che consente l'inversione di tensione fino a 46V con corrente massima di 4A. Lo stabilizzatore LM7805 insieme alle capacità di filtraggio, visualizzabili nel riquadro rosso (1) in Figura 10, garantiscono la tensione di 5V indispensabile alla logica dell'integrato mentre i diodi in uscita (1n4148 [16]) visualizzabili nel riquadro verde (3) in Figura 10 sono stati utilizzati come diodi di ricircolo in modo da evitare sovralongazioni di tensione dovute al pilotaggio di carichi

con importanti componenti induttive. Tutto il circuito è alimentato con una tensione pari a 24V, in questo modo il chip permette di alimentare un carico a 24V oppure a -24V in base alla configurazione di input con cui viene pilotato. Il carico può essere collegato tramite l'apposito connettore di uscita riquadrato in arancione (4) in Figura 10.

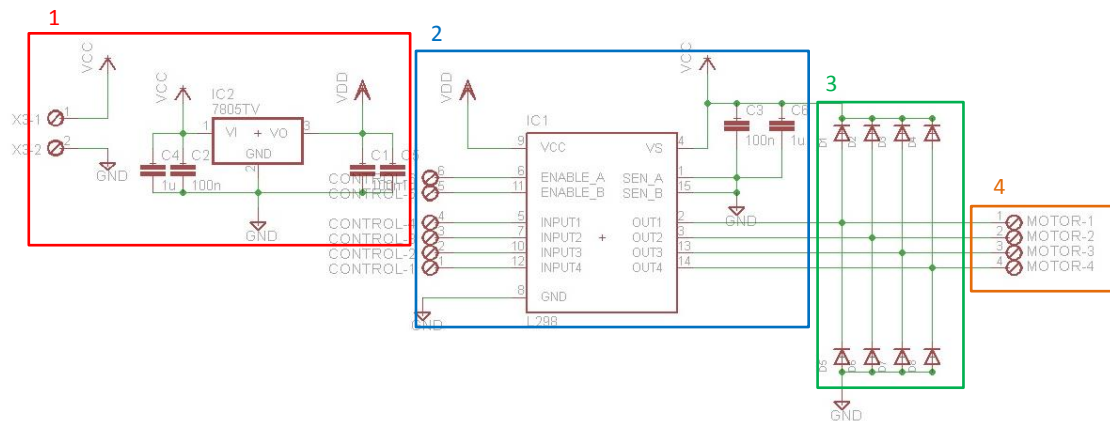


Figura 10: Schematico H-Bridge.

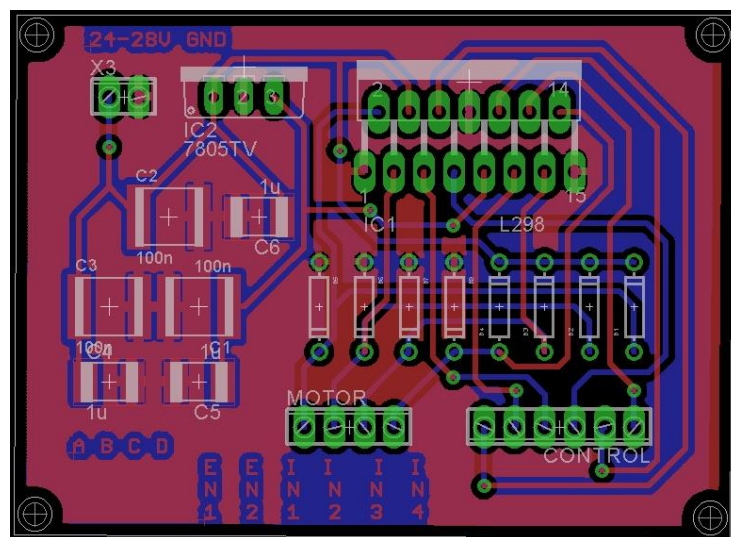


Figura 11: PCB H-Bridge.

Il circuito è stato quindi sbrogliato, come si può notare dalla Figura 11; si è cercato di mantenere una compattezza elevata scegliendo ove possibile componentistica SMD.

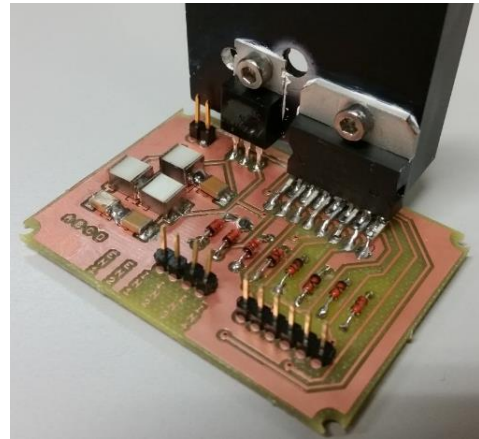
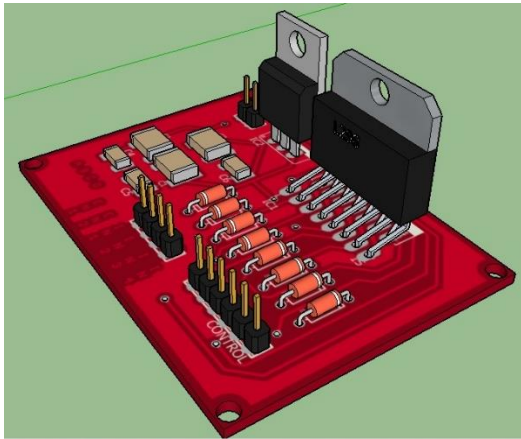


Figura 12: Rendering 3D H-Bridge e risultato finale.

È stato realizzato il rendering 3D della scheda in modo da poter ispezionare ed eventualmente correggere ingombri meccanici difficilmente apprezzabili tramite modello 2D.

In Figura 12 è mostrata la scheda ultimata, realizzata tramite fresatrice LPKF e saldata a mano nei nostri laboratori. Visto il flusso di calore generato dagli integrati, che devono lavorare per brevissimi periodi e con carichi non impegnativi, il dissipatore è stato dimensionato in maniera adeguata, benché sottodimensionato per questo integrato che in un utilizzo a pieno carico ne richiederebbe uno da 25W.

3.3 Scheda di controllo per switch pin-diode.

Per il controllo dello switch pin-diode è stata realizzata una scheda basta su un relè in grado di fornire la tensione all'utilizzatore quando richiesta. La scheda lavora direttamente a 24V, il relè scelto (Axicom D2n 5V DC V23105-A5001-A201)[17] è un relè monostabile con power-coil di 150mW a 5V. Il relè è alimentato a 24V attraverso un circuito di polarizzazione costituito da un BJT, da un diodo di ricircolo e da una resistenza. La resistenza posta in serie al collettore del BJT limita semplicemente la potenza fornita all'induttanza in modo da non danneggiarla, mentre il diodo in parallelo elimina le sovraelongazioni dovute alla brusca interruzione di corrente sull'induttore.

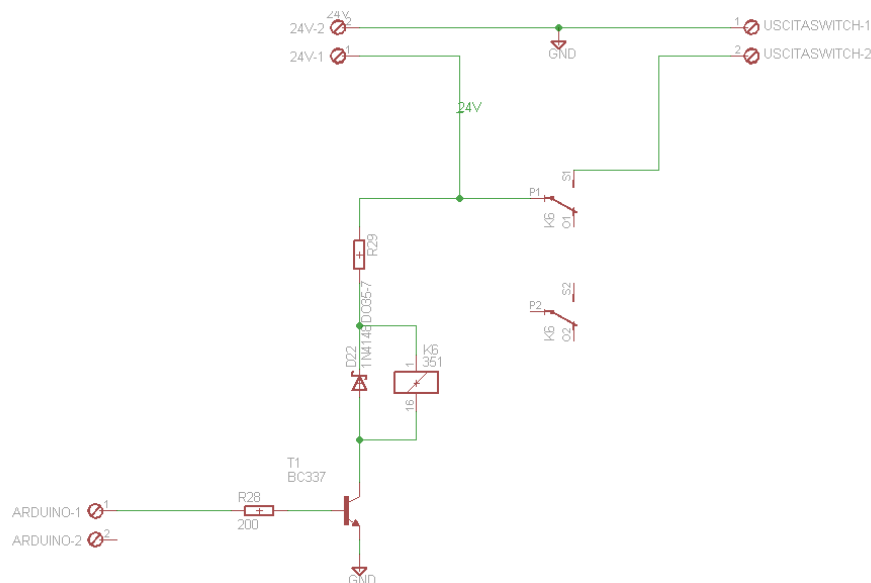


Figura 13: Schematico della scheda di controllo per lo switch pin-diode.

