



Università degli Studi di Padova

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

Tesi di laurea

Sviluppo di un sistema di test in ambiente LabView per applicazioni a radiofrequenza

Relatore: Prof. Alessandro Sona
Correlatore: Ing. Tristano Dal Canton

Laureando: Massimiliano Soligo

13 luglio 2010

Sommario

Nello sviluppo di applicazioni e dispositivi nel campo della radiofrequenza la fase di collaudo e taratura dei circuiti elettronici è fondamentale. A causa delle tolleranze di valore dei singoli componenti ed eventuali errori di montaggio degli stessi sulle schede, ci si trova in una situazione tale per cui ogni singolo circuito è diverso, almeno in parte, da un altro. Perché tutti i circuiti rispettino le specifiche stabilite nel progetto iniziale, è necessario effettuare un collaudo ed una taratura di ogni singolo dispositivo.

In questo ambito si inserisce il lavoro di tesi che ci si appresta ad esporre e che descrive una possibile soluzione al problema di automatizzare il collaudo di un transmodulatore per applicazioni televisive.

La prima parte descrive dettagliatamente tutto il lavoro di ricerca, studio e progettazione svolto per realizzare il sistema di collaudo automatico.

Dopo un capitolo introduttivo che ha lo scopo principale di introdurre il lettore nell'argomento, nel secondo capitolo si descrive il prodotto che si andrà a collaudare e tarare, il suo funzionamento e la sua applicazione.

Si procede poi nel capitolo successivo, il terzo, alla descrizione del progetto, della realizzazione e messa in funzione del sistema di test e le procedure di collaudo eseguite.

Nel quarto capitolo si espone il progetto, la realizzazione e l'analisi dell'hardware che è stato costruito appositamente per la realizzazione di alcune fasi del collaudo.

Si conclude questa parte con il quinto capitolo che offre alcuni spunti per il miglioramento del progetto di automatizzazione del sistema effettuando anche delle considerazioni di carattere ingegneristico nell'ambito della realizzazione di un sistema di gestione della qualità.

La seconda parte comprende le appendici dove sono riportate alcune informazioni di carattere generale circa la strumentazione di laboratorio utilizzata, l'ambiente di sviluppo LabView ed infine sul digitale terrestre.

La prima appendice descrive il funzionamento dell'analizzatore di spettro, dell'analizzatore di reti e dell'alimentatore programmabile.

Nella seconda appendice si è cercato di spiegare la "filosofia di funzionamento" dell'ambiente di sviluppo LabView e le sue principali caratteristiche.

Nell'ultima appendice si effettua una panoramica generale che introduce al "mondo della TV digitale terrestre" e delle tecnologie ad essa collegate.

Indice

Sommario	V
1 Introduzione	1
1.1 La produzione industriale	1
1.1.1 La fase di progetto	1
1.1.2 La preserie	2
1.1.3 L'industrializzazione e la produzione in serie	2
1.2 Il collaudo nella produzione industriale	3
1.2.1 L'impiego di LabView nel collaudo	3
1.3 La taratura dei circuiti a radiofrequenza	3
I Tesi	5
2 Transmodulatore Mitan	7
Introduzione	7
2.1 Centrale di Transmodulazione MITAN	7
2.1.1 Rack	8
2.1.2 Alimentatore	9
2.1.3 Transmodulatore	9
2.2 Funzionamento Up-Converter	10
2.3 Software di gestione del Transmodulatore	11
3 Sistema di Collaudo	13
Introduzione	13
3.1 Fasi di collaudo	13
3.2 Banco di collaudo	20
3.3 Il programma LabView di collaudo	21
3.3.1 Il database di controllo	21
3.3.2 Funzionamento del programma di Collaudo	22
3.4 Banco di collaudo 1	23
3.4.1 Procedura prova di collaudo 1	24
3.4.2 VI prova di collaudo 1	29
3.5 Banco di collaudo 2	33

3.5.1	Procedura prova di collaudo 2	34
3.5.2	VI prova di collaudo 2	39
3.5.3	Procedura prova di collaudo 3	42
3.5.4	VI prova di collaudo 3	51
3.5.5	Procedura prova di collaudo 4	51
3.5.6	VI prova di collaudo 4	55
3.5.7	Procedura prova di collaudo 5	58
3.5.8	VI prova di collaudo 5	58
4	Scheda Switch	61
	Introduzione	61
4.1	Comando delle porte fisiche del pc con LabView	61
4.1.1	L'utilizzo di LabView per comandare la porta parallela	63
4.2	Schema scheda	63
4.2.1	Realizzazione su millefori	64
4.3	Considerazioni sul funzionamento della scheda	65
4.3.1	Pregi	65
4.3.2	Difetti e punti da migliorare	65
4.4	Progetto scheda con protezione sovratensioni e switch radiofrequenza	65
4.4.1	Blocco switch tensione continua	65
4.4.2	Blocco protezione da sovratensioni	66
4.4.3	Blocco switch radiofrequenza	66
5	Conclusioni e sviluppi futuri	67
5.1	Risultati ottenuti	67
5.2	Sviluppi futuri	67
5.3	Miglioramento programma LabView	68
5.4	Progetto e sviluppo di un sistema di controllo della qualità	68
II	Appendici	69
6	Appendice A: Strumentazione di laboratorio	71
	Introduzione	71
6.1	Analizzatore di spettro	71
6.1.1	Struttura generale di un analizzatore di spettro	72
6.1.2	Misure di potenza di canale	78
6.2	Analizzatore di reti	79
6.2.1	Struttura generale di un analizzatore di reti	80
6.2.2	Caratterizzazione dei filtri ed amplificatori	81
6.3	Alimentatore programmabile	81

7	Appendice B: LabView	83
7.1	La storia di LabView	83
7.2	Organizzazione dell'ambiente di sviluppo LabView	83
7.2.1	Virtual Instruments	84
7.2.2	Sub VI	84
7.2.3	Componenti dei VI e subVI	85
7.3	Controllo degli strumenti	87
7.4	LabView Connectivity Toolset	87
8	Appendice C: TV Digitale Terrestre e Switch Off	89
	Introduzione	89
8.1	La codifica MPEG-2	90
8.2	Elaborazione e trasmissione del segnale numerico	91
8.2.1	Il Transport Stream	91
8.2.2	La trasmissione del segnale numerico	92
8.3	La Modulazione digitale	93
8.3.1	Costellazioni	94
8.3.2	Banda passante e Bit-rate	94
8.3.3	Il segnale COFDM	95
8.4	Le reti di diffusione in isofrequenza (SFN)	95
8.5	I Gap Fillers (riempitori di buchi)	97
8.6	I livelli di segnale necessari per la ricezione digitale	98
8.7	Switch Off in Italia	99
8.7.1	Aree tecniche DTT di suddivisione del territorio	99
8.7.2	Calendario Switch Off Italiano	99
8.7.3	Adeguamento degli impianti TV e Decoder DTT	100
III	Bibliografia ed indici	103
	Bibliografia	105
	Elenco delle figure	107
	Indice analitico	109

Capitolo 1

Introduzione

1.1 La produzione industriale

Con il termine di produzione industriale di un prodotto si intende tutta una serie di passaggi e di processi che permettono di ottenere dalla materia prima o da prodotti semilavorati, tramite successive trasformazioni, un prodotto finito che può essere utilizzato da un utente finale oppure destinato ad ulteriori trattamenti ed utilizzato come materia prima di altri processi di produzione industriale.

Nell'ambito della produzione industriale di applicazioni elettroniche destinate ad un'utenza finale, i concetti sopra esposti possono essere così schematizzati:

- Materie prime: componenti elettronici e circuiti stampati.
- Processi di trasformazione: progettazione, realizzazione, taratura e collaudo del prodotto finito.
- Prodotti finali: apparecchiature elettroniche che possono essere utilizzate da un utente finale.

In questo studio si focalizzeranno alcuni aspetti della produzione industriale di applicazioni destinate alla realizzazione di impianti televisivi centralizzati. Tuttavia in questa parte introduttiva si evidenzieranno le tappe principali di un processo industriale per la produzione di apparecchiature elettroniche.

1.1.1 La fase di progetto

Questa può essere considerata la prima fase di realizzazione di un nuovo prodotto anche se normalmente fa seguito ad una serie di indagini di mercato utili al fine di proporre all'utente finale, cioè a colui che acquista il prodotto finito, un'applicazione nuova ed innovativa rispetto alla proposta degli altri produttori concorrenti. In questa fase si considerano i costi di realizzazione del progetto ed i ricavi che deriveranno dalla commercializzazione del nuovo prodotto.

Appurato che il prodotto potrà apportare all'azienda un ritorno economico o di immagine soddisfacente, si dà inizio alla fase di progetto.

Per primo è necessario fissare le specifiche di progetto della nuova apparecchiatura. Successivamente si ricerca la soluzione circuitale migliore che permetta di massimizzare il rapporto qualità costo. Terminata la prima fase di progettazione e verificato che tutte le specifiche siano state soddisfatte, si procede alla fase di prototipazione ed alla successiva fase di ottimizzazione al banco necessaria a risolvere i malfunzionamenti che non permettono il rispetto delle specifiche.

Nelle prime fasi di progettazione è assolutamente necessario pensare e predisporre il circuito al fine di poter rendere veloci ed affidabili le successive fasi di collaudo e taratura che saranno ampiamente affinate nella fase di ottimizzazione al banco di test.

Trovata una soluzione progettuale soddisfacente e funzionante del nuovo dispositivo, stabiliti tutti i parametri di taratura e studiate le metodologie di collaudo, si procede alla prima fase di industrializzazione del prodotto, vale a dire la preserie.

1.1.2 La preserie

Con questo termine ci si riferisce alla produzione delle prime "grandi" quantità di prodotti. Su questi prodotti vengono eseguite delle statistiche che permettono di focalizzare gli elementi critici del circuito in cui più spesso si possono riscontrare guasti. Molta attenzione va posta in questa fase all'ottimizzazione dei tempi di taratura e collaudo. Per poter realizzare tutto questo, è necessario che vi sia una collaborazione continua tra i tecnici progettisti ed i tecnici responsabili dell'industrializzazione.

1.1.3 L'industrializzazione e la produzione in serie

Arrivati a questa fase, si possono produrre grandi quantità della nuova applicazione che saranno destinate alla vendita garantendo all'utente finale il rispetto di tutte le specifiche stabilite in fase di progetto e dichiarate al momento della commercializzazione.

Il processo di industrializzazione del prodotto ha come finalità la messa in produzione, produzione di serie appunto, del nuovo progetto il quale dopo aver superato tutti i test richiesti dalla preserie ed aver risolto tutte le eventuali problematiche riscontrate in questa fase, deve poter essere prodotto da personale meno specializzato in minor tempo ed in maggiori quantità.

Sarà necessario studiare la soluzione che permette di velocizzare il più possibile la produzione garantendo il minor numero di prodotti non funzionanti.

1.2 Il collaudo nella produzione industriale

Le fasi di collaudo sono da considerarsi fondamentali, specie nella realizzazione di applicazioni complesse delle quali è difficile quantificare esattamente, in fase di progetto, tutti i fenomeni parassiti che si possono presentare nella realtà. Oltre a questi, si possono presentare degli altri imprevisti che possono dipendere da errori umani o da guasti pervenuti alle apparecchiature adibite alla produzione.

Le fasi di collaudo servono appunto a scongiurare la presenza di tali problematiche nel prodotto finale.

1.2.1 L'impiego di LabView nel collaudo

Grazie alla sua grande versatilità e relativa facilità di programmazione, LabView permette la realizzazione di sistemi di collaudo molto efficienti e funzionali richiedendo risorse minime.

L'interfaccia grafica di LabView permette al programmatore di realizzare in pochissimi passaggi uno strumento che raccoglie in se stesso un gran numero di funzioni e che permette il comando simultaneo di più strumenti di misura evitando all'operatore di dover gestire ogni singolo strumento.

Queste caratteristiche, vale a dire:

- facilità di programmazione;
- gestione automatica di più strumenti;
- bassa richiesta di risorse al pc su cui risiede;

hanno determinato il successo di questo ambiente di sviluppo nella gestione di molte applicazioni industriali, in particolare nella gestione della strumentazione di misura per il collaudo.

Il lavoro di tesi svolto descrive la realizzazione di un programma LabView che permette la gestione di un sistema di collaudo per applicazioni a radiofrequenza.

1.3 La taratura dei circuiti a radiofrequenza

Nel campo dell'elettronica, una delle difficoltà maggiori nella progettazione e realizzazione di circuiti è dovuta alla tolleranza di valore dei singoli componenti. Se si considerano circuiti che funzionano ad alte frequenze intervengono anche effetti parassiti causati da fenomeni elettromagnetici.

In fase di progetto si possono stimare con buona precisione tutti questi fenomeni ma è difficile riuscire a dominarli completamente. Per questo motivo, nella realizzazione delle apparecchiature a radiofrequenza, la taratura di alcuni componenti è fondamentale per ottenere un circuito che rispetti a pieno le specifiche di progetto desiderate. Questa operazione richiede l'intervento di un tecnico specializzato soprattutto nei casi in cui sia necessario tarare i componenti che interferiscono l'un

l'altro.

Parte I

Tesi

Capitolo 2

Transmodulatore Mitan

Introduzione

L'intero lavoro di tesi è stato svolto con l'obiettivo di realizzare un sistema automatico finalizzato al collaudo e taratura di uno dei prodotti di punta della gamma Mitan Technologies.

Il prodotto oggetto dello studio di seguito esposto è il *Sistema di Transmodulazione Universale MITAN*. Il suo progetto ha richiesto l'impiego di molte risorse da parte dell'azienda, ma ha permesso alla stessa di presentare sul mercato nazionale e internazionale un prodotto innovativo in grado di rispondere al meglio alle nuove esigenze tecnologiche richieste negli impianti televisivi centralizzati.

L'utilizzo del sistema di transmodulazione in impianti televisivi centralizzati permette ad alberghi ed altre strutture simili di poter fornire alla propria utenza un servizio televisivo adeguato anche se posti in luoghi non raggiunti dal segnale digitale terrestre. Il sistema di transmodulazione infatti permette di ricevere da satellite i programmi televisivi desiderati ed in seguito transmodularli e miscelarli all'interno dell'impianto d'antenna TV con una codifica compatibile con i televisori predisposti alla ricezione del segnale digitale terrestre.

In questo capitolo saranno esposte le caratteristiche principali del sistema di transmodulazione al fine di permettere una più facile comprensione del funzionamento del sistema di collaudo realizzato.

2.1 Centrale di Transmodulazione MITAN

Il sistema di transmodulazione è costituito da un cestello rack in grado di alloggiare al suo interno fino a 7 moduli transmodulatori ed un alimentatore. Ciascun modulo presente nel cestello può essere programmato via USB, attraverso la presa disponibile nell'alloggiamento dell'alimentatore mediante un PC ed il software in dotazione.

Il sistema *RKM*, sistema di transmodulazione Mitan, permette di montare all'interno di ciascuna centrale due tipologie diverse di moduli:

- il *Modulo RKM120* permette di ricevere da satellite un qualsiasi transponder sat, scegliere i servizi desiderati e modularli in COFDM per la loro distribuzione nel normale impianto MATV, rendendoli ricevibili da un normale ricevitore DTT;
- il *Modulo RKM420* ha le stesse funzioni del RKM120 ma con ingresso frontale ASI, permettendo così la modulazione di una sorgente ASI in COFDM.



Figura 2.1. Centrale di Transmodulazione Mitan

Il sistema è predisposto per la programmazione e monitoraggio da remoto grazie al bus di collegamento RS485 che permette il collegamento fino a 63 moduli. Si possono infatti realizzare centrali con 63 moduli andando a sovrapporre 9 rack contenenti ciascuno 7 moduli, e programmabili ciascuno singolarmente sfruttando un solo collegamento USB.

2.1.1 Rack

Ogni centrale di transmodulazione è composta da almeno un modulo ed un alimentatore che vanno montati su di un apposito rack. Ciascun rack è costituito da un cestello metallico forato che funge da sostegno ai moduli che in esso andranno installati. La parte superiore e quella inferiore sono forate per poter garantire un'efficiente raffreddamento dei moduli all'interno, senza l'impiego di ventole che forzano la circolazione dell'aria.

Nella parte posteriore è montato un back panel che offre la possibilità di collegare ciascun modulo all'alimentatore per fornire le connessioni elettriche necessarie al

funzionamento dei moduli ed il collegamento dell'interfaccia RS485 necessaria alla programmazione di ciascun modulo RKM.

2.1.2 Alimentatore

L'alimentazione dei moduli presenti in ciascun rack è garantita dalla presenza di un alimentatore switching in grado di erogare una potenza di circa 100W e diversi livelli di tensione necessari ad alimentare varie parti del circuito che compone ciascuna scheda madre all'interno di ogni modulo transmodulatore.

All'interno del case dell'alimentatore è alloggiata la scheda di comunicazione RS485 che permette la programmazione dei moduli montati nel rack. Attraverso un cavo con attacco RJ45 è possibile collegare tra loro le varie schede di comunicazione ed ottenere un sistema composto dalla sovrapposizione di più rack.

2.1.3 Transmodulatore

I moduli transmodulatori sono gli elementi principali di questo tipo di centrali. Come detto in precedenza vengono prodotte due tipologie di moduli transmodulatori e differiscono l'una dall'altra per la configurazione della scheda madre.

Scheda madre RKM120

Questo modulo permette la ricezione del segnale satellitare. Per ottenere questo, sulla scheda madre è montato un tuner satellitare che permette la ricezione del segnale proveniente dalla parabola e lo decodifica in un segnale MPEG 2. Sempre sulla scheda madre è presente un circuito FPGA che ha come scopo principale la transmodulazione del segnale MPEG 2 proveniente dal tuner satellitare in un segnale COFDM. Tutte le funzioni della scheda madre sono controllate da un microcontrollore.

Scheda madre RKM420

Questo modulo, a differenza del precedente, permette la transmodulazione di un segnale ASI in un segnale COFDM. In questo tipo di configurazione, sulla scheda madre del transmodulatore, non è montato il modulo di ricezione satellitare ma una semplice scheda di adattamento per l'ingresso del segnale ASI. Rispetto al RKM120 ci sono delle modifiche al software di gestione del microcontrollore che permette l'operatività dell'ingresso ASI.

Up-Converter

L'Up-Converter è il circuito che permette la traslazione in frequenza del segnale in uscita dal circuito di modulazione, nel canale desiderato e di miscelarlo con il segnale già presente nell'impianto d'antenna.

La traslazione in frequenza del segnale è svolta da un mixer (vedi: 6.1.1) pilotato



Figura 2.2. Up-Converter

dal microcontrollore presente sulla scheda madre del modulo. Oltre al Mixer, nel circuito dell'Up-Converter, sono realizzati dei filtri per filtrare il segnale prima della traslazione in frequenza, quindi posti prima del Mixer, e degli altri posti dopo il Mixer, per pulire il segnale di uscita dalle componenti spurie introdotte nel processo di traslazione in frequenza.

2.2 Funzionamento Up-Converter

L'Up-Converter permette di traslare in frequenza il segnale posto al suo ingresso. Come suggerito dal nome, questo dispositivo permette di traslare a frequenze più alte il segnale che proviene dal modulatore attraverso un mixer.

Per eliminare le componenti spurie derivate dalla traslazione in frequenza del segnale, nel circuito sono presenti dei filtri a banda stretta che permettono l'eliminazione di questi segnali di disturbo dallo spettro d'uscita dell'Up-Converter. Inoltre sono presenti nel circuito dell'Up-Converter anche alcuni stadi amplificatori che hanno il compito di aumentare la potenza del segnale di uscita dopo le operazioni di filtraggio.

2.3 Software di gestione del Transmodulatore

Il software che gestisce una centrale di transmodulazione è stato sviluppato in ambiente LabView.