Figura 15 vengono mostrati il modello 3D della scheda e la sua realizzazione finale.

3.4 Realizzazione della tastiera a 4 pulsanti.

The diagram shows a 5V supply connected to HEADER-3. A series of resistors (R1=4.7k, R2=1k, R3=1k, R4=1k) and switches (S1, S2, S3, S4) are connected between the 5V line and the other headers (HEADER-2, HEADER-1, and GND). The switches are controlled by the Analog Arduino and GND Arduino headers.

12

La soluzione immediata sarebbe stata quella di associare ad ogni pulsante un pin digitale dell'Arduino. Questo avrebbe comportato l'utilizzo di 4 pin. Visti il numero limitato di pin disponibili e la previsione di quelli necessari per l'intero sistema, è stata realizzata una logica che consentisse di misurare il voltaggio associato al pulsante premuto in base al valore resistivo della combinazione delle resistenze R1, R2, R3, R4 (Figura 16).

In questo modo alimentando la tastiera e collegandoci direttamente a un pin analogico dell'Arduino, è stato possibile leggere il valore di tensione compreso tra 0V e 5V in base al pulsante premuto.

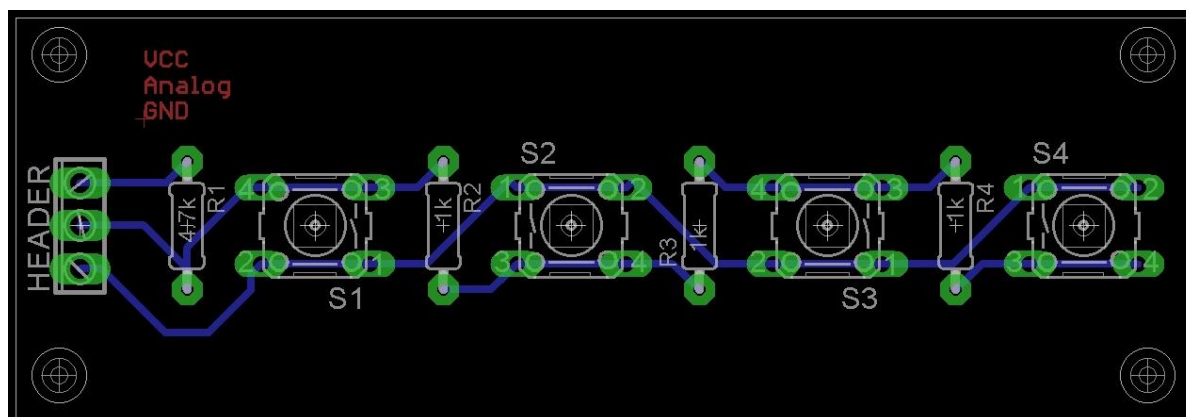


Figura 17: PCB tastiera.

In Figura 17 viene mostrato lo sbroglio del circuito dove i pulsanti sono stati posti sul layer bottom (blu) della scheda mentre le resistenze e il connettore sono stati posti sul layer top (rosso), in modo da non avere ingombri in fase di fissaggio della tastiera nella box.

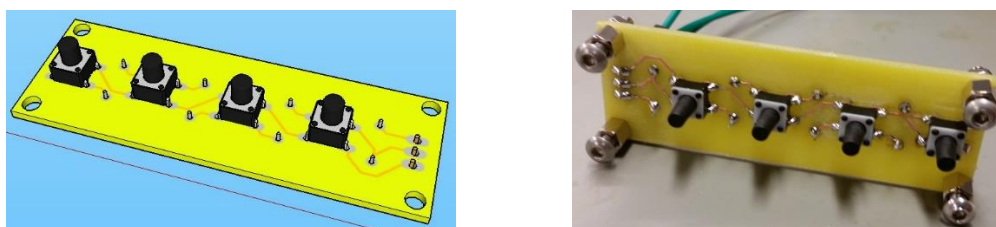


Figura 18: Rendering 3D tastiera e scheda ultimata.

Anche per questa scheda è stato realizzato un Rendering 3D, come si può vedere in Figura 18, per verificare gli ingombri prima della realizzazione finale.

Sempre in Figura 18 è apprezzabile la scheda ultimata in cui sono state aggiunte delle torrette M3 atte al fissaggio della stessa nella box.

3.5 La scelta del monitor LCD.

Il monitor LCD scelto è il Digilent PmodCLS [18]. Questo tipo di monitor monta un microcontrollore a bordo della Atmel ed è quindi possibile dialogarci direttamente tramite protocollo I²C; in questo modo sono necessari solamente 4 fili per il suo collegamento (VCC, GND, SDA, SCL). Questa soluzione ha evitato l'utilizzo di ulteriori pin consentendo quindi di destinarli ad altri controlli.



Figura 19: Monitor LCD Digilent PmodCLS.

In Figura 19 viene mostrato il monitor LCD che è stato collegato all'Arduino per visualizzare le informazioni sul controllo locale e remoto.

3.6 Lo stadio di alimentazione e stabilizzazione.

Tutto il sistema è stato progettato per lavorare a 24V con 650mA minimi di corrente misurata in fase di utilizzo; d'altra parte si consiglia una corrente nominale di 1A.

All'interno, invece, le tensioni sono state limitate e condizionate per ogni tipo di utilizzatore. I diversi utilizzatori infatti necessitano di un valore di tensione differente. Arduino Ethernet e la scheda di controllo per lo step attenuator sono alimentate a 15V mentre la scheda di controllo dello switch elettro-meccanico con H-bridge e la scheda di controllo dello switch pin-diode sono alimentate a 24V, il monitor LCD a 3,3V e la tastiera a 5V (Tabella 2).

Utilizzatore	Tensione
Arduino Ethernet	15V
ATT PRT v1.0	15V
Switch Elettro-meccanico	24V
Switch Pin-diode	24V
Monitor LCD	3.3V
Tastiera	5V

Tabella 2: Tensione di alimentazione per ogni utilizzatore.

4. Realizzazione del software e del firmware.

4.1 Software di test tramite Labview

Per la prima versione del software e dell'hardware è stato scelto Labview come ambiente di sviluppo. Nelle immagini seguenti sono visibili il pannello frontale e il flusso dati del programma realizzato.

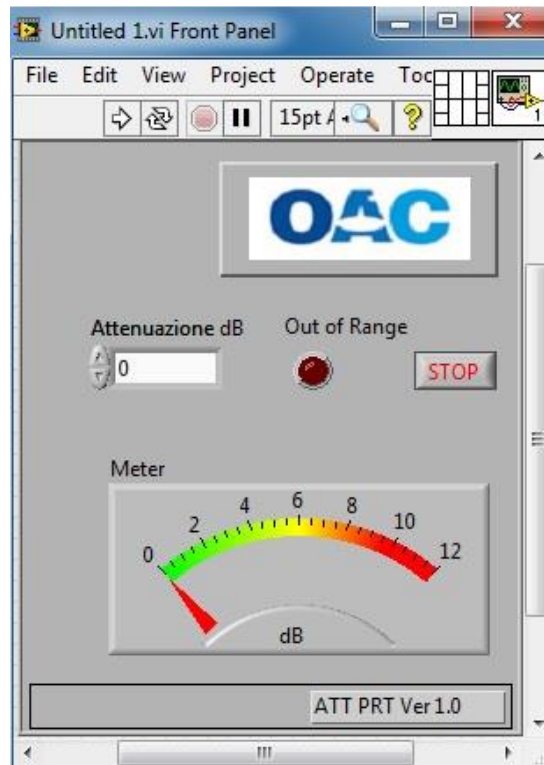


Figura 20: Pannello frontale del Software.