L'interfaccia di controllo si compone di due schermate principali, la prima che mostra lo stato di funzionamento di tutta la centrale e di tutti i moduli in essa installati; mentre la seconda si occupa del setup di ogni singolo modulo.

Agendo in questa seconda schermata di configurazione è possibile programmare il modulo di transmodulazione affinché introduca nell'impianto d'antenna i programmi presenti in un determinato transponder satellitare. Si possono infatti scegliere i singoli programmi disponibili nel transponder sat dalla casella di riepilogo che li elenca e selezionarli così da poterli avere fruibili nell'impianto TV. Effettuata la selezione dei programmi, è poi necessario decidere quale debba essere il canale sul quale renderli disponibili nell'impianto TV.

Oltre a queste funzioni base di gestione dei moduli, il programma permette di regolare la potenza del segnale di uscita adatto all'impianto TV a cui è collegato.

Capitolo 3

Sistema di Collaudo

Introduzione

Come per ogni apparecchiatura elettronica anche per il transmodulatore è necessaria una fase di collaudo alla fine dell'assemblaggio per verificare la funzionalità del circuito. Trattandosi di un'apparecchiatura complessa è stato necessario predisporre diverse fasi di verifica per poter testare gli elementi critici del circuito.

Il sistema realizzato permette di collaudare il circuito dell'Up-Converter tramite un PC in modo che la misura sia univoca e guidata.

In questo capitolo si descrive il sistema di collaudo realizzato per la taratura degli Up-Converter realizzati in serie.

3.1 Fasi di collaudo

Per effettuare il controllo di conformità alle specifiche di progetto dell'Up-Converter, si suddivide la procedura di collaudo in due momenti:

- collaudo Up-Converter senza scheda madre e senza case metallico (prova 1);
- collaudo Up-Converter con case metallico su scheda madre calibrata (tutte le prove dalla 2 alla 5).

Questa divisione è necessaria perché dopo la prima prova, finalizzata ad individuare malfunzionamenti dovuti ad errori di montaggio, è più semplice intervenire sul circuito e riparare gli eventuali guasti se il case metallico non è ancora stato applicato. Per contro le prove a radiofrequenza (dalla prova 2 alla prova 5) necessitano della presenza del case metallico di schermatura per essere significative e quindi vengono svolte in un momento successivo al montaggio della schermatura metallica.

Prova 1

La prova 1 prevede il controllo degli assorbimenti di corrente del circuito dell'Up-Converter. La prova viene eseguita collegando i pin presenti sull'Up-Converter all'alimentatore programmabile che, contenendo al suo interno un multimetro, permette di effettuare direttamente la misura di corrente assorbita. Per eseguire la prova è necessario disporre di uno strumento che permetta di deviare l'uscita dell'alimentatore verso il particolare pin dell'Up-Converter che alimenta la parte di circuito da testare. Per effettuare questo è stata realizzata una scheda switch con relé pilotati attraverso la porta parallela del PC.

Montaggio case metallico

Superata la prima prova di collaudo la scheda dell'Up-Converter viene montata all'interno del case metallico utilizzato per la schermatura del circuito a radiofrequenza. Completata anche questa operazione, si procede con le altre fasi di collaudo.

Prova 2

La prova 2 prevede di misurare il livello della potenza di canale (vedi paragrafo: 6.1.2) in uscita all'Up-Converter, questo per verificare il corretto funzionamento dell'attenuatore programmabile, del filtro e dell'amplificatore di uscita. Per eseguire la prova è necessario:

- inserire l'Up-Converter sulla una scheda madre precedentemente calibrata per poterlo comandare;
- collegare l'analizzatore di spettro al connettore di uscita dell'Up-Converter;
- eseguire una misura di potenza di canale utilizzando l'apposita funzione dello strumento.

La misura viene eseguita su due canali della banda VHF: S24 (330 MHz) ed E5 (178 MHz). Il canale E5, avendo una frequenza inferiore ai 300 MHz, a differenza dell'S24, ha una larghezza di banda di 7 MHz (l'S24 ha una larghezza di banda di 8 MHz) ed è quindi necessario impostare sia l'uscita del modulatore COFDM sia la larghezza del canale misurato nell'analizzatore di spettro affinché venga rispettato questo parametro.

Per ogni canale si impostano poi tre livelli di uscita per l'attenuatore programmabile: 95 dB μ V, 85 dB μ V, 75 dB μ V. Il cambio di ciascuna impostazione, (configurazione dell'analizzatore di spettro o programmazione della scheda madre) è svolta dal pc in modo automatico. Se non sono state riscontrate delle anomalie durante l'esecuzione della prova, il programma di collaudo passa direttamente alla taratura del filtro sintonizzabile del ramo UHF dell'Up-Converter; se invece sono stati evidenziati dei

problemi, questi vengono immediatamente segnalati dal programma che permette di decidere se effettuare nuovamente la misura oppure passare oltre decidendo di annullare il collaudo.

Prova 3

La prova 3 consiste nella taratura del filtro sintonizzabile del ramo UHF che deve essere svolta manualmente dall'operatore.

La procedura di taratura prevede di collegare la porta 1 del network analyzer tramite saldatura (a scheda spenta) al punto di test presente sull'Up-converter (posto tra l'uscita del mixer e l'ingresso del filtro sintonizzabile nel ramo UHF). Per velocizzare le operazioni (si accende e si spegne la scheda madre una volta in meno), la saldatura del cavo di collegamento con il network analyzer è effettuata prima di iniziare l'esecuzione della prova 2, visto che tale collegamento non va a modificare l'esito della prova. Per eseguire la taratura si imposta il livello massimo di uscita ($95 \text{ dB}\mu\text{V}$) e si sintonizza l'uscita dell'Up-Converter sul canale E69 (858MHz). Con apposite maschere si tara il filtro. Tarato il filtro sul canale E69 si passa al controllo e all'eventuale taratura sui canali E45 ed E21. Se nelle fasi di controllo dei canali E45 ed E21 è necessario modificare la taratura, si ritorna automaticamente a verificare il corretto funzionamento del filtro anche ai canali precedenti, rispettivamente per l'E45 si ricontrolla il canale E69, per l'E21 si controlla sia l'E69 che l'E45. Conclusa questa fase di taratura si procede allo spegnimento della scheda madre, alla dissaldatura del cavo di collegamento al network ed alla saldatura di chiusura del ramo UHF.

Prova 4

La prova 4 consiste nella verifica del livello massimo del segnale in uscita al ramo UHF dell'Up-Converter, del livello di potenza del segnale di disturbo emesso dall'oscillatore locale utilizzato nel mixer per effettuare la traslazione in frequenza del segnale DTT e il controllo della potenza di canale della frequenza immagine.

Per effettuare questa prova si imposta in sequenza l'uscita dell'Up-Converter sui canali di fine, centro ed inizio della banda UHF (canali E69, E45, E21), con il livello massimo di potenza. Per ciascun canale si effettua la misura di potenza del canale di uscita, come è stato fatto nella prova 2, per il solo livello massimo ($95 \text{ dB}\mu\text{V}$). Poi si imposta l'analizzatore di spettro centrando la banda di misura a meno 120MHz rispetto alla frequenza centrale del canale e si valuta con un misura di rilevamento di picco, il livello del segnale residuo dell'oscillatore locale. Si effettua quindi una misura di potenza di canale a meno 240MHz rispetto alla frequenza centrale del canale per valutare il livello di potenza della frequenza immagine.

Ottenute le misure si effettua il confronto con il valore di potenza misurato sul canale e se questi rispettano i limiti previsti dalla normativa vigente la prova si può considerare superata.

Prova 5

La prova 5 prevede di effettuare una misura in full span dello spettro del segnale di uscita controllando tramite apposite maschere la presenza di spurie indesiderate che possono compromettere il buon funzionamento dell'Up-Converter. Per effettuare la prova si esegue una scansione in full span dello spettro in uscita all'Up-Converter. Acquisita la traccia viene confrontata con una maschera di controllo che permette di valutare la presenza o meno di spurie nello spettro. Se non vi sono spurie la prova è conclusa.

Nelle figura 3.1, 3.2 e 3.3 è riportato il diagramma di flusso dell'intera sequenza delle prove di collaudo.

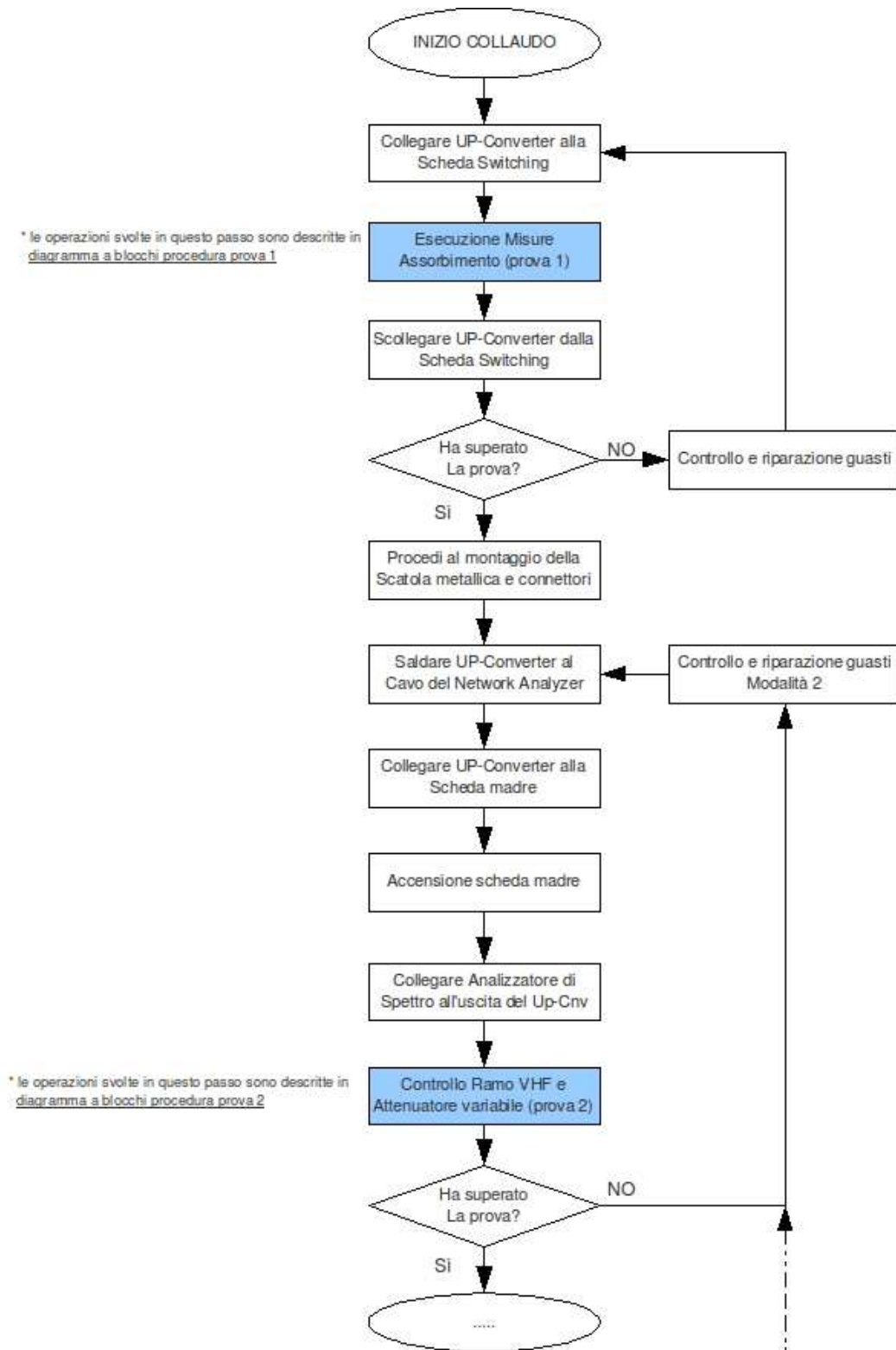


Figura 3.1. Diagramma delle fasi di collaudo 1 di 3

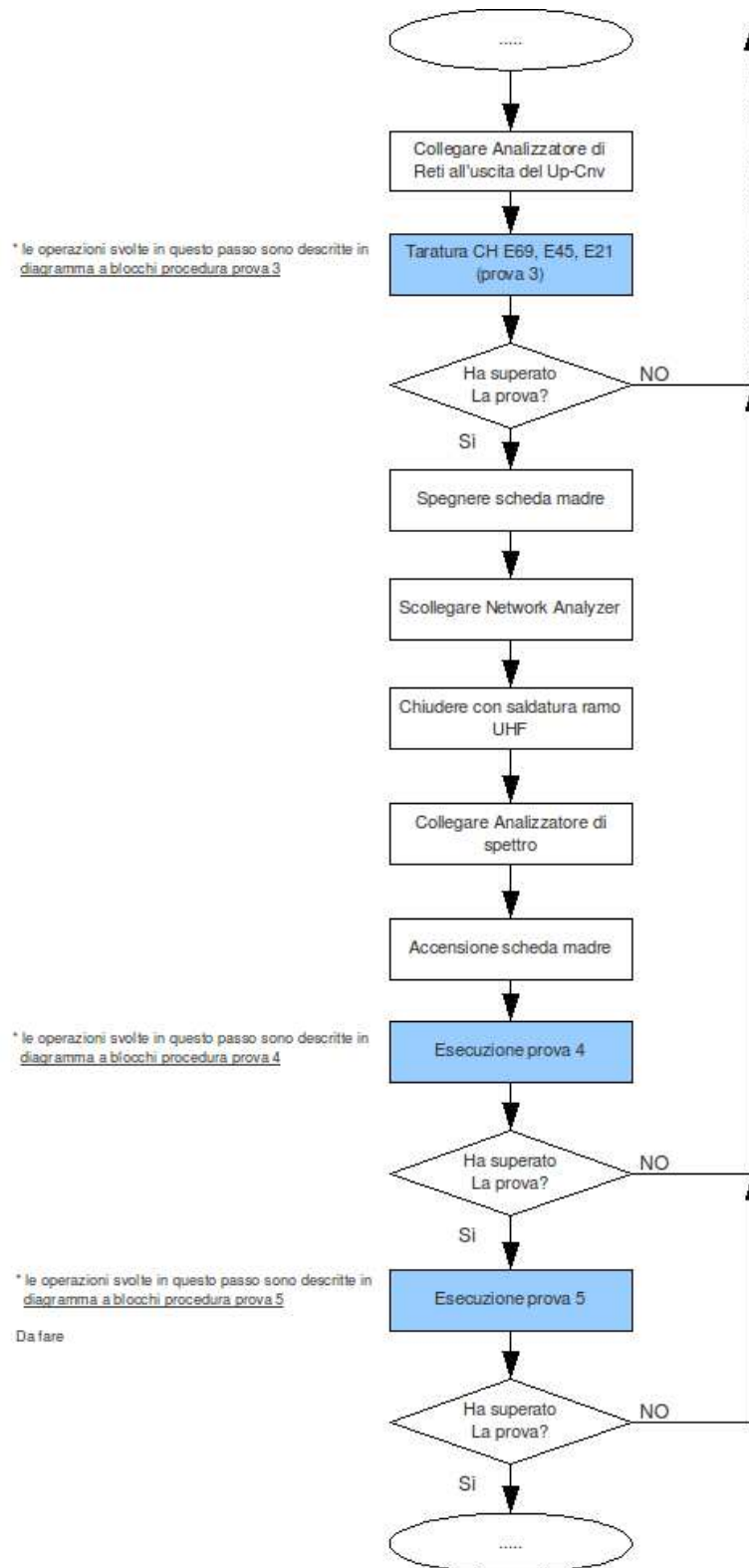


Figura 3.2. Diagramma delle fasi di collaudo 2 di 3

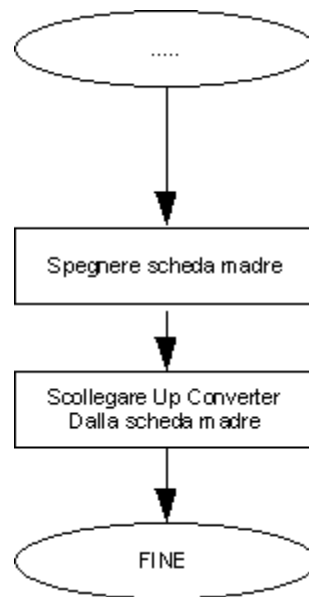


Figura 3.3. Diagramma delle fasi di collaudo 3 di 3

3.2 Banco di collaudo

Il banco di collaudo necessario a testare l'Up-Converter è allestito utilizzando diversi strumenti atti a verificare tutte le caratteristiche del circuito.

Il banco di collaudo allestito deve disporre della seguente strumentazione:

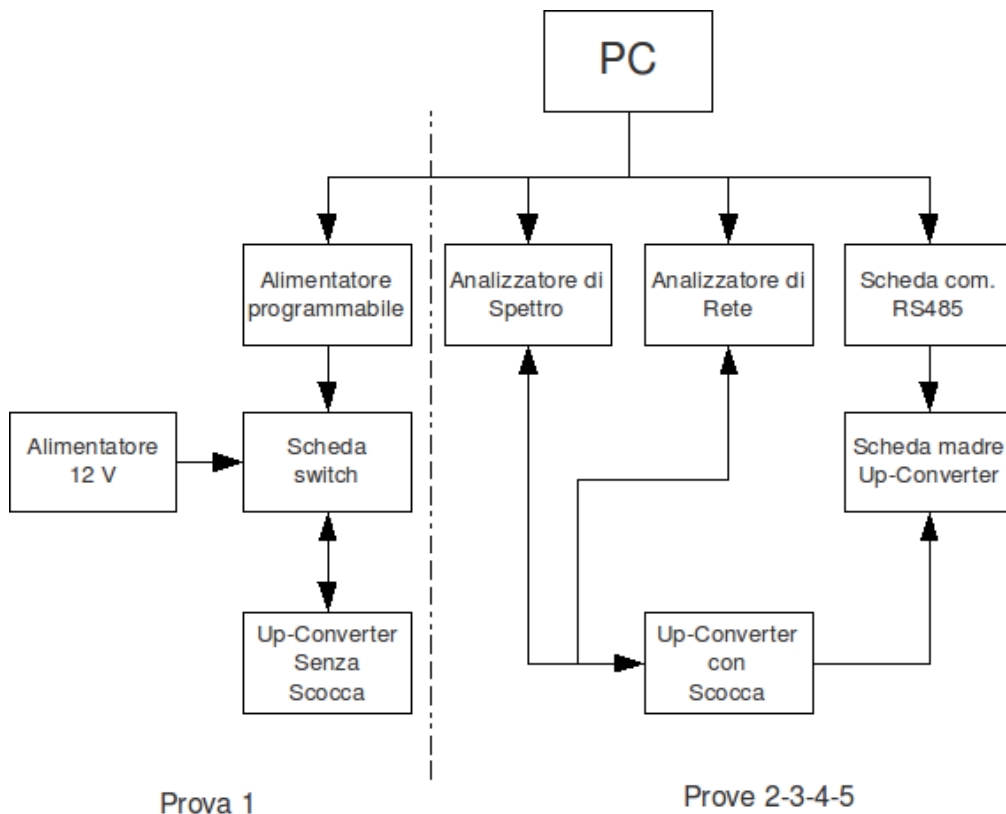


Figura 3.4. Schema di allestimento banco di collaudo

- PC con installati i programmi LabView versione 7.1, Access 2000 o superiore, LabView Database Connectivity Toolset. Inoltre è necessario che il PC abbia due porte seriali, una scheda di rete, una porta USB ed una porta parallela necessarie al collegamento degli strumenti;
- analizzatore di reti Agilent E5061A collegato al PC tramite cavo Ethernet;
- alimentatore programmabile TTI PL330P collegato al PC tramite porta seriale;
- analizzatore di spettro HP 8594E collegato al PC tramite porta seriale;
- scheda switch collegata al PC tramite porta parallela;

- alimentatore switching 12 V per far funzionare la scheda switch;
- scheda di comunicazione seriale RS485 per il comando della scheda madre;
- scheda madre per il controllo dell'Up-Converter;
- saldatore per il collegamento dell'Up-Converter all'analizzatore di rete.

Per allestire un banco di collaudo è necessario installare nel PC il programma di collaudo MITAN che permette il comando di tutte le operazioni. Uno schema dei collegamenti è riportato nell'illustrazione di figura 3.4.

Si nota che il PC comanda direttamente la scheda switch, l'analizzatore di spettro, l'analizzatore di rete, l'alimentatore programmabile e la scheda di comunicazione seriale RS485. Con questi apparati è quindi possibile eseguire tutte le prove di collaudo dalla 1 alla 5.

Un inconveniente di questo allestimento è la grande quantità dei cavi necessari a connettere tra loro tutte le apparecchiature. Dividendo le fasi di collaudo in due momenti, le apparecchiature sul banco di lavoro diminuiscono. Nel resto della trattazione saranno quindi considerati due banchi di collaudo distinti, il primo per la Prova 1, il secondo per le rimanenti prove.

3.3 Il programma LabView di collaudo

Il programma di collaudo dell'Up-Converter è stato realizzato sviluppando dei nuovi VI che vanno a completare il programma di collaudo già presente in azienda.

Il programma di collaudo è composto da un VI principale che offre la possibilità di collaudare molti prodotti della gamma Mitan utilizzando il medesimo banco di test. Questo VI principale, in seguito alla scelta del prodotto che si desidera collaudare, si connette al database di controllo e acquisisce i dati necessari per eseguire la misura. Richiama quindi dinamicamente altri VI, di volta in volta differenti in modo da permettere l'utilizzo di più strumenti e di verificare più strumenti mantenendo invariata la strumentazione sul banco di test. In seguito verranno descritti la struttura del database e il funzionamento generale del programma di test.

3.3.1 Il database di controllo

Il programma di collaudo basa il suo funzionamento reperendo i dati di configurazione direttamente da un database implementato con MS Access. La comunicazione del programma LabView di collaudo con il database Access è resa possibile dal "LabView Connectivity Toolset" che mette a disposizione del programmatore gli strumenti per operare la connessione, l'interrogazione e l'inserimento dei dati all'interno di un database.

Il database di controllo è costituito da un insieme di tabelle di cui le principali sono:

Collaudi in cui c'è l'elenco di tutti gli articoli che sono in produzione e possono essere collaudati utilizzando il software di collaudo.

Indirizzi Strumentazione elenco degli strumenti che compongono il banco di test e specifica dei relativi indirizzi fisici necessari per realizzare la comunicazione tra PC e strumento stesso.

Fasi in cui sono elencati i VI che permettono di svolgere le operazioni di collaudo.

Fasi per collaudo è una tabella che mette in relazione ciascun collaudo con i VI necessari a realizzare i test di verifica. Questa tabella è il cuore del sistema di collaudo ed operando su di essa è possibile intervenire sulla sequenza delle operazioni svolte.

Setup Fase tabella che permette la configurazione di ciascuna fase di collaudo. In questa tabella vengono inseriti i dati relativi ai limiti delle misure da effettuare e che sono utilizzati dal programma di collaudo.

Setup Strumentazione Per ciascun setup di fase si possono predisporre più setup di strumentazione. Questa tabella ha il compito di raccogliere i dati necessari all'impostazione degli strumenti utilizzati durante la misura.

Risultati è la tabella in cui sono memorizzati l'esito delle misure effettuate ed i valori misurati dal sistema. In questa tabella si tiene traccia delle misure effettuate dal banco di test.

3.3.2 Funzionamento del programma di Collaudo

Il funzionamento del programma di test è interamente basato sul reperimento di informazioni dal database di controllo. Ogni volta che si avvia una prova di collaudo il programma richiede al database l'elenco delle fasi richieste per il test del prodotto. Dall'interrogazione della tabella *Fasi per collaudo* si ottiene la sequenza con cui richiamare i VI che svolgeranno le misure (interrogazione della tabella *Fasi*). I VI saranno richiamati dinamicamente dal programma principale e programmati con i dati ricavati dalla tabella *Setup Fase*.

Tra i dati di programmazione della fase si trovano, oltre ai limiti delle varie misure, anche la tipologia degli strumenti da utilizzare. L'impostazione della strumentazione è quindi ricavata dai dati contenuti nella tabella *Setup Strumentazione*.

Completate le fasi di setup della fase e della strumentazione, il programma esegue la misura e conclusa questa fase procede alla registrazione dei dati nella tabella dei risultati.

Il lavoro di tesi consiste: nello sviluppo di nuovi VI che saranno richiamati dinamicamente dal programma e nell'inserimento dei dati nel database di controllo necessari all'esecuzione delle varie fasi di collaudo dell'Up-Converter.

3.4 Banco di collaudo 1

Il banco di collaudo 1 ha lo scopo di effettuare le misure degli assorbimenti di corrente del circuito dell'Up-Converter per poter individuare eventuali guasti dovuti ad un errato montaggio dei componenti sul pcb.

Questa fase di collaudo viene eseguita prima di montare la scheda all'interno della scatola metallica di schermatura, al fine di agevolare le operazioni di riparazione dei guasti trovati.

Il Banco di collaudo 1 è allestito utilizzando i seguenti strumenti:

- PC con LabView;
- alimentatore programmabile;
- scheda switch.

Il PC è il cuore del sistema di test. Ad esso sono collegati gli altri strumenti sopra elencati. La scheda switch è collegata con interfaccia parallela, mentre l'alimentatore è collegato con un'interfaccia seriale RS232.

Nella figura 3.5 è rappresentato lo schema di collegamento della strumentazione che costituisce il banco di lavoro.

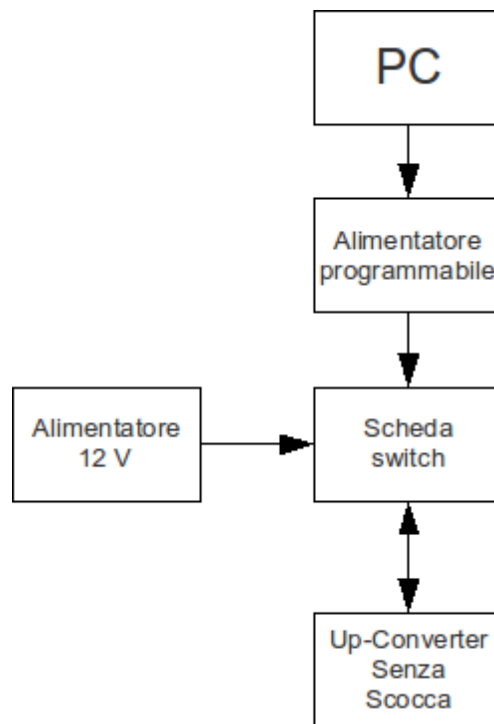


Figura 3.5. Schema di allestimento banco di collaudo 1

3.4.1 Procedura prova di collaudo 1

Per poter realizzare un sistema di collaudo automatico, è necessario focalizzare esattamente la procedura da seguire per compiere nel modo più efficiente possibile tutte le operazioni di verifica del circuito. Si sono quindi individuate prima le grandezze da misurare ed in seguito è stata decisa la modalità di misura da seguire.

In questa fase di collaudo si devono verificare gli assorbimenti di corrente di:

- stadio amplificatore finale;
- switches per rami VHF ed UHF;
- attenuatore programmabile;
- filtri sintonizzabili;
- mixer;

La verifica sequenziale di queste misure di corrente viene eseguita dal sistema di collaudo in modo completamente automatico lasciando all'operatore gli unici compiti di inserire e disinserire la scheda Up-Converter sulla scheda switch di collaudo e l'avvio del programma di test. In automatico il PC esegue quindi le operazioni di collegare in sequenza, tramite la scheda switch, l'alimentatore programmabile che fornisce l'alimentazione ai pin di comando dell'amplificatore finale, dei rami VHF e UHF, dell'attenuatore programmabile, dei filtri sintonizzabili e del mixer. Inoltre l'alimentatore permette la misura della corrente assorbita dal circuito che sta alimentando.

Il programma LabView si occupa di comandare tramite interfaccia seriale l'alimentatore programmabile per settare i livelli di tensione di uscita e leggere i valori di corrente erogati. Confrontando i dati acquisiti con i limiti minimi e massimi stabiliti in fase di progetto il programma stabilisce se il circuito è conforme oppure no ai parametri richiesti.

Blocco circuitale	Tensione Applicata	Assorbimento Normale	Assorbimento Minimo	Assorbimento Massimo
Stadio Amplificatore	12 V	80 mA	78 mA	84 mA
Switch VHF	12 V	7 mA	5 mA	9 mA
Switch UHF	12 V	7 mA	5 mA	9 mA
Filtro Varicap	9,6 V	3 mA	2 mA	4 mA
Attenuatore Variabile	10,5 V	15 mA	13 mA	17 mA
Mixer in Stand-By	3,3 V	2 mA	1 mA	4 mA

Il programma LabView si occupa inoltre di comandare tramite la porta parallela del PC la scheda switch collegando così automaticamente i pin di comando con

l'alimentatore.

La procedura completa di collaudo relativa alla prova 1 per Up-Converter prevede di utilizzare più volte in sequenza i VI che saranno descritti nel paragrafo 3.4.2 andando ad impostare di volta in volta i parametri necessari alla misura da eseguire. Nello schema a blocchi di figura 3.6, è riportata l'intera sequenza di operazioni svolte dal programma di collaudo per testare gli assorbimenti dell'Up-Converter, che rispecchiano esattamente quanto è riportato nel database di gestione del software. Nella procedura di collaudo è utilizzata anche una fase standard che permette di visualizzare l'immagine e l'avviso di istruzione per effettuare le varie operazioni di connessione e sconnessione del Up-Converter.

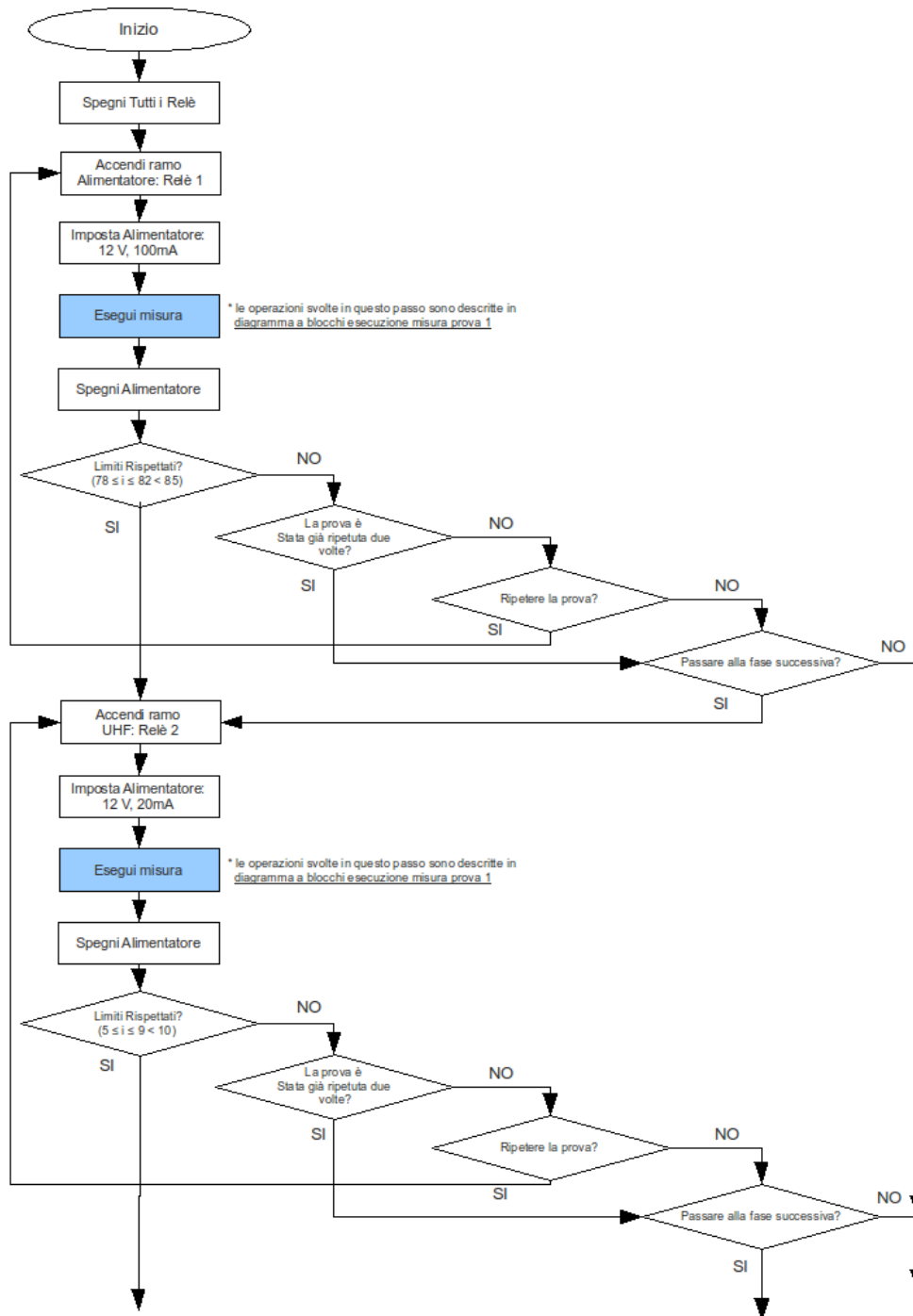


Figura 3.6. Diagramma della procedura della prova 1, 1 di 3

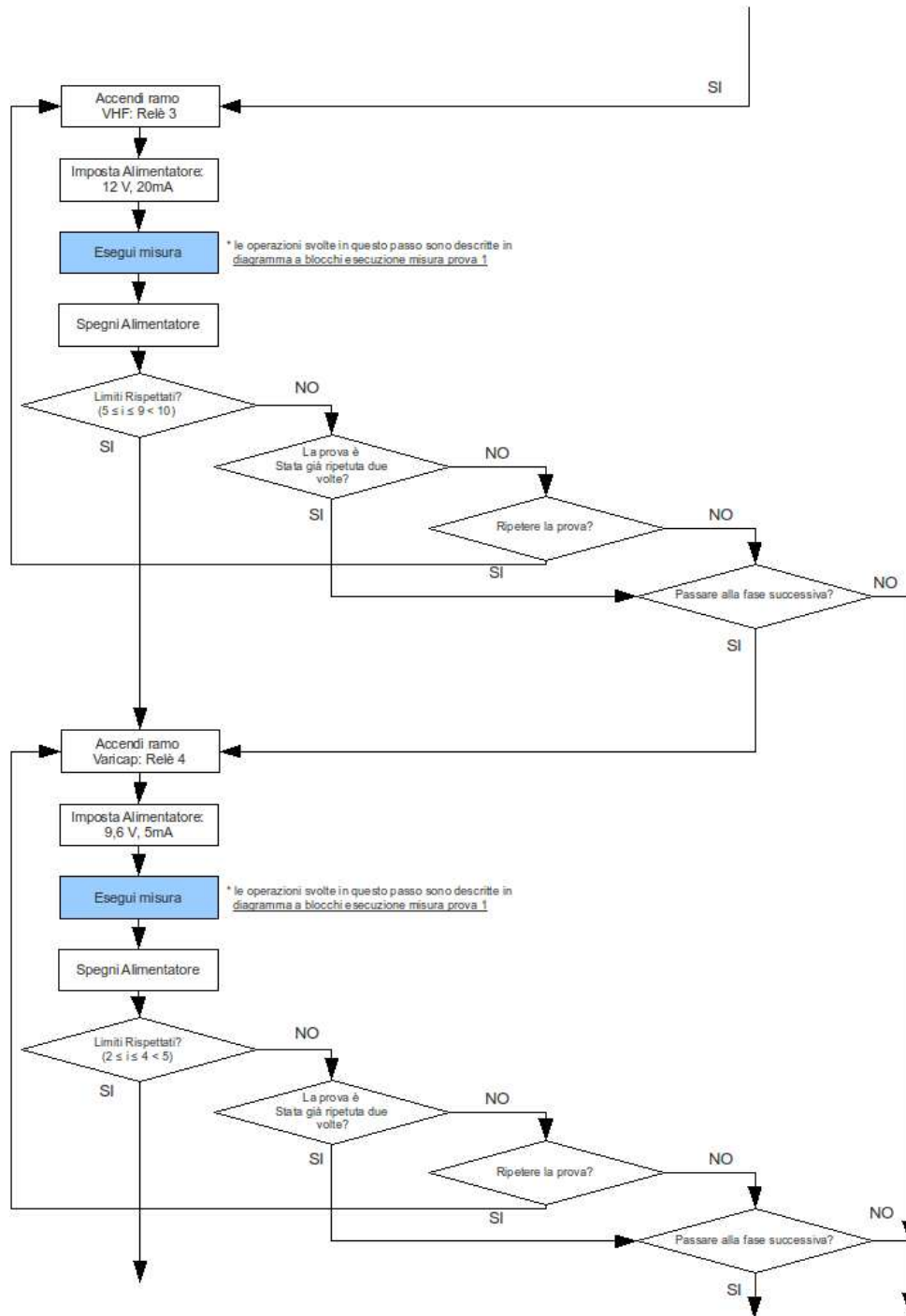


Figura 3.7. Diagramma della procedura della prova 1, 2 di 3

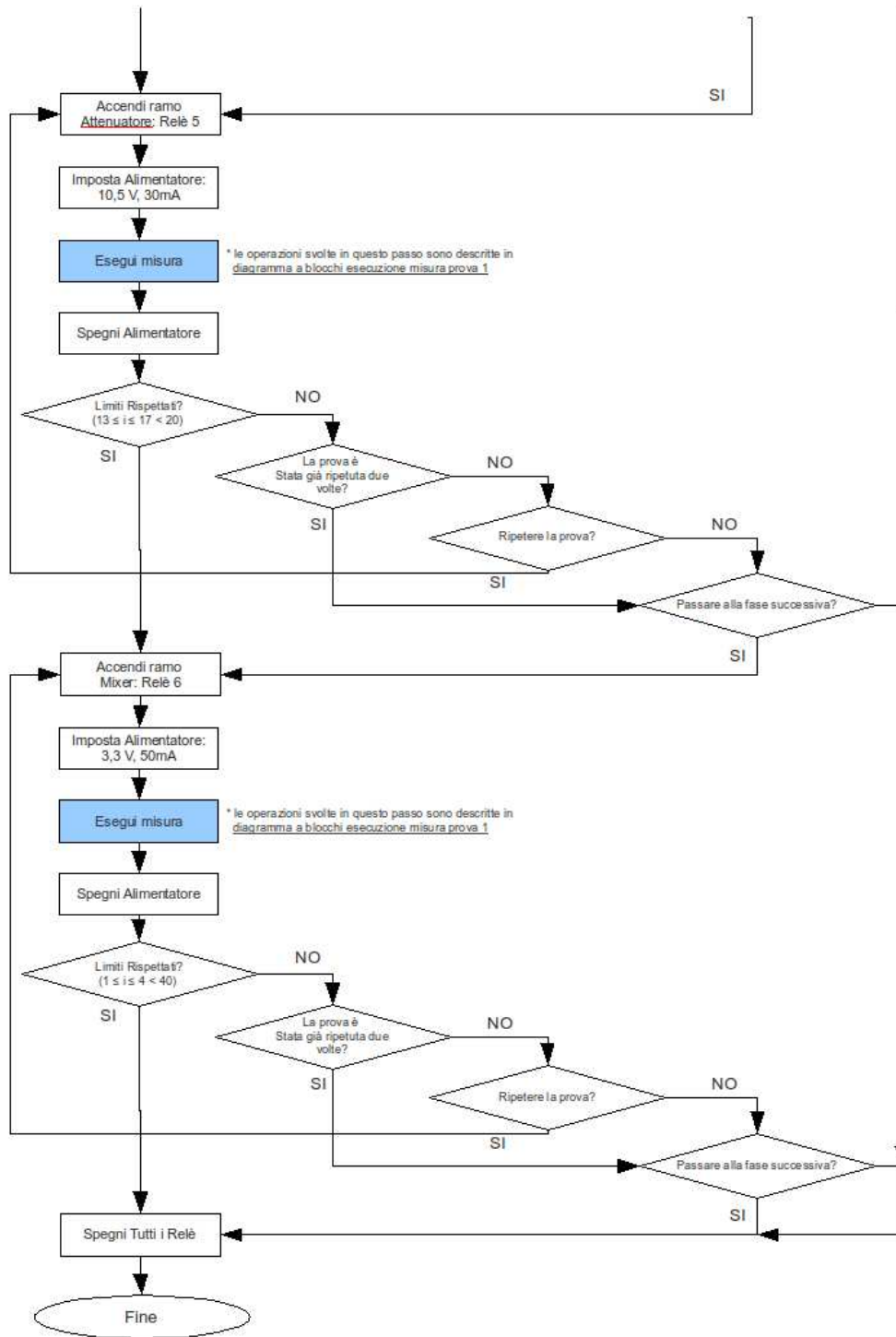


Figura 3.8. Diagramma della procedura della prova 1, 3 di 3

3.4.2 VI prova di collaudo 1

Per eseguire la prova 1, a completamento del programma di collaudo già esistente in azienda, sono stati sviluppati due nuovi VI finalizzati a comandare la scheda switch ed eseguire la misura di corrente assorbita dal circuito. I VI in questione sono:

- Fase_Controllo_Switch_Porta_Parallela.vi
- Fase_Misura_Assorbimenti.vi

Il primo programma si occupa di comandare la scheda switch per collegare l'alimentatore ai vari pin dell'Up-Converter, il secondo imposta l'alimentatore e compie la misura di assorbimento.