Nel pannello frontale in Figura 20 sono presenti i seguenti tipi di controlli:

- **numeric control** che permette di impostare il valore di attenuazione desiderato;
- **led out of range**;
- **pulsante di stop** che interrompe l'esecuzione del programma;
- **meter** in grado di visualizzare lo stato attualmente impostato.

I valori di attenuazione ammessi vanno da un minimo di 0 dB fino a un massimo di 11 dB con passo di 1dB (specifiche dettate dal costruttore dello step attenuator). In caso l'utente dia un valore che non sia previsto all'interno del range di utilizzo, il software avviserà l'operatore con un segnale visivo tramite il led out of range e con un segnale acustico. L'intero flusso dati è mostrato in Figura 21.

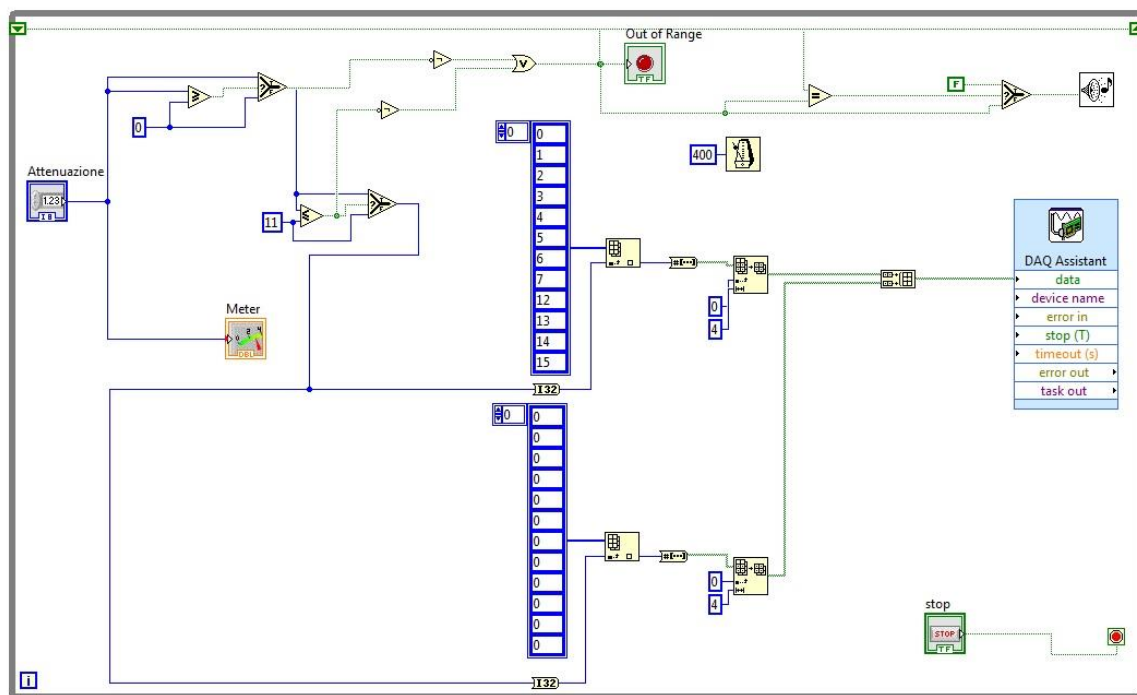


Figura 21: Implementazione del codice per la versione con NI myDAQ.

4.2 Il passaggio ad Arduino UNO

Per garantire una maggiore personalizzazione e limitare notevolmente i costi si è scelto di sostituire la scheda della National Instruments (NI myDAQ) con la scheda di sviluppo open source Arduino, basata su microcontrollore Atmel.

Tramite Labview è possibile dialogare con Arduino. Le funzioni dedicate garantiscono l'acquisizione analogico-digitale, comunicazioni tramite i vari standard, possibilità di pilotare le uscite digitali, ecc.

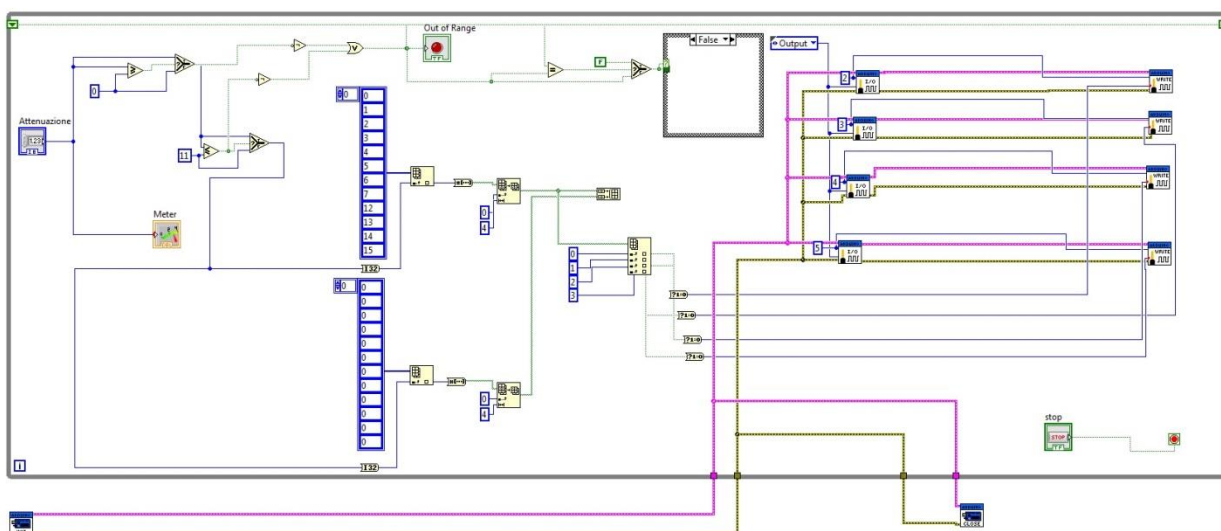


Figura 22: Codice per la versione Software che andrà utilizzata con Arduino UNO.

In Figura 22 viene mostrato il flusso dati generato con Labview per il quale sono state utilizzate le librerie di Arduino.

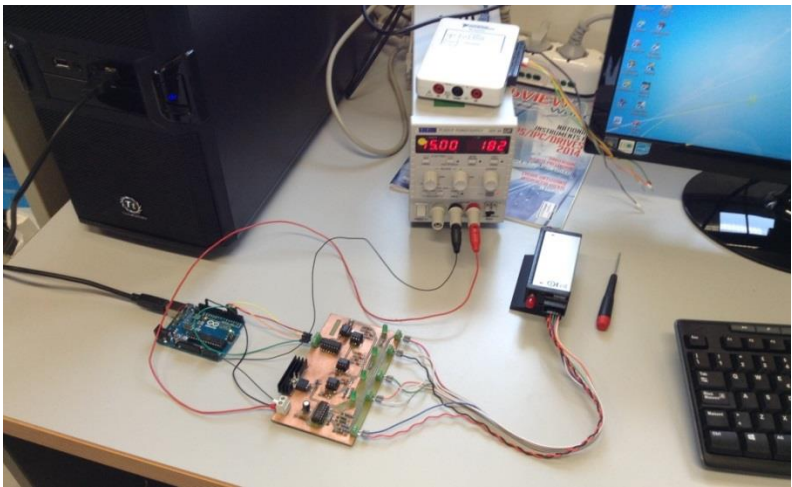


Figura 23: Collegamento finale e testing.