Fase Controllo Switch Porta Parallela

Il VI che controlla la porta parallela è composto da due blocchi principali. Uno switch case che traduce l'ingresso pin on che accetta i valori NONE, D0, D1,...D7 nel valore binario necessario al blocco di scrittura diretta su porta ed un blocco di scrittura diretta su registro di memoria (out port.vi).

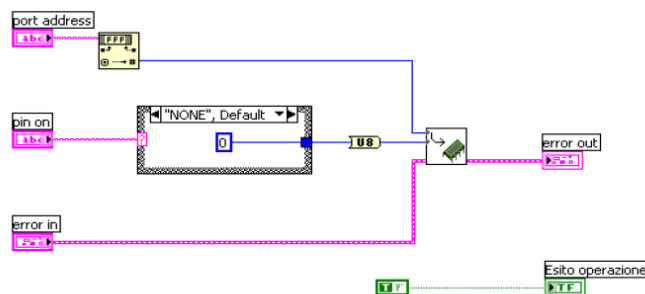


Figura 3.9. VI di controllo porta parallela

L'indirizzo standard della porta parallela utilizzato nei PC è il 378H (che può essere diverso se non viene usata la porta parallela presente sulla scheda madre) e come valore d'ingresso in scrittura viene accettato un qualsiasi valore numerico binario a 8 bit che verrà immediatamente riprodotto in uscita dalla porta parallela. I pin che vengono comandati della porta parallela sono riportati nell'illustrazione di figura 3.10.

Con questo metodo vengono infatti comandati direttamente i pin dallo 0 al 7 presenti sul connettore parallelo del PC.

In corrispondenza a ciascun bit posto ad 1 in ingresso al connettore "write value" del VI out port.vi, si ottiene un'uscita con livello alto (5 V) sul corrispondente pin della porta parallela. Per esempio può essere che si voglia avere un livello alto sui pin

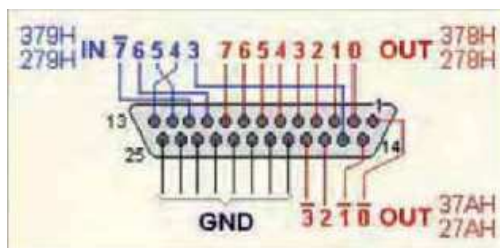


Figura 3.10. Pin della porta parallela

1-5-6 della porta parallela. Il relativo Byte, necessario per eseguire il comando, è: “01010010”, e deve essere posto in ingresso al blocco “out port”. Allo stesso modo si possono ottenere tutte le altre 256 combinazioni possibili. Nell’applicazione sono utilizzate 7 combinazioni che permettono di attivare singolarmente ogni pin.

Comando	Valore numerico binario	Pin acceso sulla porta parallela	Connessione con Up-Converter
NONE	“00000000”	nessuno	nessuna
D0	“00000001”	0	Stadio Amplificatore
D1	“00000010”	1	Switch VHF
D2	“00000100”	2	Switch UHF
D3	“00001000”	3	Filtro Varicap
D4	“00010000”	4	Attenuatore Variabile
D5	“00100000”	5	Mixer in Stand-By

Fase Misura Assorbimenti

Il VI che permette di fare la misura degli assorbimenti è stato sviluppato in modo tale da poter compiere sia il settaggio dell’alimentatore sia la misura dell’assorbimento. Come si vede nell’illustrazione di figura 3.11 al blocco di misura degli assorbimenti si devono applicare in ingresso i parametri sia di impostazione dello strumento (Voltage, Current, Address, State Power Supply), sia di impostazione della fase (Modalità Connessione per Misura, Soglia Allarme, ...).

In uscita si ha oltre al cluster di controllo errori, l’esito della fase e la corrente misurata.

Il VI che esegue la fase di misura degli assorbimenti compie la sequenza di operazioni seguente:

1. decide se la misura è automatica oppure manuale (automatica se si utilizza la scheda switch, manuale se non si utilizza), se manuale viene mostrato un avviso d’istruzioni all’operatore per la connessione dei cavi; se invece è automatica salta direttamente al punto successivo;

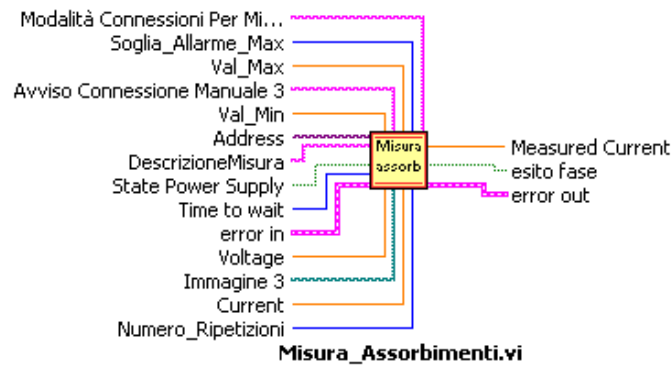


Figura 3.11. VI di misura degli assorbimenti

2. accende lo strumento impostando lo stato a true, e setta il voltaggio di uscita e la corrente massima di uscita;
3. attende un tempo prestabilito prima di effettuare la misura;
4. esegue la misura;
5. Se il valore misurato è compreso nei limiti previsti incrementa il contatore delle misure e se questo è inferiore al numero di misure previste si ritorna al punto 4 altrimenti salta al punto 6. Se il valore misurato non è nei limiti passa al punto 7;
6. Se tutte le misure rispettano i limiti di assorbimento previsti, esegue la media delle misurazioni effettuate e conclude la prova con esito positivo;
7. Se i limiti non sono rispettati, spegne immediatamente l'alimentatore e mostra a video il messaggio di errore che segnala l'individuazione di un errore di assorbimento oppure un corto circuito.

Una descrizione ancora più completa del funzionamento della fase di misura degli assorbimenti si deduce dal diagramma di figura 3.12.

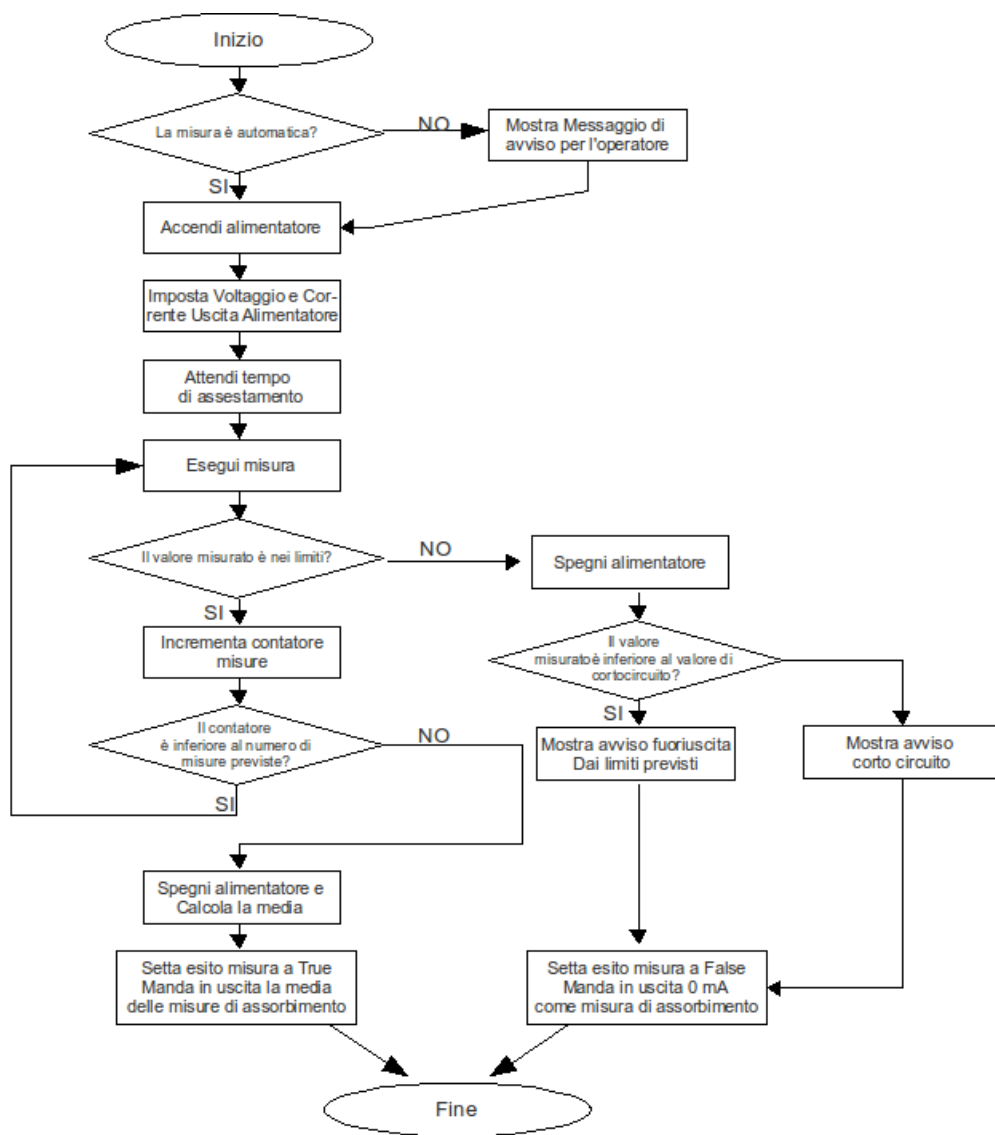


Figura 3.12. Diagramma della singola misura svolta nella prova 1

3.5 Banco di collaudo 2

Il banco di collaudo 2 è realizzato per effettuare le misure di funzionamento a radiofrequenza del circuito dell'Up-Converter.

Questa fase di collaudo viene eseguita dopo aver montato la scheda all'interno della scatola metallica di schermatura necessaria al funzionamento del circuito.

Il Banco di collaudo 2 è stato allestito utilizzando i seguenti strumenti:

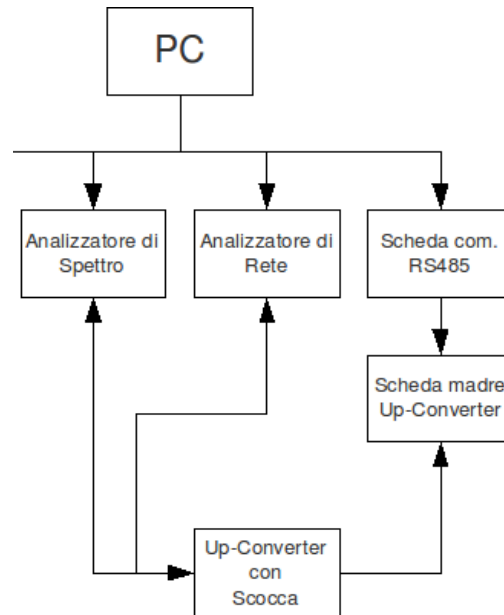


Figura 3.13. Schema di allestimento banco di collaudo 2

- PC con LabView;
- alimentatore programmabile per alimentare la scheda madre dell'Up-Converter;
- analizzatore di spettro;
- analizzatore di reti;
- scheda di comunicazione RS485;
- scheda madre Up-Converter.

Il banco ha come elemento centrale il PC che comanda tutti gli strumenti ad esso collegati in modo tale da rendere trasparente all'utente sia il setup della strumentazione di misura, sia la programmazione e il comando della scheda madre su cui è montato l'Up-Converter.

L'analizzatore di spettro è collegato al PC tramite una connessione seriale RS232.

L'analizzatore di reti è collegato al PC attraverso una connessione di rete ethernet. La connessione all'Up-Converter è costituita dall'innesto di uno spinotto rapido che permette il collegamento della porta di ingresso dello spettrometro all'uscita dell'Up-Converter stesso, questo nelle prove 2, 4 e 5. Per la prova di collaudo 3, la connessione all'Up-Converter è costituita dall'innesto di uno spinotto rapido che permette di collegare la porta 2 del Network Analyzer all'uscita dell'Up-Converter stesso; il collegamento della porta 1 al test point C1 avviene invece saldando direttamente il cavo sul PCB come mostrato in figura 3.14.

Al PC è collegata tramite USB anche la scheda di comunicazione RS485 che per-

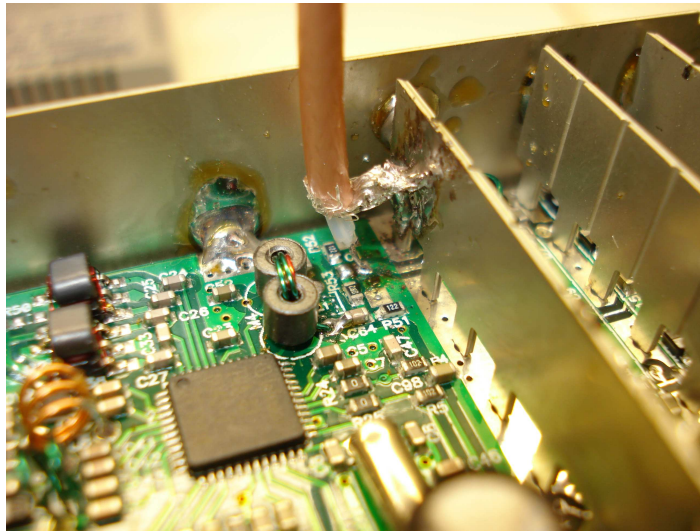


Figura 3.14. Saldatura al test point dell'analizzatore di reti

mette di comandare la scheda madre sulla quale è montato l'Up-Converter. Il collegamento della scheda di comunicazione con la scheda madre al momento è fatto da dei cavi che collegano tra loro i connettori predisposti per il montaggio della scheda madre e della di comunicazione sul rack della centrale. A questi connettori è collegato anche l'alimentatore programmabile che alimenta la scheda madre. Nella figura 3.13 è rappresentato lo schema di collegamento della strumentazione che costituisce il banco di lavoro.

3.5.1 Procedura prova di collaudo 2

La prova 2 prevede il collaudo del ramo VHF e dell'attenuatore programmabile verificando il corretto funzionamento di queste due parti di circuito con lo spettrometro. È necessario verificare il corretto funzionamento di queste parti di circuito prima delle altre fasi di collaudo perché, nelle prove successive, si dovranno eseguire delle misure su parti del circuito poste a monte dell'attenuatore programmabile ed eventuali malfunzionamenti di questo blocco possono impedire l'esecuzione della

misura stessa.

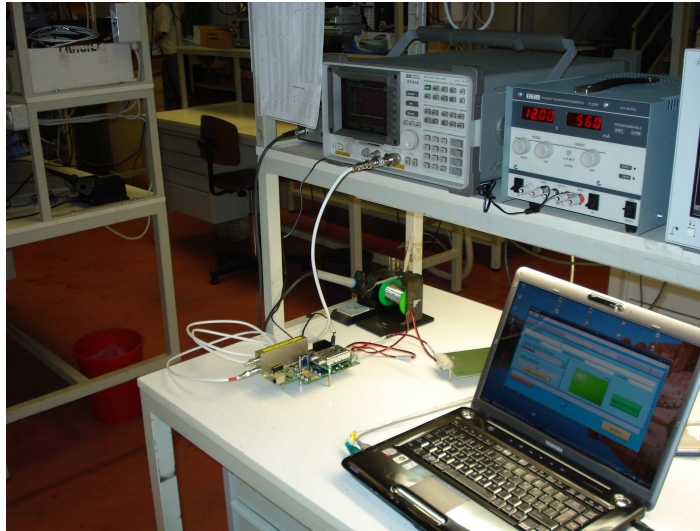


Figura 3.15. foto del banco di collaudo

Il ramo VHF è composto da un filtro con banda di 120 MHz al quale è collegato in serie l'attenuatore programmabile che è in comune con il ramo UHF. In questa parte di circuito non sono presenti elementi che devono essere tarati, e quindi la risposta in frequenza è fissata.

Il collaudo viene effettuato eseguendo una serie di misure di potenza di canale in uscita all'Up-Converter utilizzando l'analizzatore di Spettro.

L'operazione di collaudo è eseguita in sei passi sintonizzando la frequenza di uscita dell'Up-Converter, da prima, sul canale S24 (330 MHz CF, 8 MHz Ch BW) e successivamente sul canale E5 (174 MHz CF, 7 MHz Ch BW). Sono stati scelti questi due canali perché posti rispettivamente alla fine ed all'inizio della banda VHF, quindi, se dal test effettuato non si riscontrano delle anomalie, per come è costruito il circuito, sicuramente non si avranno delle disfunzioni negli altri canali della banda VHF.

STEP	Frequenza MHz	Ch Bandwidth MHz	Livello dBuV	Livello min dBuV	Livello Max dBuV
CH S24 L 95	330	8	95	93	97
CH S24 L 85	330	8	85	83	87
CH S24 L 75	330	8	75	73	77
CH E5 L 95	174	7	95	93	97
CH E5 L 85	174	7	85	83	87
CH E5 L 75	174	7	75	73	77

Per ciascuno dei canali testati si imposta il livello di uscita dell'attenuatore programmabile a 95 dB μ V, 85 dB μ V, 75 dB μ V; e per ciascuno di questi si effettua la misura di potenza di canale.

Se l'Up-Converter testato ha superato la prova si procede alla taratura dei filtri sintonizzabili del ramo UHF previsti nella prova 3.

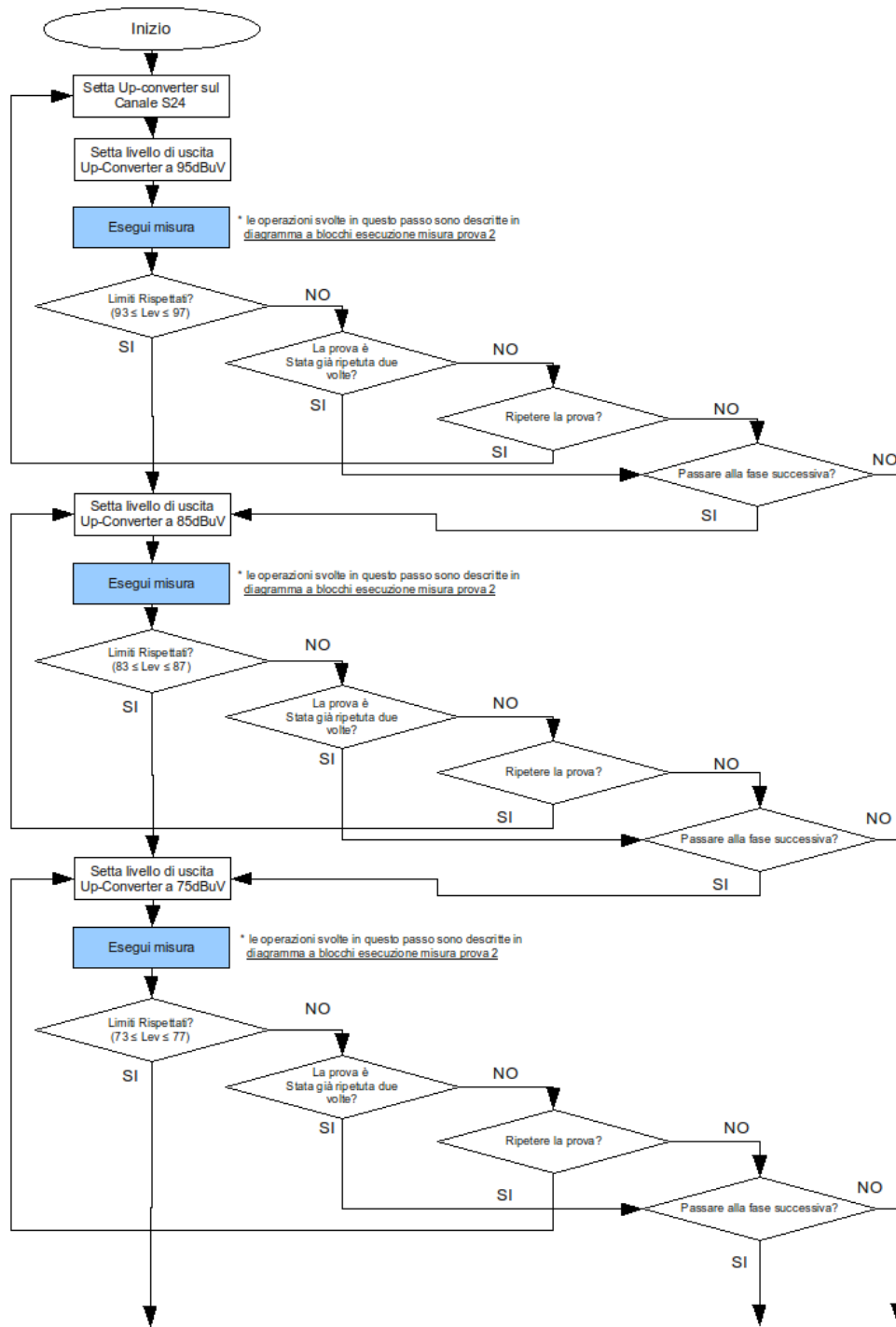


Figura 3.16. Diagramma della procedura di esecuzione della prova 2, 1 di 2

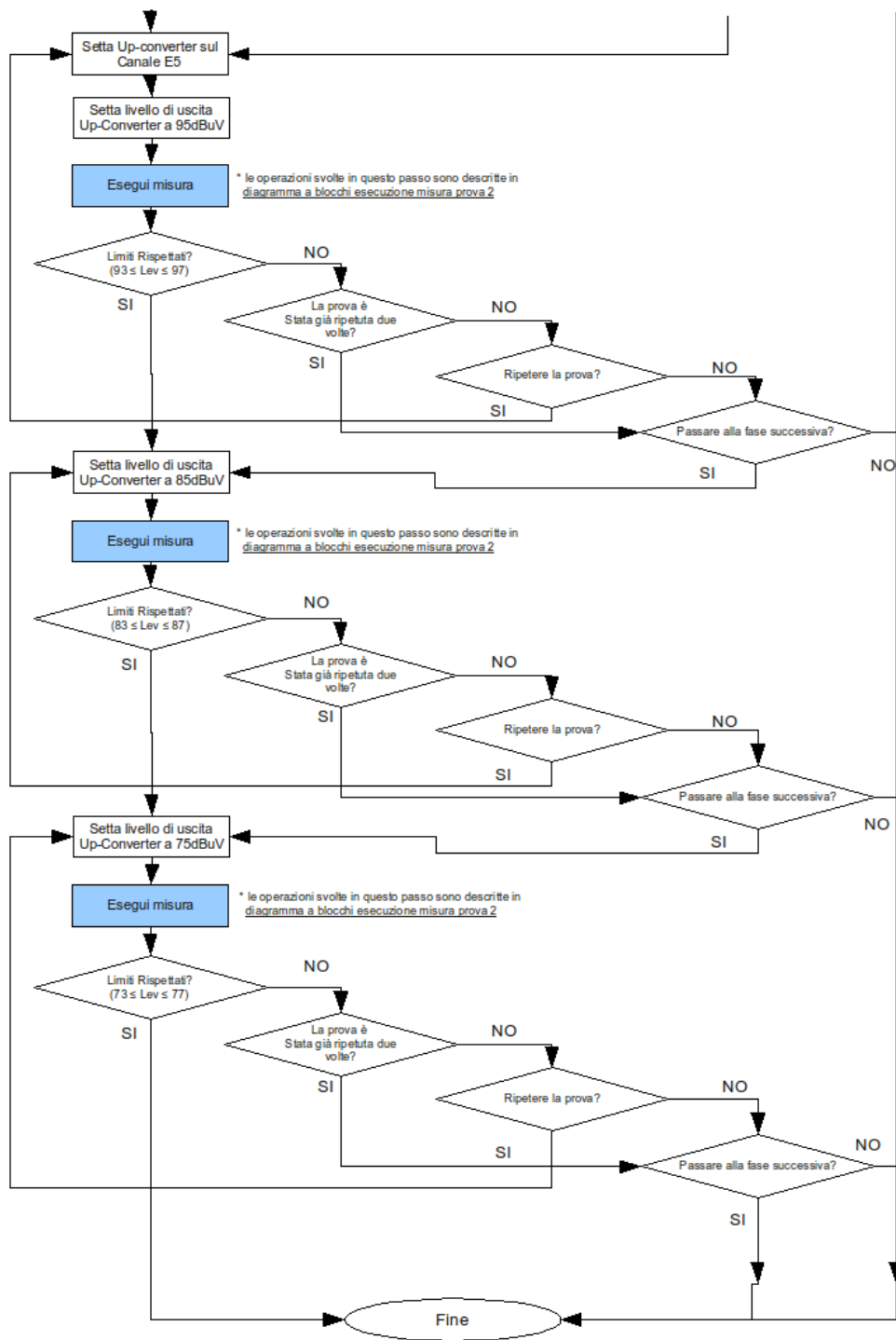


Figura 3.17. Diagramma della procedura di esecuzione della prova 2, 2 di 2

3.5.2 VI prova di collaudo 2

Per realizzare la prova 2 sono stati realizzati due VI che permettono di eseguire il collaudo del ramo VHF e dell'attenuatore programmabile. I VI in questione sono:

- Fase_Controllo_Up_Converter.vi
- Fase_Misura_Livello_Output_UCNV.vi

Il primo VI gestisce il comando della scheda madre e quindi la sintonia tramite software del modulatore COFDM presente sulla scheda madre, nonché il comando dell'attenuatore programmabile.

Il secondo VI gestisce l'analizzatore di spettro per effettuare la misura.

Fase Controllo Up-Converter

Fase Controllo Up-Converter si occupa della gestione dell'Up-Converter comunicando con il processore presente sulla scheda madre del modulo transmodulatore tramite la scheda di interfaccia RS485. Per realizzarlo sono stati utilizzati i VI di basso livello già utilizzati nel programma di gestione delle centrali di transmodulazione Mitan che permettono la comunicazione con la scheda madre.

Il programma è costituito da due sottoprogrammi che gestiscono il livello dell'attenuatore di uscita, la sintonia del filtro sintonizzabile e l'impostazione della larghezza di banda del canale.

La larghezza del canale di uscita viene impostata automaticamente a 7 MHz, se la frequenza di sintonizzazione del filtro è inferiore ai 300MHz, mentre è impostata a 8 MHz se la frequenza di sintonizzazione è superiore a 300MHz. Il livello di uscita per questa prova è sempre impostato al massimo.

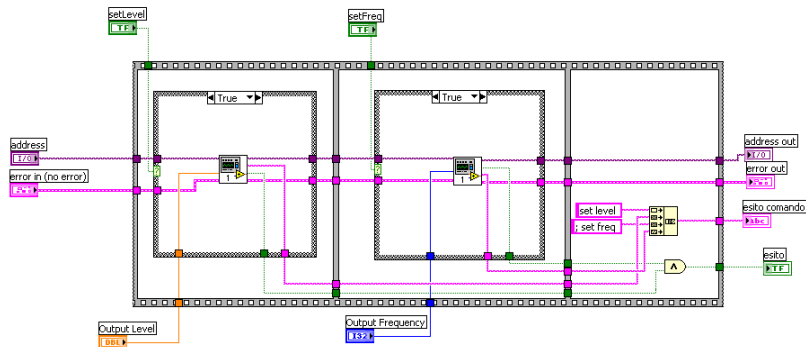


Figura 3.18. Diagramma a blocchi del VI che realizza la prova 2

Fase Misura Livello Output UPCNV

Fase Misura Livello Output UPCNV è il VI che esegue la verifica del rispetto dei limiti delle potenze di uscita esso permette di effettuare il setup e l'acquisizione dei dati relativi alla misura effettuata con l'analizzatore di spettro ed il controllo del rispetto dei limiti. Se non è rispettato uno solo dei limiti, massimo o minimo, viene mostrato a video un messaggio di errore che descrive l'anomalia riscontrata.

Il funzionamento del VI che realizza la misura del livello di potenza del canale è riassunto nello schema a blocchi di figura 3.19.

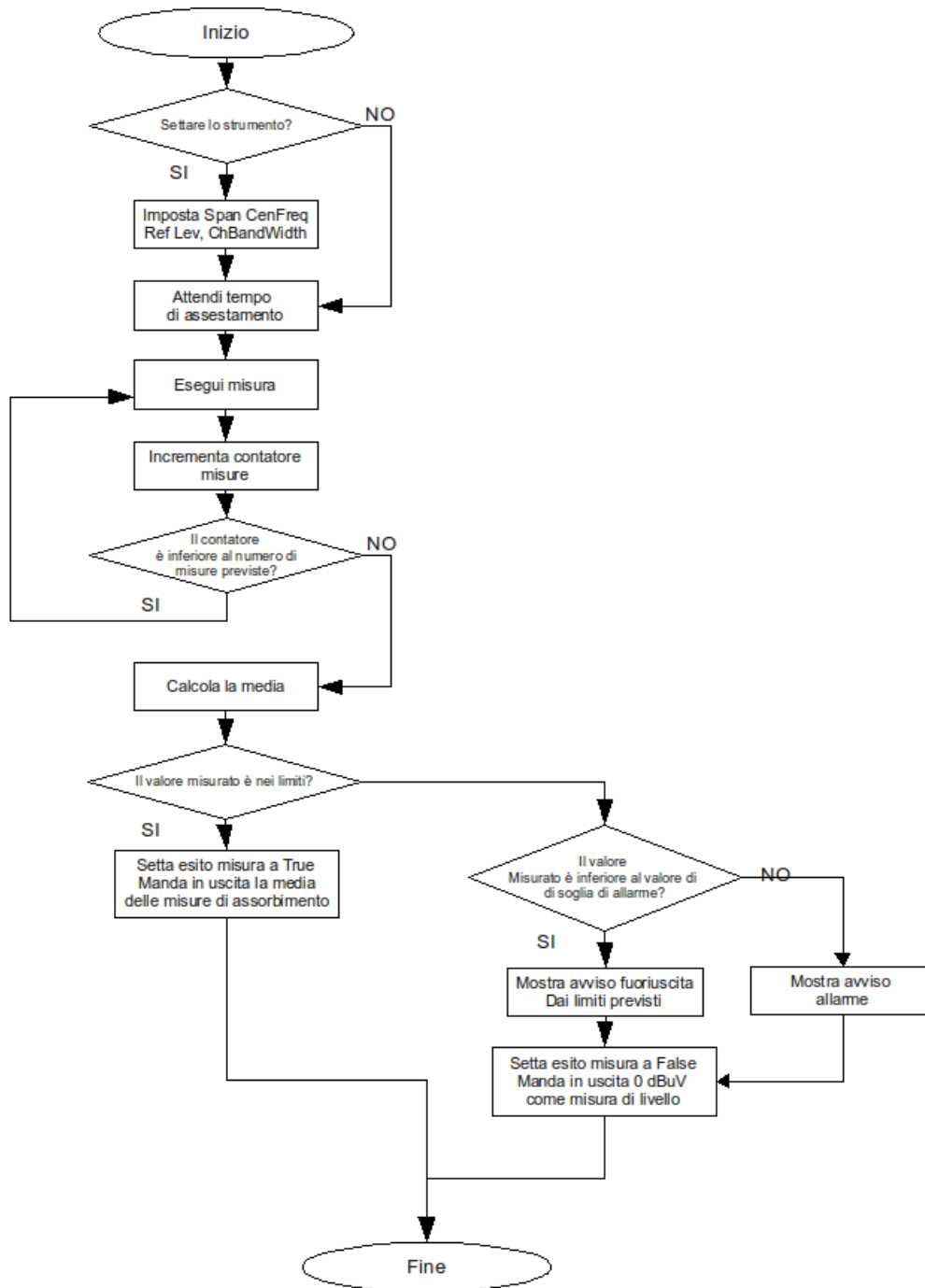


Figura 3.19. Diagramma della singola misura svolta nella prova 2

3.5.3 Procedura prova di collaudo 3

La prova 3 per il collaudo dell'Up-Converter consiste nella taratura dei componenti che costituiscono i filtri sintonizzabili presenti sul ramo UHF dell'Up-Converter.

Per effettuare la taratura di tali filtri sintonizzabili è necessario l'utilizzo di un analizzatore di reti, che permette di visualizzare le curve disegnate dai parametri di scattering della risposta in frequenza del filtro (S21 coefficiente di trasmissione, S11 coefficiente di riflessione).

Per comodità, nel proseguo della trattazione, verrà indicato con il nome generico di filtro la parte di circuito costituita da: i due filtri sintonizzabili, l'attenuatore posto tra questi due filtri, l'amplificatore finale e l'attenuatore programmabile finale; vale a dire il circuito compreso tra il test point C1 ed il connettore di uscita dell'Up-Converter. Prima di essere tarato, il filtro dell'Up-Converter ha una risposta in frequenza inadatta alla funzione di filtraggio che deve svolgere, questo perché le bobine che compongono le induttanze in aria non sono disposte in modo corretto e non hanno una forma che permetta loro di assumere il valore di induttanza adatto. Per ottenere la risposta in frequenza desiderata dal filtro, l'operatore deve modificare sia la forma delle bobine (stirando le spire), sia la loro posizione. Con il network analyzer si controlla in tempo reale ogni cambiamento della risposta in frequenza dello strumento durante le operazioni di taratura.

Per poter riprodurre in ogni Up-Converter la medesima risposta in frequenza del filtro, si devono fissare dei punti (frequenza, livello) che descrivono i limiti entro i quali deve trovarsi il valore di S21 o S11 misurato dal network Analyzer. Con l'interfacciamento dello strumento di misura al PC l'operazione di controllo è fatta automaticamente attraverso il programma LabView.

L'operazione di taratura del filtro è eseguita in tre passi sintonizzando e tarando il filtro dell'Up-Converter a fine (Ch 69 858 MHz) centro (Ch 45 666 MHz) ed inizio (Ch 21 474 MHz) banda, utilizzando la scheda madre comandata dal PC per modificare la sintonia del filtro stesso. Per ogni canale si effettuano le correzioni del caso alla disposizione dei componenti e alla loro forma; una volta che per tutti e tre i canali vengono rispettati i limiti imposti dalle maschere, la taratura è conclusa e si può passare alla successiva fase di collaudo.

La procedura di taratura è rappresentata nello schema a blocchi di figura 3.20 e 3.21.

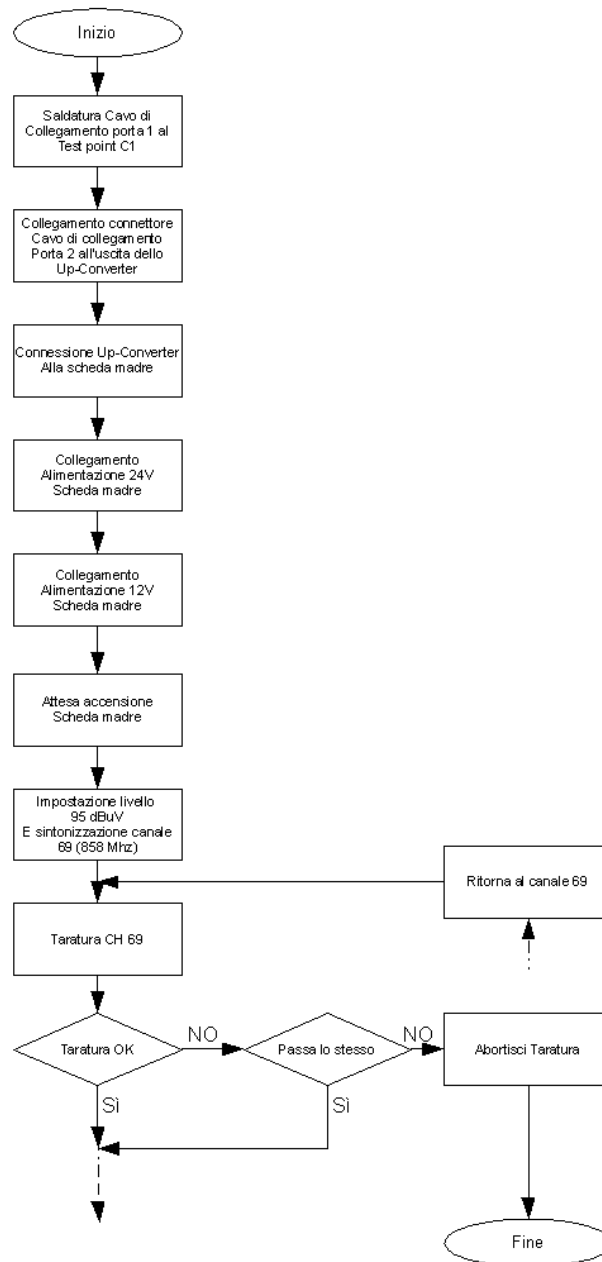


Figura 3.20. Diagramma della procedura di esecuzione della prova 3, 1 di 2

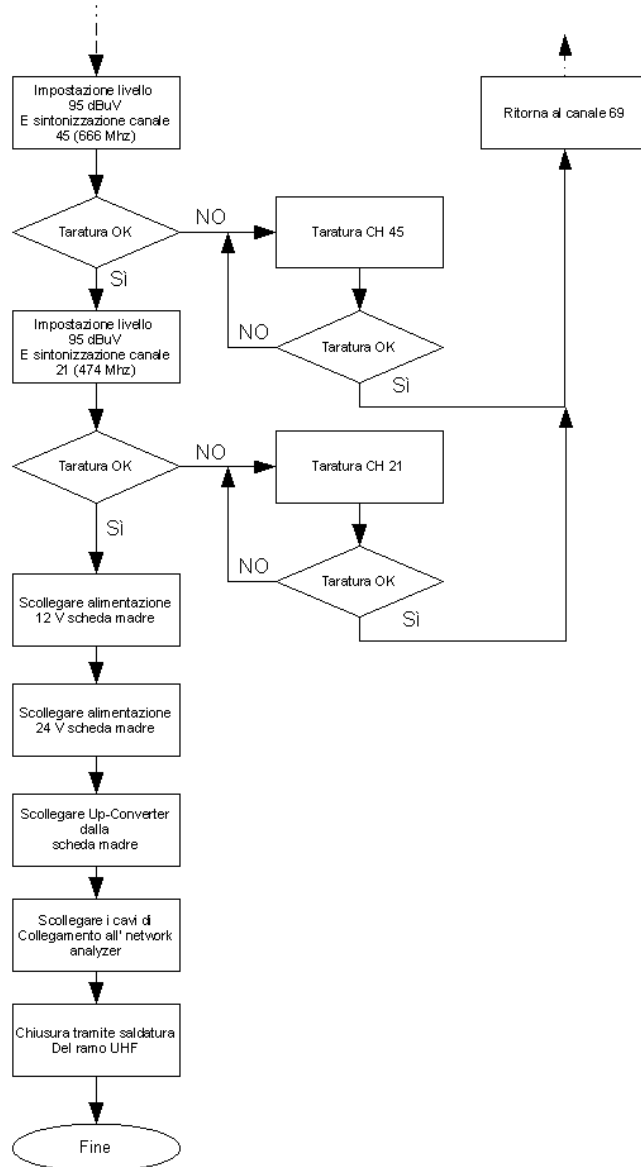


Figura 3.21. Diagramma della procedura di esecuzione della prova 3, 2 di 2

I limiti e le maschere utilizzati per la taratura dei filtri nella prova 3 sono riportati di seguito.