In Figura 23 è mostrato l’Arduino UNO collegato alla scheda ATT PRT Ver 1.0 mentre viene pilotato lo Step Attenuator. I led a bordo della scheda sono stati utilizzati in fase di test per verificare il corretto controllo dello step-attenuator da parte del sistema.

4.3 Realizzazione del software 2.0 e passaggio ad Arduino Ethernet

Per aumentare la compatibilità tra hardware e software ed ottenere così un sistema più stabile si è deciso di effettuare un aggiornamento utilizzando Microsoft Visual Studio Community [19] invece di Labview.

Il passaggio all’utilizzo dell’Arduino Ethernet ha permesso di introdurre una standardizzazione della comunicazione tramite protocollo UDP utilizzando un set di comandi LXI [20]. Questo standard prevede l’invio dei comandi agli strumenti sotto forma di stringa.

Il SAB risponde alle comunicazioni tramite SOCKET su protocollo UDP. La porta abilitata è la 5025 e la comunicazione si basa sullo standard LXI. Il SAB risponde ad un set di comandi ristretto inviati sul SOCKET. Le istruzioni valide sono riportate nella Tabella 3.

Comando	Variabile	Funzione
ATT x	x è un intero compreso tra 0 e 11	Imposta il valore dello step attenuator
ATT?	-	Restituisce il valore attualmente impostato nello step attenuator
SWTs x	s è un intero compreso tra 1 e 3; x può essere 0 o 1	Abilità per lo switch s l’uscita x
*IDN?	-	Restituisce la stringa identificativa della Control Box
*RST	-	Imposta il valore dello step attenuator a 11 e tutti gli switch sull'uscita 0

Tabella 3: Set di comandi della SAB.

Nel caso in cui venga inviato un comando non consentito viene restituita la stringa COMMAND UNKNOWN.

Il Firmware imposta i valori dello step attenuator pilotando i pin 2, 3, 4, 5 dell’Arduino secondo i valori indicati in Tabella 4

PIN 2	PIN 3	PIN 4	PIN 5	Attenuazione
LOW	LOW	LOW	LOW	0
HIGH	LOW	LOW	LOW	1
LOW	HIGH	LOW	LOW	2
HIGH	HIGH	LOW	LOW	3
LOW	LOW	HIGH	LOW	4
HIGH	LOW	HIGH	LOW	5
LOW	HIGH	HIGH	LOW	6
HIGH	HIGH	HIGH	LOW	7
LOW	LOW	HIGH	HIGH	8
HIGH	LOW	HIGH	HIGH	9
LOW	HIGH	HIGH	HIGH	10
HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	11

Tabella 4: Configurazione dei pin sull'Arduino per il pilotaggio dello Step Attenuator.

Non è presente un feedback da parte dello step attenuator sulla sua configurazione, viene quindi salvato il valore attuale in una variabile. Il valore di questa variabile viene restituito dal comando **ATT?**.

La modifica dello stato dei due switch elettro-meccanici (Switch1 e Switch2) prevede un pin dedicato dell'Arduino per ognuno di essi che abilita la modifica e due pin in comune che ne impostano lo stato. Il pin per la modifica dello stato dello Switch1 è il pin 6 mentre quello per lo Switch2 è il pin 9. I due pin in comune sono il pin 7 e il pin 8; essi devono avere valori opposti e hanno il comportamento indicato in Tabella 5

PIN 7	PIN 8	Uscita Switch
HIGH	LOW	1
LOW	HIGH	2

Tabella 5: Configurazione pin per la selezione della porta degli switch elettro-meccanici.

Il pin per il pilotaggio dello switch pin-diode è il pin A1, un pin analogico utilizzato come digitale. In Tabella 6 è riportata la corrispondenza tra il valore del pin e la porta abilitata.

PIN A1	Uscita Switch
HIGH	1
LOW	2

Tabella 6: Impostazione del pin A1 per lo switch pin-diode.

4.3.1 Controllo locale

Per il controllo locale è stata predisposta una pulsantiera con quattro pulsanti: Remote/Control, Menù, Minus e Plus (come illustrato nella Tabella 7); è presente anche un display digitale a 16 caratteri e 2 righe che restituisce le informazioni sul controllo locale.

Remote/Local	Menù	Minus	Plus
•	•	•	•

Tabella 7: Schema della pulsantiera.

Il pulsante "Remote/Local" permette di commutare il controllo da remoto a locale e vice versa:

- *Modalità Remote*

Quando il SAB è in modalità remota sulla prima riga del display appare la scritta "Remote Mode", mentre sulla seconda riga appare l'IP che è stato impostato nel firmware. Via via che vengono inviati dei comandi

via Ethernet questi vengono visualizzati nella seconda riga al posto dell'IP. In questa modalità tutti gli altri pulsanti vengono ignorati. La Control Box accetta esclusivamente comandi via Ethernet.

- *Modalità Local*

In modalità locale sul display viene visualizzata la prima voce del menù che corrisponde al controllo dello Step Attenuator. In questa modalità sono abilitati gli altri pulsanti.

Il pulsante “Menù” è abilitato solo in modalità locale e permette di visualizzare ciclicamente tutte le voci del menù illustrate in Tabella 8.

Voce del Menù	Visualizzato nel Display	Variabili
Step Attenuator	Step Att. xdB (-) (+)	x - valore attuale
Switch 1 elettro-meccanico	Switch 1 Pos x 0 1	x - uscita attualmente abilitata
Switch 2 elettro-meccanico	Switch 2 Pos x 0 1	x - uscita attualmente abilitata
Switch 3 pin-diode	Switch 3 Pos x 0 1	x - uscita attualmente abilitata

Tabella 8: Voci del menù visualizzate dal display digitale.

I pulsanti “Minus” e “Plus” sono impostati per aumentare o diminuire il valore dello step attenuator nel caso in cui sia selezionato il menù corrispondente o per selezionare quale delle uscite degli switch deve essere abilitata. Per lo step attenuator i valori validi sono compresi tra 0 e 11. Raggiunti i valori limite la pressione dei pulsanti “Minus” e “Plus” per diminuire o aumentare rispettivamente i valori di attenuazione viene ignorata.

Nel caso in cui sia selezionata una delle voci per il controllo degli switch i pulsanti “Minus” e “Plus” abilitano rispettivamente le uscite 0 o 1 dello switch corrispondente.

4.3.2 Il firmware

Nel firmware del SAB sono definite le variabili globali per l'IP, il gateway e la subnetmask di rete. Queste, sono modificabili solo ricompilando il firmware e ricaricandolo sull'Arduino.

Il firmware definisce un loop principale che:

- Verifica lo stato della pulsantiera per eseguire il comando premuto nel caso di controllo locale, o passaggio al controllo locale/remoto nel caso di pressione del pulsante corrispondente.
- In caso di controllo remoto, legge la stringa presente nel buffer ed esegue il comando corrispondente.

Sono quindi definite le seguenti principali funzioni:

- `int button_pressed()` - restituisce il codice associate al pulsante premuto
- `String execute_menu()` - esegue il comando corrispondente al pulsante premuto
- `int execute_command(String commandString)` - esegue il comando corrispondente alla stringa ricevuta
- `int update_menu_position()` e `void write_menu()` - aggiorna il testo che viene visualizzato nel display in base al contesto.

4.3.3 Python interface

Le stringhe che possono essere trasmesse e ricevute dal SAB sono state studiate per essere compatibili con la libreria Python [21] PyVISA [22]. La libreria PyVISA definisce la creazione degli oggetti corrispondenti all'interfaccia con gli strumenti di misura. Questi oggetti espongono i metodi relativi all'invio di tre comandi fondamentali, di cui i primi due sono il `write` che invia una stringa di comando allo strumento e il `read` che legge dal buffer dello strumento il risultato dell'ultimo comando `write` inviato. Il terzo comando è il comando `ask` che corrisponde all'invio sequenziale dei precedenti due comandi. La creazione dell'oggetto strumento è possibile solo tramite l'utilizzo del protocollo di comunicazione UDP SOCKET come visto in precedenza. Per registrare l'oggetto strumento la stringa da passare come argomento al costruttore `pyvisa.ResourceManager()` è la seguente: "TCPIP::192.168.145.54::5025::SOCKET", dove 192.168.145.54 è l'IP dello strumento e 5025 è la porta UDP. L'IP e la porta sono impostati nel firmware e richiedono una nuova compilazione per essere modificati.

5 Realizzazione della parte meccanica.

Al fine di contenere la prima versione del prototipo, si è progettata una scatola in acrilonitrile-butadiene-stirene (ABS) ottenuta per prototipazione rapida utilizzando la stampante Makerbot Replicator 2X [23].

La box realizzata è composta da 2 parti: la prima è il contenitore della circuiteria mentre la seconda è il coperchio che chiude superiormente la scatola.

L'unione delle due parti è ottenuta filettando direttamente l'ABS della parte inferiore permettendo di fissare il coperchio tramite 4 bulloni M2. La box, come si può evincere dalla Figura 24, è composta da due tipologie di ABS differenti in colore e caratteristiche: il primo è un ABS standard di colore nero; il secondo è un ABS semi-trasparente che permette di vedere lo stato dei 4 diodi led verdi.

Il design della scatola è stato pensato per permettere l'accesso dall'esterno al connettore USB e all'alimentazione. Il modello 3D è stato realizzato utilizzando il software CAD Autodesk Inventor 2015 [24].

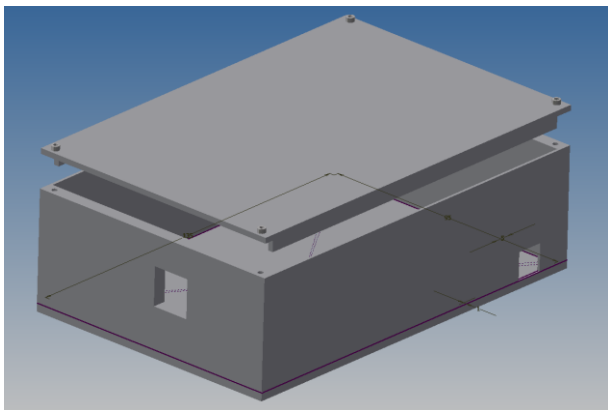


Figura 24: Modello 3D della prima versione della box e relativa realizzazione.

Per disporre al meglio l'elettronica all'interno della box, sono state aggiunte due torrette alle quali è stato fissato Arduino in modo tale da tenerlo a una distanza di sicurezza dalla scheda prototipo e consentire un facile accesso al connettore USB.

Durante la progettazione della seconda versione della box è stata esclusa la possibilità di realizzare distinte box interconnesse tra di loro, a favore di un'unica box maneggiabile atta a contenere l'intero sistema SAB.

E' stata quindi utilizzata una box commerciale, la quale è stata modificata per essere adattata al layout del SAB. Mediante l'uso del pantografo da banco Mill 511 Compact [24] del laboratorio di Meccanica dell'Osservatorio Astronomico di Cagliari si sono realizzati nel coperchio i fori per alloggiare il tastierino e lo schermo LCD, come mostrato in Figura 25.

Oltre a quelle sul coperchio, sono state effettuate ulteriori modifiche. Sono stati realizzati: un foro quadrato per l'ingresso del cavo Ethernet; un foro del diametro di 35mm per consentire il fissaggio di una ventola di raffreddamento (Figura 26); un foro per l'alimentazione generale del SAB; un foro per collegare l'attenuatore digitale alla sua scheda di controllo.



Figura 25: Lavorazione del coperchio e dettaglio del coperchio



Figura 26: Dettaglio foro di ingresso e uscita dell'aria

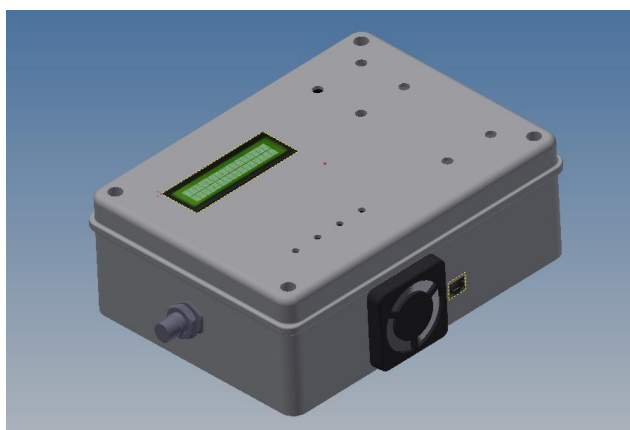


Figura 27: Rendering 3D realizzato con Autodesk Inventor

Per diminuire la temperatura interna dovuta al flusso termico generato dalla componentistica, è stata scelta una dissipazione di tipo attivo installando una ventola che consentisse un continuo ricambio d'aria.

In Figura 27 viene mostrato il rendering 3D della box finale del SAB realizzata con Autodesk Inventor.