Taratura Canale 69 (858 MHz)

Maschera S21 canale 69.

Impostazioni scheda madre:

- livello 95 dB μ V.
- frequenza 858 MHz.
- larghezza canale 8 MHz.

Guadagno a 858 MHz:

- minimo: 8 dB.
- Massimo: 10 dB

Frequenza (MHz)	Maschera Superiore (Differenza di livello in dB dalla misura del guadagno a 858 MHz)	Maschera Inferiore (Differenza di livello in dB dalla misura del guadagno a 858 MHz)
100	-64,5	min
354	-52,5	min
698	-34,5	min
738	-42,5	min
798	-17,5	min
818	-9,5	min
838	-2	min
854	0,5	0
862	0,5	0
878	0,5	min
978	-29,5	min

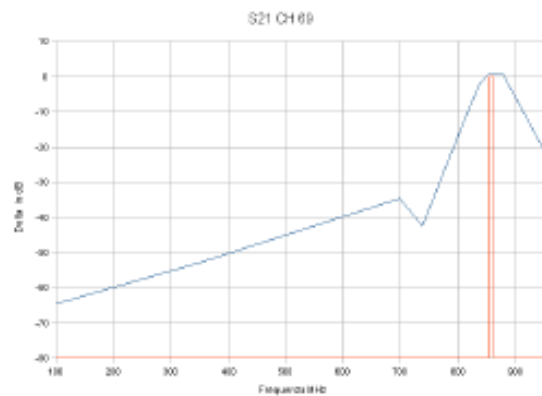


Figura 3.22. Maschera S21 taratura filtro al canale 69

Maschera S11 canale 69.
Impostazioni scheda madre:

- livello 95 dB μ V.
- frequenza 858 MHz.
- larghezza canale 8 MHz.

Frequenza (Mhz)	Maschera Superiore (Differenza di livello in dB dalla misura del livello a 858 Mhz)
854	0
858	-13
862	0

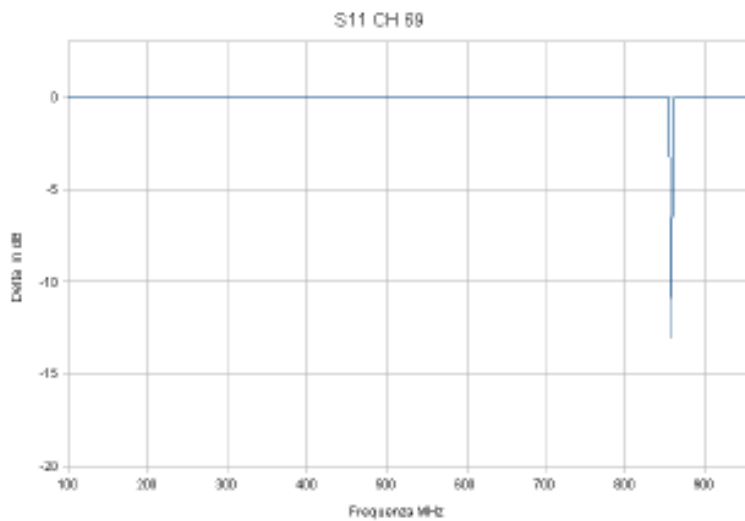


Figura 3.23. Maschera S11 taratura filtro al canale 69

Taratura Canale 45 (666 MHz)

Maschera S21 canale 45.

Impostazioni scheda madre:

- livello 95 dB μ V.
- frequenza 666 MHz.
- larghezza canale 8 MHz.

Guadagno a 666 MHz:

- minimo: 8 dB.
- Massimo: 10 dB

Frequenza (Mhz)	Maschera Superiore (Differenza di livello in dB dalla misura del guadagno a 658 Mhz)	Maschera Inferiore (Differenza di livello in dB dalla misura del guadagno a 658 Mhz)
100	-64,5	min
354	-52,5	min
666	-34,5	min
738	-42,5	min
798	-17,5	min
818	-9,5	min
838	-2	min
854	0,5	0
862	0,5	0
878	0,5	min
978	-29,5	min

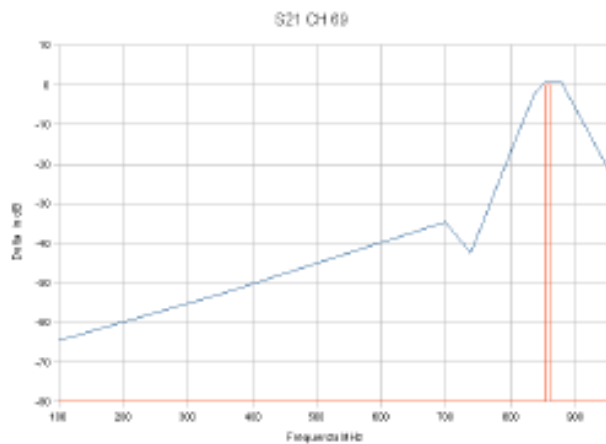


Figura 3.24. Maschera S21 taratura filtro al canale 45

Maschera S11 canale 45.
Impostazioni scheda madre:

- livello $95 \text{ dB}\mu\text{V}$.
- frequenza 666 MHz.
- larghezza canale 8 MHz.

Frequenza (MHz)	Maschera Superiore (Differenza di livello in dB dalla misura del livello a 666 MHz)
662	0
666	-10
670	0

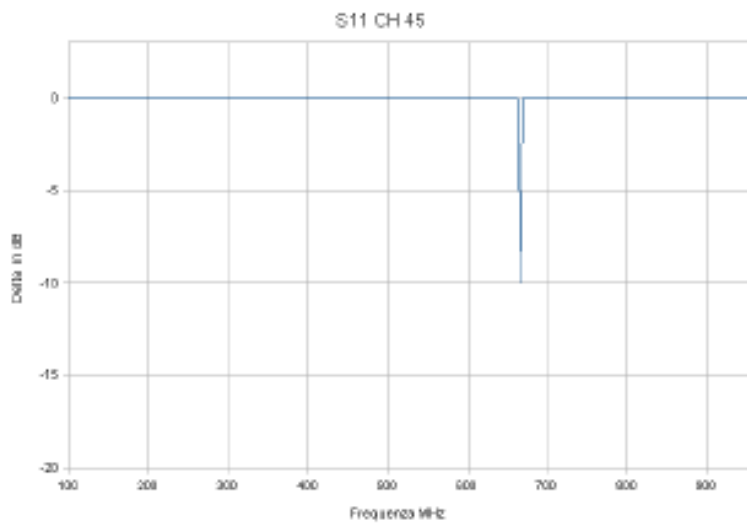


Figura 3.25. Maschera S11 taratura filtro al canale 45

Taratura Canale 21 (474 MHz)

Maschera S21 canale 21.

Impostazioni scheda madre:

- livello 95 dB μ V.
- frequenza 474 MHz.
- larghezza canale 8 MHz.

Guadagno a 474 MHz:

- minimo: 7.5 dB.
- Massimo: 10 dB

Frequenza (Mhz)	Manchera Superiore (Differenza di livello in dB dalla misura del guadagno a 474 Mhz)	Manchera Inferiore (Differenza di livello in dB dalla misura del guadagno a 474 Mhz)
100	-64,5	min
354	-34,5	min
414	-12,5	min
434	-5,5	min
454	-0,5	min
470	0,2	-0,3
478	0,2	-0,3
494	0,5	min
504	0,3	min
524	-1,5	min
534	-3,5	min
554	-9,5	min
594	-19,5	min

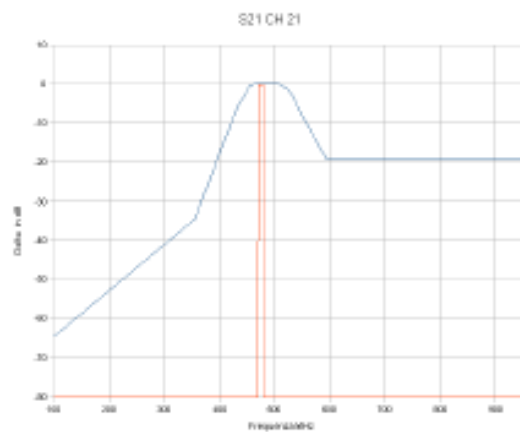


Figura 3.26. Maschera S21 taratura filtro al canale 21

Maschera S11 canale 21.
Impostazioni scheda madre:

- livello 95 dBuV.
- frequenza 474 MHz.
- larghezza canale 8 MHz.

Frequenza (Mhz)	Maschera Superiore (Differenza di livello in dB dalla misura del livello a 474 Mhz)
470	0
474	-7
478	0

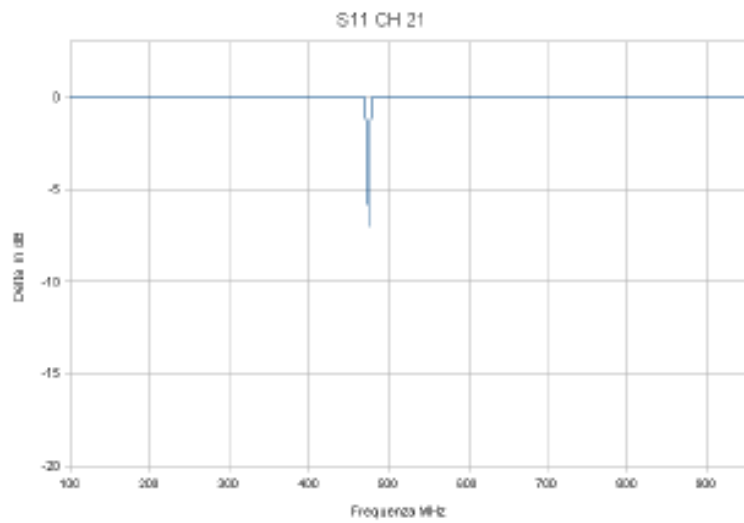


Figura 3.27. Maschera S11 taratura filtro al canale 21

3.5.4 VI prova di collaudo 3

Per realizzare la prova 3 sono utilizzati tre VI che permettono di eseguire le operazioni di taratura dell'Up-Converter.

- Fase_Controllo_Up_Converter.vi
- Fase_Analisi_Param_Scattering_e_abort.vi
- Fase_Analisi_Param_Scattering.vi

Il primo VI, già descritto nel paragrafo 3.5.2, gestisce il comando della scheda madre e quindi la sintonia tramite software del filtro dell'Up-Converter.

Gli altri due programmi permettono di effettuare la misura dei parametri di scattering per assistere l'operatore durante le operazioni di taratura.

Fase analisi parametri di scattering

I due VI che eseguono la verifica del rispetto dei limiti dei parametri di scattering permettono di svolgere per ciascun canale l'acquisizione dei dati di misura dall'analizzatore di reti, il confronto con i limiti imposti dalle maschere e se questi sono stati rispettati viene mostrato a video un messaggio di conferma positiva. La differenza tra "Fase_Analisi_Param_Scattering_e_abort.vi" e "Fase_Analisi_Param_Scattering.vi" consiste nelle funzioni messe a disposizione dai due programmi. Fase_Analisi_Param_Scattering_e_abort.vi è utilizzato per effettuare la taratura del filtro al canale 69 e permette all'operatore di abortire l'operazione di taratura saltando alla fase di collaudo successiva (prova 4). Fase_Analisi_Param_Scattering.vi, invece, non permette di abortire l'operazione di taratura ed esegue un controllo sullo stato della taratura del filtro durante l'operazione di taratura, per questo se il filtro è stato tarato al canale 69 ed ha superato il test di controllo tramite maschera al canale 69, il programma passa al controllo del canale 45. Se il controllo ha esito positivo si passa automaticamente al controllo sul canale 21. Se durante l'operazione di controllo al canale 45 c'è un momento in cui i limiti non vengono rispettati, il VI Fase_Analisi_Param_Scattering.vi memorizza questa condizione di errore ed automaticamente effettua un nuovo controllo al canale 69. Lo stesso vale per la taratura al canale 21.

In entrambi i programmi viene effettuato il controllo contemporaneo sia del S21 che del S11 misurati dal network Analyzer.

3.5.5 Procedura prova di collaudo 4

La quarta prova prevede il collaudo del ramo UHF dopo aver tarato i filtri sintonizzabili che lo compongono. In particolare con il collaudo del ramo UHF si verifica il corretto funzionamento del MIXER. Per fare questa verifica si devono effettuare tre misure distinte in tre punti precisi dello spettro per ogni canale analizzato.

Per prima viene eseguita una misura di livello di potenza di canale sul segnale in uscita dall'Up-Converter. Questa misura è la stessa effettuata nella prova 2. Successivamente si provvede ad effettuare una misura di picco in prossimità del residuo dell'oscillatore locale che si trova a meno 120 MHz rispetto al centro canale. Ed in fine si effettua una nuova misura di livello di potenza di canale in corrispondenza dello spettro della frequenza immagine che è situata a meno 240 MHz rispetto al centro canale.

Ottenute queste tre misure si effettuano i confronti con i limiti previsti in fase di progetto e dalle normative, in particolare per la misura di livello di canale si effettua un confronto con i limiti assoluti predisposti dal progettista, per le altre due misure si va a valutare la differenza relativa tra le misure assolute riscontrate: in particolare si valuta la differenza in dB tra il livello di potenza di canale ed il livello di picco dell'oscillatore locale, e tra il livello di potenza di canale ed il livello di potenza di canale della frequenza immagine.

La prova prevede di eseguire la misura in tre punti della banda UHF, precisamente fine CH E69 (858 MHz) centro CH E45 (666 MHz) ed inizio banda CH E21 (474 MHz). Per ciascun canale viene analizzato solo il caso in cui il livello di uscita del segnale dell'Up-Converter è massimo, questo perché non ha senso effettuare nuovamente la prova con vari livelli per verificare il corretto funzionamento dell'attenuatore programmabile visto che è già stato controllato nella prova 2.

STEP	Frequenza MHz	Ch BW MHz	Livello dBuV	Liv min dBuV	Liv Max dBuV	Freq osc MHz	Delta min dB	Freq im. MHz	Ch BW im MHz	Delta min dB
CH E69	858	8	95	93	97	738	60	618	8	45
CH E45	666	8	85	83	87	546	60	426	8	45
CH E21	474	8	75	73	77	354	60	234	8	45

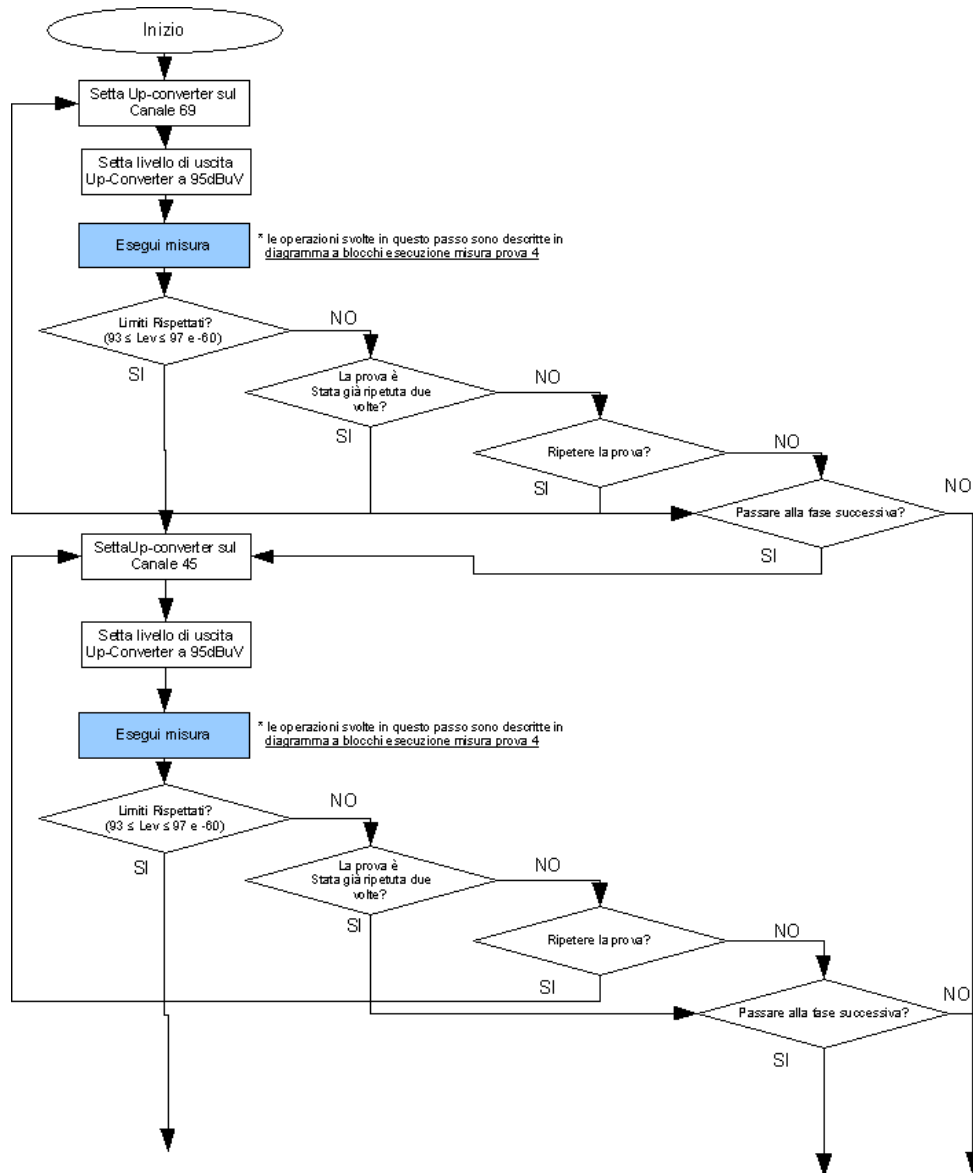


Figura 3.28. Diagramma della procedura di esecuzione della prova 4, 1 di 2

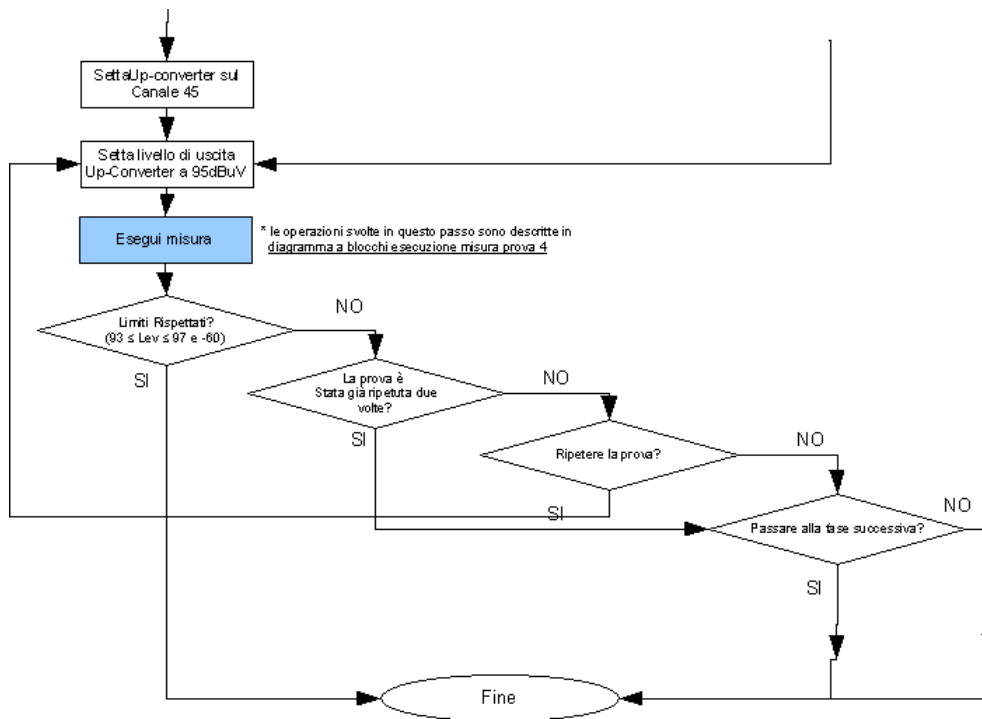


Figura 3.29. Diagramma della procedura di esecuzione della prova 4, 1 di 2

3.5.6 VI prova di collaudo 4

Per realizzare la prova 2 sono utilizzati due VI che permettono di eseguire il collaudo del ramo VHF e dell'attenuatore programmabile.