6 Cablaggio della BOX e aggiunta della dissipazione attiva

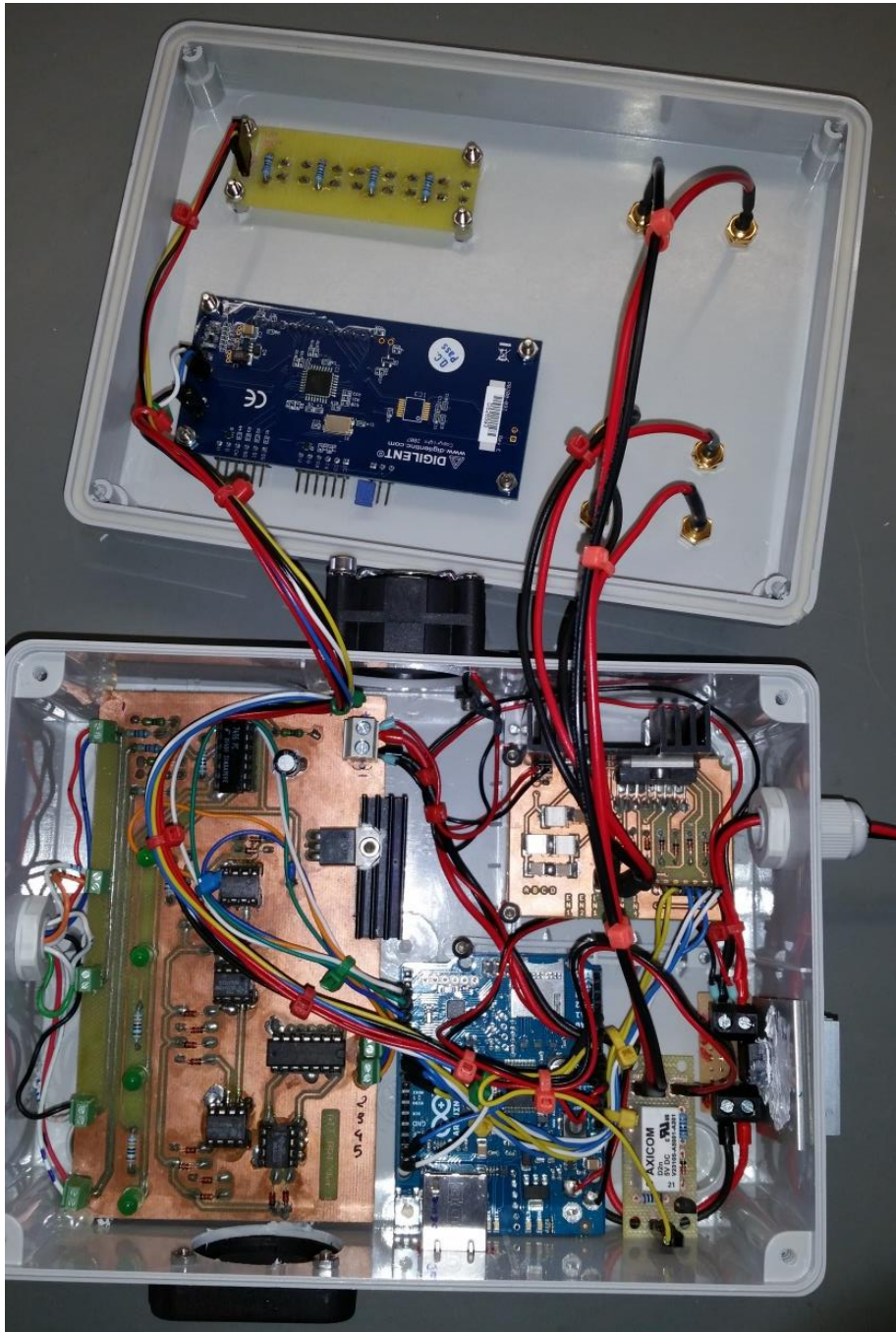


Figura 28: Cablatura definitiva del SAB

Particolare cura è stata posta nella corretta collocazione di tutti i componenti e nella realizzazione di un cablaggio che tenesse conto delle zone in cui il flusso termico è maggiore.

In Figura 28 viene mostrato il completo cablaggio del SAB. L'intero cablaggio è stato studiato per consentire un'agevole manutenzione dell'elettronica interna e l'aggiornamento del firmware. Infatti, l'utilizzo degli header connector da 2.54mm permette la separazione elettrica del coperchio dal resto della box.

7 Misure elettromagnetiche

Questa sezione ha lo scopo di mostrare le prestazioni elettromagnetiche, tramite i parametri di scattering, dello strumento sviluppato. Le misure sono state effettuate nel laboratorio di microonde dell'Osservatorio Astronomico di Cagliari. Lo strumento utilizzato per la caratterizzazione è il Vector Network Analyzer (VNA) della Rohde&Schwarz modello ZVA 67 [26]. Le misure sono state effettuate dopo una accurata calibrazione dello strumento e sono state eseguite in diversi istanti di tempo ottenendo una ripetibilità delle prestazioni eccellente. Di seguito le prestazioni dei vari dispositivi in termini di adattamento (Return Loss, RL), di perdita (Insertion Loss, IL) e di isolamento nel caso degli switch.

Le misure sono state effettuate sino a 30 GHz non solo per verificare la funzionalità del SAB, ma anche per verificare le prestazioni dei singoli componenti. Inoltre le misure indicate in questo rapporto interno potranno essere il riferimento per quelle future.

7.1 Prestazioni step attenuator

Lo step attenuator controllato è un dispositivo commerciale sviluppato dalla Agilent modello 84904K il quale ha un range di funzionamento, indicato dal datasheet, compreso tra 0 e 26.5 GHz. Le misure che abbiamo effettuato in laboratorio si estendono sino a 30 GHz.

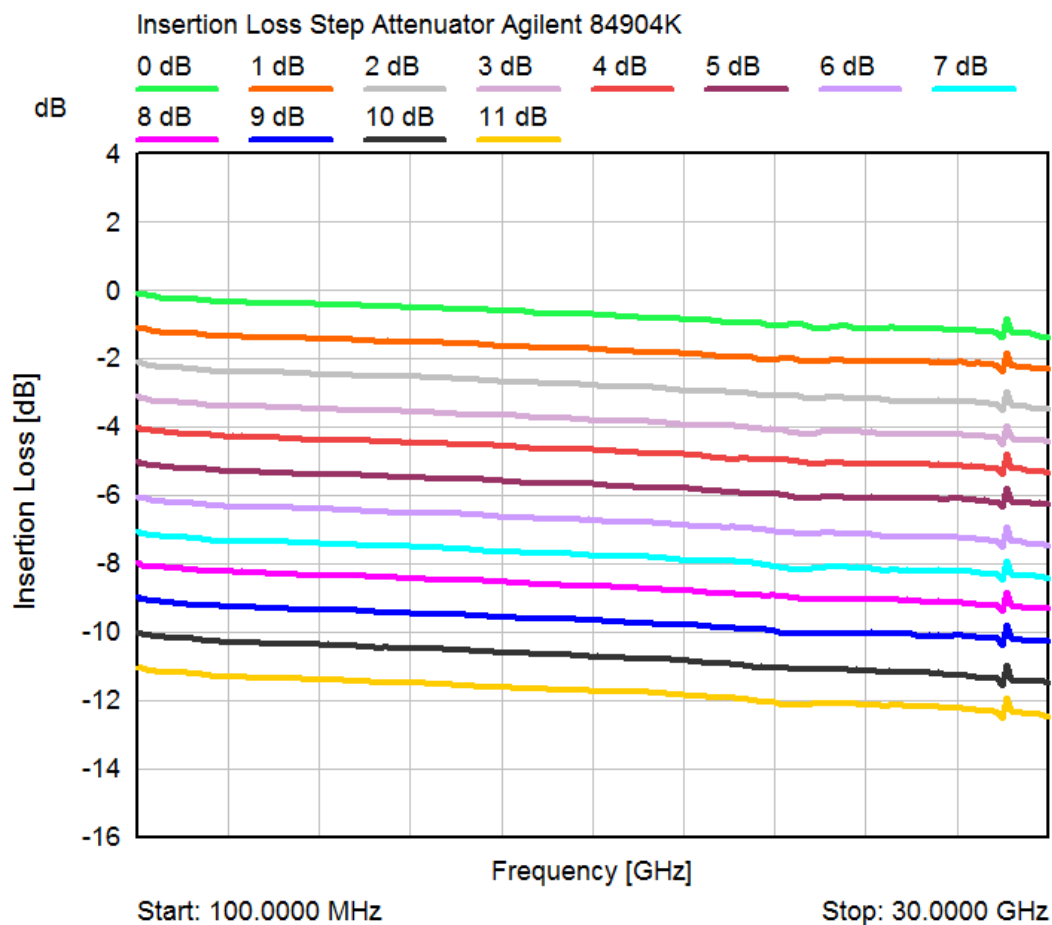


Figura 29: Insertion Loss dello step attenuator in funzione della frequenza e dell'attenuazione impostata.

Nella Figura 29 è mostrato l'andamento delle perdite (IL) in funzione della frequenza e in funzione dell'attenuazione impostata.

Dal grafico in Figura 29 si nota che il comportamento del componente al di sopra dei 28 GHz è anomalo. Le misure suggeriscono quindi di non usare lo step attenuator oltre i 28 GHz. Inoltre si nota una perdita costante da sommare alla attenuazione che di volta in volta si seleziona. Tale perdita è riportata in Tabella 9.

Frequenza [GHz]	IL [dB]	Frequenza [GHz]	IL [dB]	Frequenza [GHz]	IL [dB]	Frequenza [GHz]	IL [dB]
0.1	-0.05	7	-0.43	14	-0.68	21	-1.04
1	-0.21	8	-0.46	15	-0.71	22	-1.00
2	-0.28	9	-0.48	16	-0.76	23	-1.05
3	-0.32	10	-0.50	17	-0.79	24	-1.12
4	-0.35	11	-0.54	18	-0.85	25	-1.05
5	-0.37	12	-0.60	19	-0.88	26	-1.12
6	-0.40	13	-0.64	20	-0.94	27	-1.14

Tabella 9: Perdite dello step attenuator quando è impostato un valore di attenuazione pari a 0 dB

Nel Figura 30 sono mostrate le curve di adattamento dello step attenuator alle diverse attenuazioni.

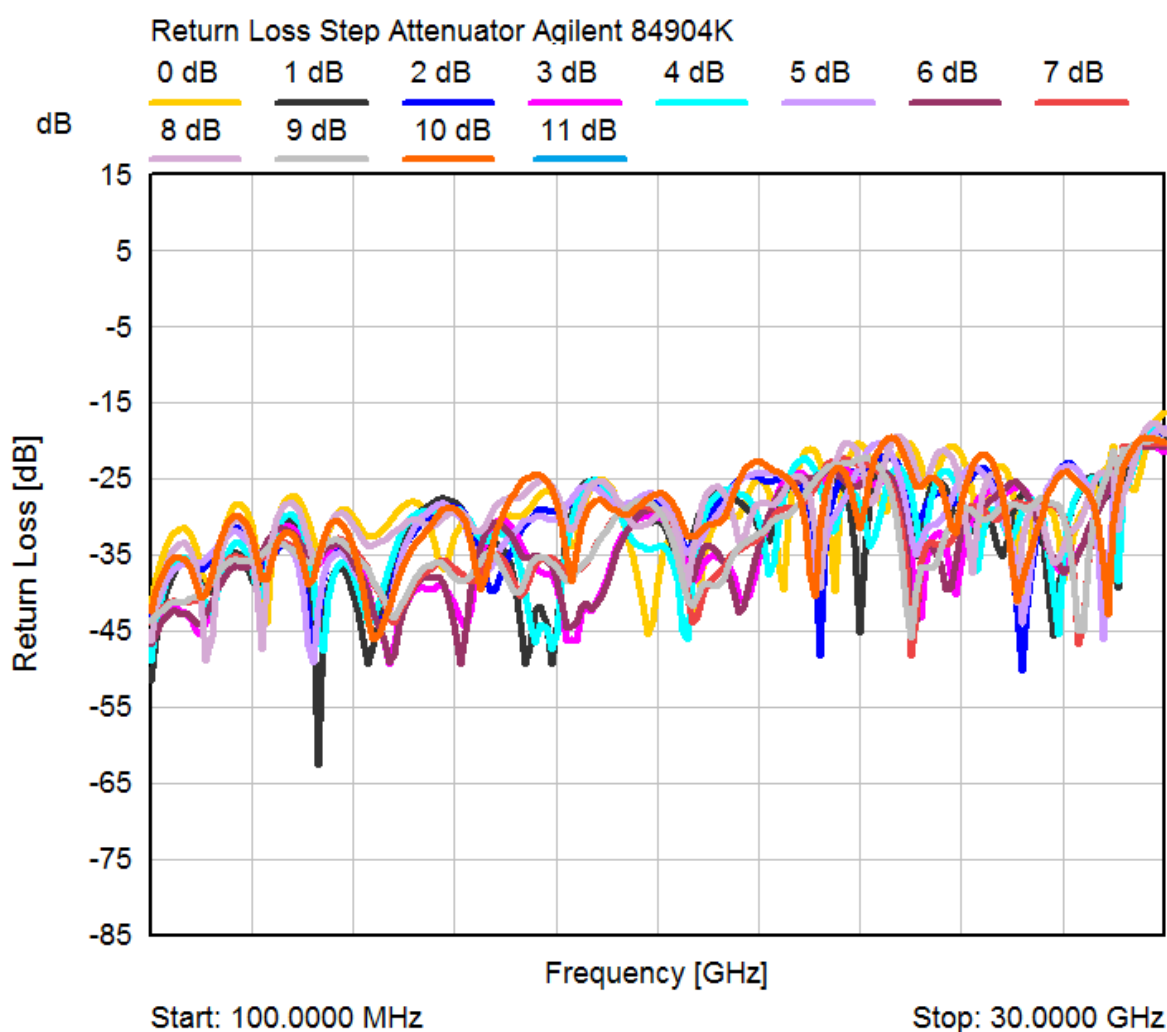


Figura 30: Return Loss dello step attenuator in funzione della frequenza e dell'attenuazione impostata.

7.2 Prestazioni switch elettro-meccanico

Il dispositivo commerciale Keysight 8761B è uno switch elettro-meccanico che cambia di stato attraverso l'impostazione di una tensione positiva o negativa. Permane nello stato comandato anche dopo che il comando è stato terminato.

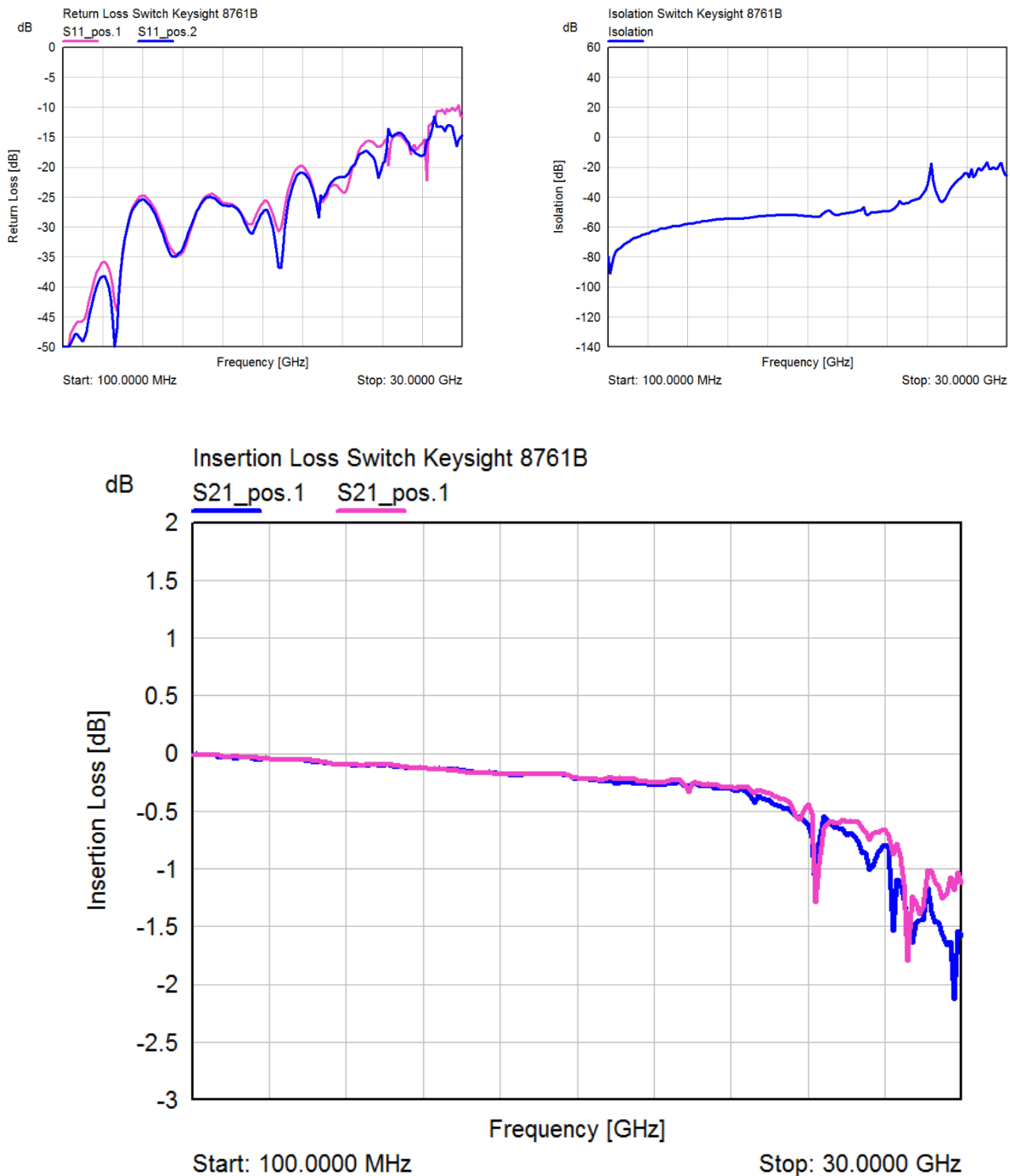


Figura 31: In alto a sinistra è mostrato il return loss di ingresso quando lo switch è in posizione 1 e in posizione 2. In alto a destra è mostrato il valore di isolamento tra le due porte di uscita dello switch. In basso è mostrato il valore di insertion loss per le due differenti posizioni comandabili.