- Fase_Controllo_Up_Converter.vi
- Fase_Misura_Livello_Output_UCNV_osc_loc.vi

Il primo VI già descritto nel paragrafo 3.5.2 si occupa della gestione della scheda madre, nonché il comando dell'attenuatore programmabile. Il secondo VI gestisce l'analizzatore di spettro per effettuare la misura.

Fase misura livello output UPCNV OSC LOC

Il VI che esegue la verifica del rispetto dei limiti delle potenze di uscita, permette di effettuare sia il setup che l'acquisizione dei dati relativi alla misura effettuata con l'analizzatore di spettro oltre che il controllo del rispetto dei limiti. Se non è rispettato uno solo dei limiti, massimo o minimo, viene mostrato a video un messaggio di errore che descrive l'anomalia riscontrata.

Il funzionamento del VI che realizza la misura è riassunto nello schema a blocchi di figura 3.30 e 3.31.

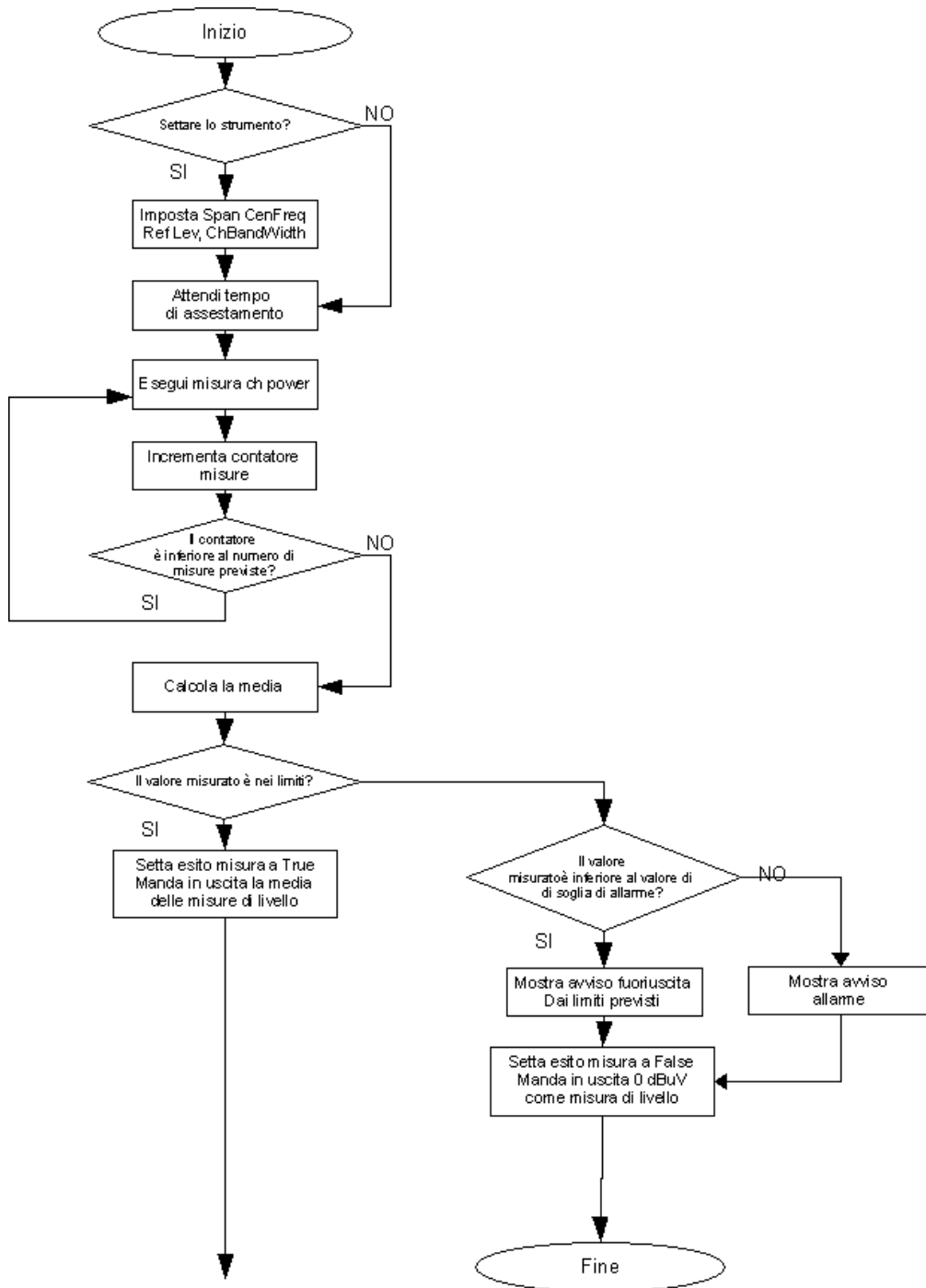


Figura 3.30. Diagramma della singola misura svolta nella prova 4, 1 di 2

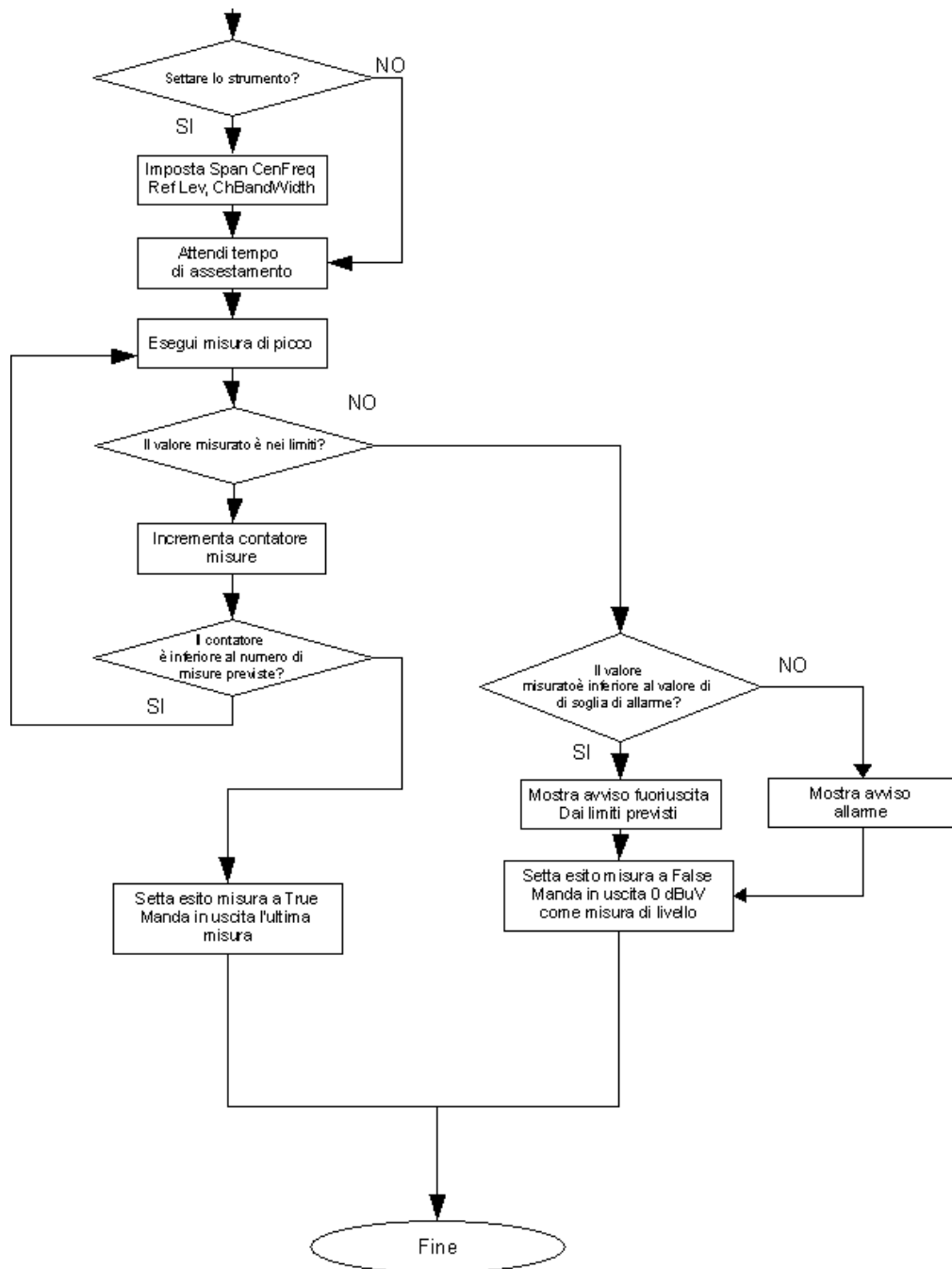


Figura 3.31. Diagramma della singola misura svolta nella prova 4, 2 di 2

3.5.7 Procedura prova di collaudo 5

La quinta prova prevede la verifica dell'assenza di spurie nello spettro del segnale di uscita dell'Up-Converter. Questa verifica viene svolta effettuando una misura dello spettro in full span. Effettuata questa misura viene confrontato il grafico ottenuto con una maschera di controllo come nella prova 3.

Se non vi sono anomalie nello spettro, cioè la traccia ricavata dalla misura con lo spettrometro è interamente contenuta all'interno della maschera, la prova è superata. La procedura utilizzata dal programma di controllo è riportata nello schema a blocchi di figura 3.33.

Frequenza (MHz)	Maschera Superiore (Differenza di livello in dB dalla misura del guadagno a 858 MHz)	Maschera Inferiore (Differenza di livello in dB dalla misura del guadagno a 858 MHz)
30	-40	-65
610	-40	-65
848	-40	-65
849	0	-65
858	0	-65
867	0	-65
868	-40	-65
1000	-40	-65

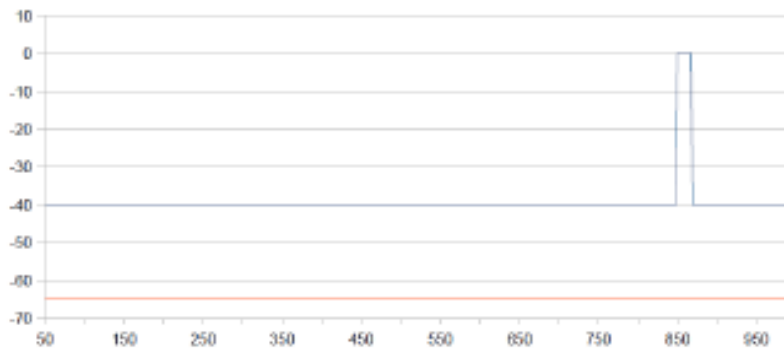


Figura 3.32. Maschera controllo spurie

3.5.8 VI prova di collaudo 5

Per realizzare la prova 5 sono stati utilizzati due VI che permettono di eseguire il collaudo del ramo VHF e dell'attenuatore programmabile.

- Fase_Controllo_Up_Converter.vi
- Fase_Analisi_Spurie_in_Full_Span.vi

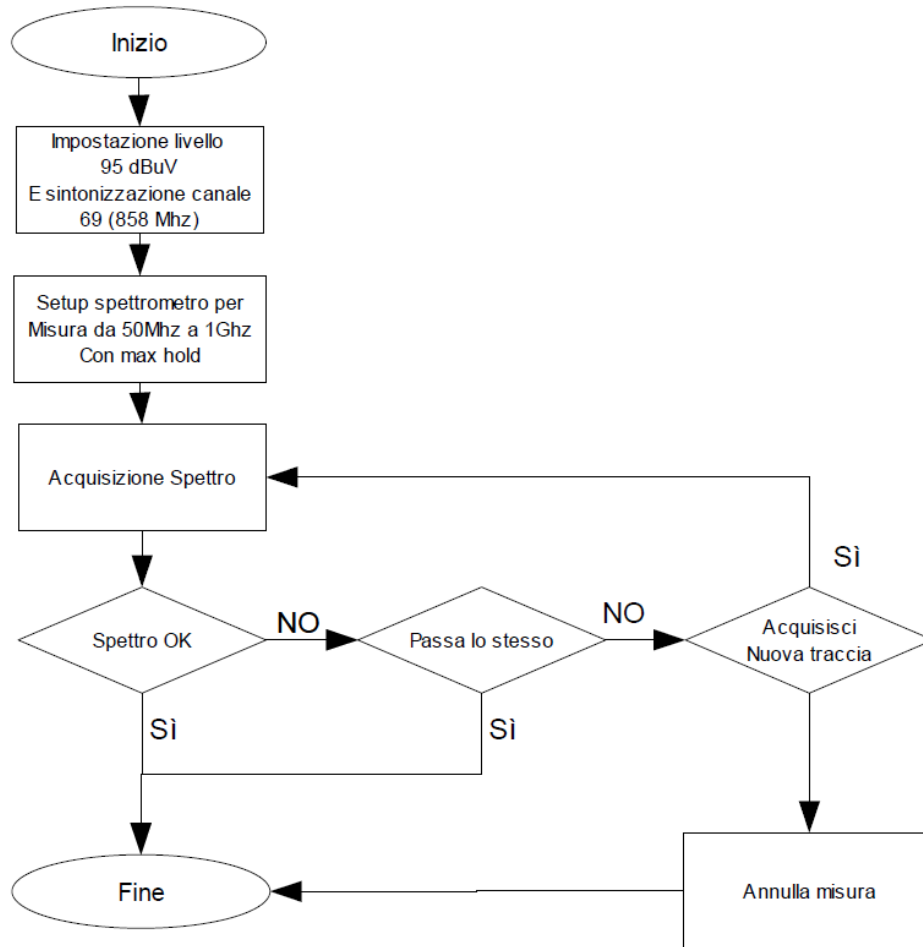


Figura 3.33. Diagramma della procedura di esecuzione della prova 5

Il primo VI gestisce il comando della scheda madre ed è lo stesso utilizzato nelle prove precedenti. Il secondo VI, creato appositamente, gestisce l'analizzatore di spettro per effettuare la misura.

Fase Analisi Spurie in FULL SPAN

Questo VI esegue l'acquisizione della traccia dello spettro del segnale emesso in uscita dall'Up-Converter ed effettua la verifica del rispetto dei limiti utilizzando una maschera che stabilisce il range di valori entro i quali deve essere contenuto lo spettro rilevato.

Capitolo 4

Scheda Switch

Introduzione

Per poter svolgere in modo completamente automatico tutte le operazioni di commutazione dei contatti nella prova di misura degli assorbimenti è stato necessario realizzare un'apposita scheda switch. La scheda realizzata viene comandata completamente dal PC tramite la porta parallela e rende molto più veloce e sicura la prima fase di collaudo dell'Up-Converter.

4.1 Comando delle porte fisiche del pc con LabView

La scheda switch è comandata dalla porta parallela del Pc del banco di collaudo. Sarà esposto in questo paragrafo come, attraverso LabView, si possa accedere direttamente alle risorse di I/O mediante l'accesso diretto alle locazioni di memoria utilizzando le subVI Port In e Port Out.

La porta parallela utilizza un range di indirizzi per la comunicazione con la CPU. Nelle configurazioni standard di sistema gli indirizzi in questione, espressi in notazione esadecimale, sono:

- 38C, 380, 38E;
- 378, 379, 37A;
- 278, 279, 27A;

Per ciascuno dei tre gruppi, il primo indirizzo rappresenta "l'indirizzo base" (Data Register); il secondo "il registro di stato"; il terzo "il registro di controllo".

Il connettore della porta parallela è costituito da un connettore femmina DB25 posto sul retro del pc la cui piedinatura è riportata nell'immagine di figura 4.1.

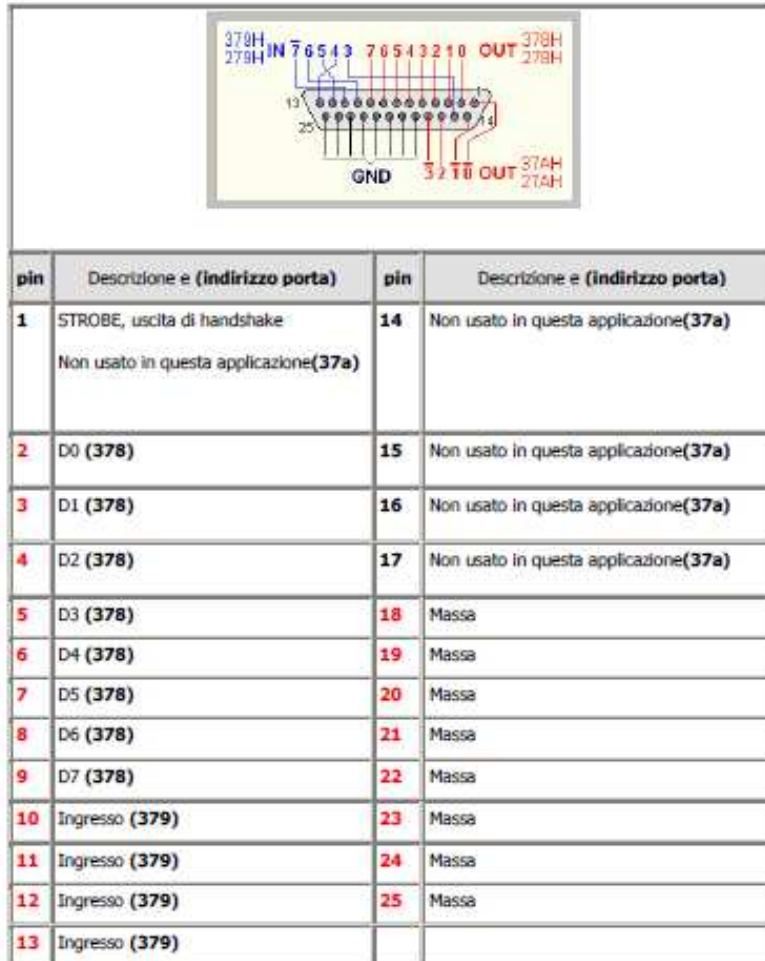


Figura 4.1. Dettaglio piedinatura porta parallela

4.1.1 L'utilizzo di LabView per comandare la porta parallela

In LabView, è possibile accedere all'interfaccia parallela utilizzando l'accesso diretto all'indirizzo di memoria della porta tramite i VI Advanced Port In e Port Out. Questi VI sono disponibili nelle librerie standard di LabView e permettono di scrivere e leggere un Byte nel prescelto indirizzo di memoria. I VI che svolgono questa funzione sono disponibili nella paletta delle funzioni di LabView al menù Advanced - Port I/O.