Dalle misure effettuate, Figura 31, è evidente che il componente può essere usato in maniera affidabile sino a 21 GHz. Oltre questo valore il comportamento dello switch è fuori specifica.

7.3 Prestazioni switch pin-diode

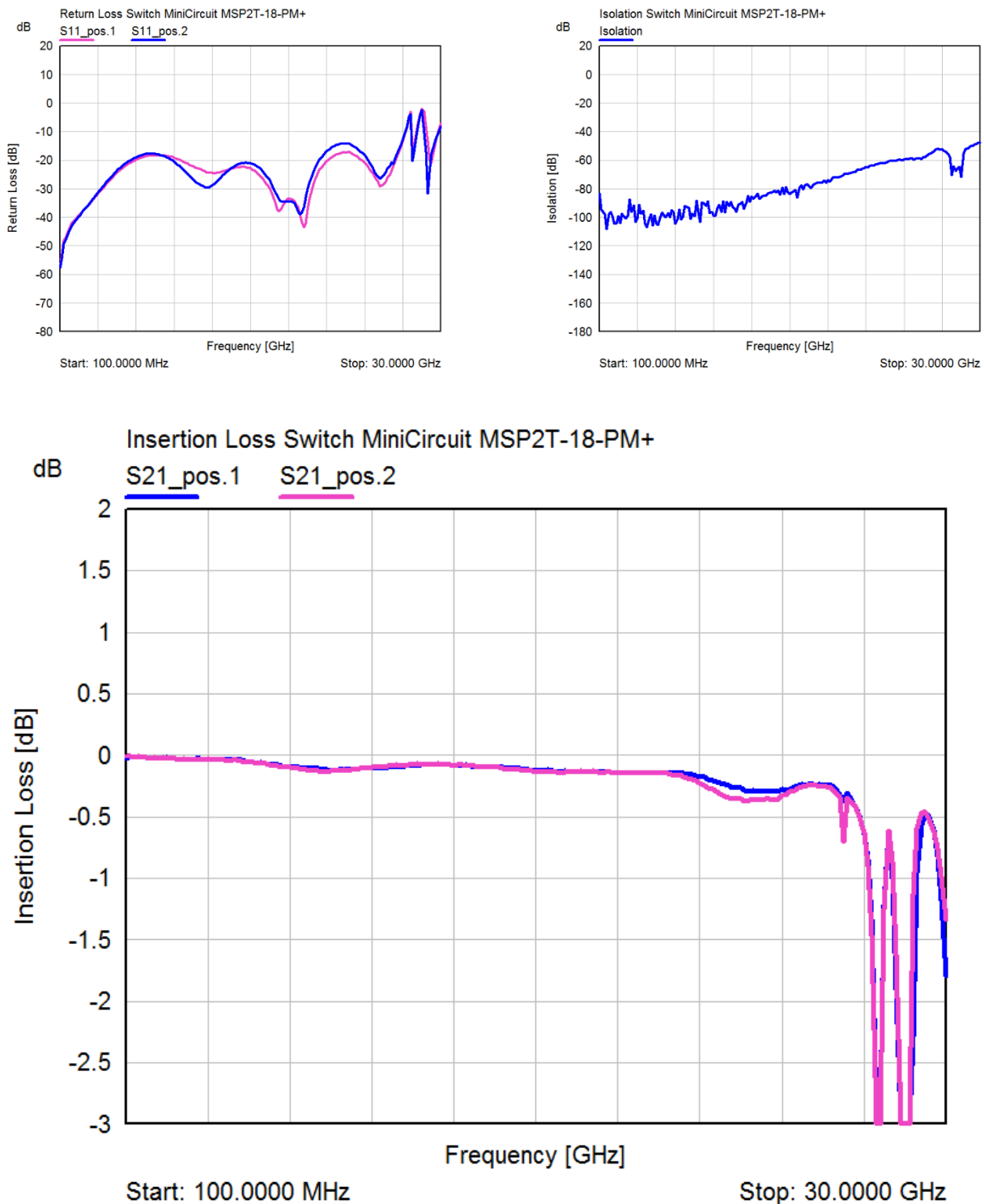


Figura 32: In alto a sinistra è mostrato il return loss di ingresso quando lo switch è in posizione 1 e in posizione 2. In alto a destra è mostrato il valore di isolamento tra le due porte di uscita dello switch. Infine in basso è mostrato il valore di insertion loss.

Il dispositivo commerciale MiniCircuit MSP2T-18-PM+ è uno switch pin diode che cambia di stato attraverso l'impostazione di una tensione nulla o pari a 24V. Lo stato J1, corrispondente alla posizione 1 dello switch, è

selezionato quando lo switch è alimentato con una tensione pari a 0V. Lo stato J2, corrispondente alla posizione 2 dello switch, è selezionato quando lo switch è alimentato con una tensione pari a 24V.

Dalle misure effettuate, mostrate Figura 32, è evidente che il componente può essere usato in maniera affidabile sino a 21 GHz. Oltre questo valore il comportamento dello switch è fuori specifica.

8 Conclusioni

Con il presente internal report abbiamo illustrato la progettazione e la realizzazione di un circuito pilota per Step Attenuator e Switch RF (SAB). Lo strumento è stato testato sia dal punto di vista funzionale che dal punto di vista delle prestazioni confermando il comportamento e i risultati attesi. Il SAB è stato utilizzato per misure di laboratorio confermando la sua duttilità e la sua facilità di utilizzo.

Grazie al progetto sono state acquisite e sviluppate competenze in ambito del controllo remoto di strumentazione con linguaggio di comunicazione standard, esperienza per il controllo di pilotaggio di diverse tipologie di switch a radiofrequenza e integrazione e sviluppo di schede elettroniche sviluppate ad hoc. Inoltre sono state sviluppate competenze specifiche nella prototipazione rapida mediante l'utilizzo di stampanti 3D. Queste esperienze potranno essere utilizzate in futuro per il controllo remotizzato di altra strumentazione sia di laboratorio che di sistemi complessi come alcuni di quelli utilizzati nel Sardinia Radio Telescope.

Riferimenti

- [1] <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5963-6944E.pdf?id=1000030610:epsg:dow>
- [2] <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5952-1911.pdf?id=1000070156:epsg:dow>
- [3] <http://194.75.38.69/pdfs/MSP2T-18XL+.pdf>
- [4] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardEthernet>
- [5] <http://www.ni.com/mydaq/>
- [6] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [7] <http://www.atmel.com/>
- [8] <https://it.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [9] <https://cadsoft.io/>
- [10] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm7805c.pdf>
- [11] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn75452b.pdf>
- [12] <https://www.sketchup.com/it>
- [13] http://www.lpkfusa.com/downloads/support/docs/man_c100hf.pdf
- [14] <http://www.ni.com/labview/i/>
- [15] https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf
- [16] <http://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf>
- [17] <http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=108-98007&DocType=SS&DocLang=EN>
- [18] https://reference.digilentinc.com/_media/pmod:pmod:pmodCLS_rm.pdf
- [19] <https://www.visualstudio.com/it-it/products/visual-studio-community-vs.aspx>
- [20] https://en.wikipedia.org/wiki/LAN_extensions_for_instrumentation
- [21] G. van Rossum, Python tutorial, Technical Report CS-R9526, Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam, May 1995.
- [22] <https://pyvisa.readthedocs.io/en/stable/>
- [23] <https://store.makerbot.com/replicator2x>
- [24] <http://www.autodesk.it/products/inventor/overview>
- [25] <http://www.bemmec.it/index.php/prodotti/49-pantografi-mill-compact.html>

[26] https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/z/zva_2/ZVA_ZVB_ZVT_OperatingManual_en_28.pdf