Nella nostra applicazione si è fatto uso del solo VI che permette la scrittura dei dati sulla porta parallela. La scrittura dei dati sul registro prescelto avviene imponendo all'ingresso "Write Value" del VI Port Out il valore binario che si vuol far assumere agli otto pin di uscita della porta parallela, dopo aver indicato l'indirizzo di memoria fisica su cui la funzione deve operare.

Come risultato della locazione di memoria, si ha un valore di voltaggio di 5 V in corrispondenza di ciascun bit posto ad uno dalla funzione di scrittura Port Out. Con questa tensione si potranno quindi comandare i contatti presenti sulla scheda di test.

4.2 Schema scheda

La scheda switch utilizzata nella prima prova di collaudo, è stata realizzata su un PCB millefori. Il circuito è composto da otto sottocircuiti uguali ciascuno dei quali è comandato da un pin della porta parallela.

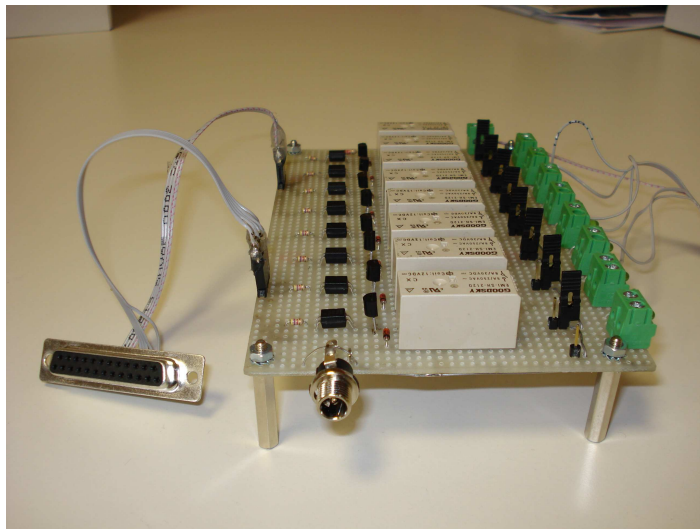


Figura 4.2. Foto della scheda switch realizzata

Ciascuno degli otto circuiti presenti sulla scheda di collaudo, è costituito da una parte di comando e da una parte di potenza. La parte di comando è collegata alla

porta parallela tramite un connettore DB25. Per isolare il circuito di comando dal circuito di potenza si utilizza un optoisolatore che permette il controllo dei transistor di comando dei relé senza il rischio di danneggiare la porta parallela presente sul PC.

La porta parallela del PC, a differenza della porta seriale, è una connessione molto delicata. Lo standard di funzionamento della porta parallela prevede il comando delle apparecchiature ad essa collegate con un controllo in tensione, per questo il circuito a monte del connettore parallelo del PC non è in grado di fornire più di qualche milliampere di corrente in uscita.

Per non sovraccaricare la porta parallela è stata posta una resistenza da 4.7 k Ω prima dell'optoisolatore così da limitare a circa 1 mA la corrente di uscita dalla porta parallela.

La parte di potenza del circuito è costituita da un relé da 12 V ed un transistor

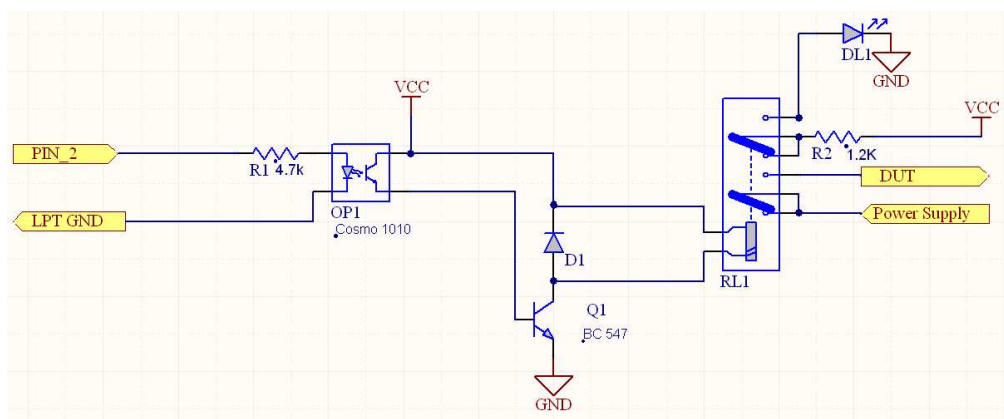


Figura 4.3. Schema del circuito di un ramo della scheda

NPN di comando. Il transistor viene attivato dalla corrente proveniente in uscita dall'optoisolatore ed a sua volta fa commutare il relé permettendo lo scorrimento della corrente attraverso la bobina. Per permettere la chiusura della corrente di comando in fase di spegnimento del relé è stato posto in senso antiparallelo alla bobina un diodo.

L'alimentazione della scheda è data da un alimentatore switching impostato a 12 V e 200 mA.

4.2.1 Realizzazione su millefori

La decisione di realizzare la scheda su di una millefori è dipesa dal fatto di poter disporre in tempi brevi della scheda di test. Essendo il circuito funzionante in corrente continua e non presentando nessuna difficoltà realizzativa, la soluzione di realizzare la scheda su millefori si è rivelata la più veloce.

4.3 Considerazioni sul funzionamento della scheda

4.3.1 Pregi

La scheda permette di compiere il collaudo in modo sicuro ed affidabile. Oltre a questo, un pregio dell'introduzione della scheda nella prova di collaudo 1 è la riduzione notevole dei tempi di test che si sono ridotti a circa un quinto rispetto al collaudo manuale.

Un'ultima considerazione consiste poi nel fatto che utilizzando la scheda di commutazione l'operazione di collaudo può essere svolta da personale non specializzato riducendo anche le risorse umane necessarie.

4.3.2 Difetti e punti da migliorare

Uno dei difetti principali della scheda realizzata, consiste nell'assenza del connettore di collegamento per l'Up-Converter sulla scheda e quindi è necessario avere una piattina per poter collegare il connettore montato su di un'altro supporto, alla scheda.

Un secondo punto di miglioramento consiste nell'introdurre un controllo hardware delle tensioni applicate ai singoli pin dell'Up-Converter così da prevenire eventuali danneggiamenti dell'oggetto sotto test causati da un'errata applicazione delle tensioni.

Ultimo punto di miglioramento consiste nella realizzazione di uno switch a radiofrequenza che permetta l'utilizzo della scheda come commutatore automatico nelle prove di collaudo a radiofrequenza.

4.4 Progetto scheda con protezione sovratensioni e switch radiofrequenza

Dalle considerazioni fatte nel paragrafo 4.3.2, è stata sviluppata una prima fase di progetto di una nuova scheda che permette di apportare le modifiche necessarie a migliorare i difetti riscontrati nella prima versione della scheda.

Gli obiettivi che si vogliono raggiungere sono:

- realizzazione della protezione da sovratensioni;
- realizzazione di uno switch a radiofrequenza;
- ottimizzazione del circuito per diminuire le dimensioni della scheda.

4.4.1 Blocco switch tensione continua

Il circuito che realizza lo switch di tensione è ripreso uguale al circuito utilizzato nella prima versione della scheda. Si utilizzeranno gli stessi componenti per quan-

to riguarda la connessione con la porta parallela, l'isolamento optoelettronico ed il comando del relé. Una modifica verrà introdotta nella parte di circuito che connette l'optoisolatore con il transistor di comando del relé dove verrà introdotta una porta AND che garantirà l'accensione del contatto solo in presenza sia del segnale di accensione proveniente dalla porta parallela, sia del segnale di controllo proveniente dal blocco di protezione dalle sovratensioni descritte nel paragrafo 4.4.2.

4.4.2 Blocco protezione da sovratensioni

Il blocco di protezione dalle sovratensioni è possibile realizzarlo utilizzando un comparatore che può essere costituito da un semplice operazionale non retroazionato. Il comparatore avrà come ingressi la tensione erogata in quel momento dall'alimentatore programmabile e la tensione di riferimento generata da un regolatore di tensione dall'alimentazione della scheda. I segnali comparati faranno sì che l'uscita del comparatore sia posta ad un livello alto se la tensione imposta dall'alimentatore programmabile è corretta. Se la tensione è maggiore di quella generata dal riferimento l'uscita del comparatore sarà bassa. L'uscita del comparatore andrà quindi logicamente sommata al comando della porta parallela mediante la porta AND descritta al paragrafo 4.4.1.

4.4.3 Blocco switch radiofrequenza

Lo switch a radiofrequenza è la parte di circuito più difficile da realizzare. Una sua possibile implementazione potrebbe prevedere la realizzazione di un partitore di segnale comandato mediante dei diodi pin i quali impediscono il passaggio del segnale se ai loro capi non è applicata una tensione positiva. Con questo metodo realizzativo è possibile ottenere un circuito a radiofrequenza che riduce al minimo i problemi di adattamento delle linee.

Il comando di questo switch sarà attuato da un relé che alternativamente conetterà la tensione di alimentazione della scheda prima ad un ramo poi ad un'altro del circuito a radiofrequenza per permetterne l'attivazione.

Capitolo 5

Conclusioni e sviluppi futuri

5.1 Risultati ottenuti

Il sistema di test realizzato permette l'implementazione semiautomatica del collaudo di un prodotto complesso qual'è l'Up-Converter.

Utilizzando il software sviluppato in ambiente LabView si garantisce la ripetibilità delle caratteristiche di funzionamento di tutti gli Up-Converter prodotti. Si fa in particolare riferimento ai risultati ottenuti nella prova 3 dove si effettua la taratura dei filtri sintonizzabili con l'ausilio delle maschere di controllo. Anche nelle altre prove di collaudo l'utilizzo del software permette di scongiurare sviste ed errori di valutazione che possono avvenire durante il collaudo rendendo completamente automatico il controllo del rispetto dei limiti.

Un ulteriore risultato, consiste nella velocizzazione delle operazioni di collaudo e quindi l'aumento della produzione di questo prodotto riducendo sensibilmente i costi rispetto al processo di collaudo manuale.

La realizzazione di un banco di test per un prodotto così complesso ha permesso di evidenziare pregi e difetti del software di collaudo oggi utilizzato in azienda permettendo di focalizzare i punti critici di funzionamento che possono essere migliorati. Inoltre ha messo in luce le caratteristiche valide che devono essere trasportate in un eventuale nuovo sistema di collaudo automatico.

5.2 Sviluppi futuri

Il lavoro di tesi svolto offre degli spunti di miglioramento che potranno essere sviluppati in un prossimo futuro.

Come lasciato intuire nel capitolo 4, un primo punto da completare è il progetto della scheda switch, in modo da permettere l'implementazione del controllo di tensione e l'integrazione dello switch a radiofrequenza. Fatto questo, sarà necessario ottimizzare la procedura di collaudo modificando la sequenza di istruzioni nel database per permettere l'utilizzo della nuova scheda anche nelle altre prove di collaudo

a radiofrequenza.

Un'ulteriore sviluppo del lavoro potrebbe prevedere la creazione di un nuovo programma di test che realizzi le operazioni di collaudo in modo da rispettare le norme in materia di gestione della qualità al fine di ottenere le certificazioni dagli enti preposti.

5.3 Miglioramento programma LabView

Il programma di collaudo con il quale è stato sviluppato il banco di test prevede un funzionamento stand alone e quindi il database di gestione e di registrazione non è localizzato in un unico server ma viene copiato di volta in volta nei computer dei banchi di collaudo.

Una gestione razionale del sistema di collaudo potrebbe prevedere la centralizzazione del database su di un server comune dal quale ogni postazione può attingere i dati necessari alle operazioni di collaudo e sul quale si possono registrare i dati di misura ricavati.

Si potrebbero quindi realizzare due database distinti, il primo adibito al solo funzionamento del sistema di collaudo, un secondo utilizzato per registrare i soli dati sensibili al fine della creazione del sistema di gestione della qualità in fase di collaudo.

5.4 Progetto e sviluppo di un sistema di controllo della qualità

Un sistema di gestione della qualità prevede il rispetto di tutte le norme atte a garantire il consumatore finale circa il rispetto delle caratteristiche dichiarate dal produttore.

Per fare questo sarà necessario operare in regime di qualità, garantendo la massima uniformità delle apparecchiature prodotte. Si dovranno inoltre registrare i dati relativi alle verifiche effettuate così da certificare il corretto funzionamento all'origine del prodotto.

La realizzazione di un tale sistema necessita la conoscenza accurata delle norme di riferimento in materia di qualità. Su queste basi teoriche si dovrà quindi realizzare un sistema automatico che permetta di controllare il collaudo in tutte le sue fasi.

Parte II

Appendici

Capitolo 6

Appendice A: Strumentazione di laboratorio

Introduzione

In questa appendice sono descritti gli strumenti di laboratorio usati per allestire il sistema di test. Sono messe in risalto le funzionalità principali di tali strumenti e talvolta sono approfondite alcune caratteristiche particolari utilizzate nel banco di collaudo.

6.1 Analizzatore di spettro

Un generico segnale, nel settore dell'elettronica, è fisicamente disponibile nel dominio del tempo come una tensione oppure una corrente, o ancora un campo elettrico. Dalla rappresentazione nel dominio del tempo si possono dedurre molte caratteristiche del segnale stesso, quali possono essere il tipo di forma d'onda, il valore di picco, un'eventuale periodicità, ecc. Per valutare l'andamento temporale di un segnale elettrico è necessario utilizzare un oscilloscopio, cioè uno strumento di laboratorio che permette la rappresentazione su di uno schermo dell'andamento temporale del segnale. Dall'analisi della rappresentazione nel dominio del tempo del segnale non è tuttavia semplice dedurre parametri quali possono essere la composizione spettrale. In questi casi, è dunque necessario disporre di una rappresentazione nel dominio della frequenza del segnale stesso. Si opera quindi una trasformazione del segnale a partire dalla rappresentazione nel tempo per ottenere una nuova rappresentazione nel dominio della frequenza (vedi figura 6.1).

Se è necessario analizzare bande del segnale di ingresso che si estendono da pochi Hertz per arrivare ai GHz e oltre, sarà necessario ricorrere ad un *analizzatore di spettro*, il cui funzionamento è basato su un'architettura a *supereterodina*. Va sottolineato che un analizzatore di spettro non fornisce tutti i parametri per avere una perfetta corrispondenza fra la rappresentazione nel dominio del tempo e quello

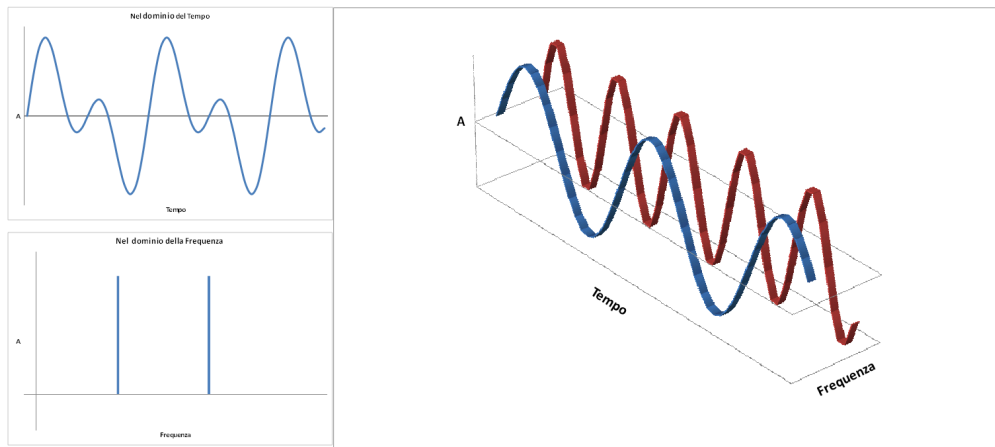


Figura 6.1. Rappresentazioni di un segnale nel dominio del tempo e frequenza

della frequenza, per questo motivo quindi non è possibile risalire alla forma d'onda iniziale basandosi sui risultati ottenuti dall'analisi svolta con questo strumento.

6.1.1 Struttura generale di un analizzatore di spettro

Un analizzatore di spettro con architettura a supereterodina si compone dei blocchi raffigurati nello schema di figura 6.2. Il blocco principale di questo strumento è

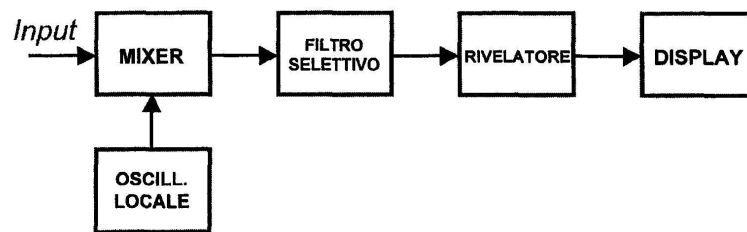


Figura 6.2. Schema a blocchi di un analizzatore di spettro

rappresentato dal *mixer* che permette di ottenere una traslazione in frequenza di tutta la banda del segnale analizzato. Questa traslazione non è fissa, ma variabile, ed è dovuta alla variazione di frequenza del segnale generato dall'*oscillatore locale*.

Il segnale in uscita dal mixer viene quindi inviato ad un *filtro selettivo* a frequenza fissa caratterizzato dall'aver una banda passante molto stretta. Grazie alla traslazione in frequenza operata dal mixer ed al filtraggio operato dal filtro selettivo, al *rivelatore* viene inviato di volta in volta una piccola parte della banda di frequenza del segnale originario, in questo modo è possibile valutare l'ampiezza di ogni singola componente spettrale del segnale iniziale.

Il Mixer

Negli analizzatori di spettro con struttura a supereterodina la traslazione in frequenza è svolta da un mixer. Il blocco del mixer si compone di due ingressi ed un'uscita. Ad un ingresso si applica il segnale da analizzare, al secondo ingresso

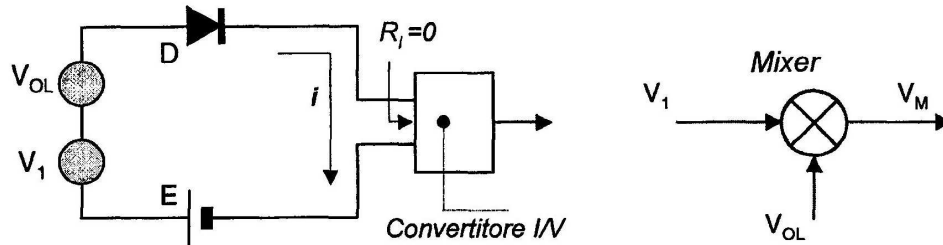


Figura 6.3. Schema a blocchi di un mixer

si applica un segnale sinusoidale generato dall'oscillatore locale. Questo secondo segnale è caratterizzato dall'aver un'ampiezza costante ed una frequenza che varia linearmente entro due estremi che possono essere fissati dall'operatore. Il segnale all'uscita del mixer contiene componenti spettrali con frequenze date dalla combinazione delle frequenze dei due segnali di ingresso.

I segnali in ingresso sono, nel caso più semplice, onde sinusoidali di tensione, rappresentabili come

$$v_i(t) = A_i \sin 2\pi f_i t \quad (6.1)$$

dove A_i rappresenta l'ampiezza, f_i una frequenza e t rappresenta il tempo. Un modo abbastanza comune di sottrarre e sommare le frequenze è moltiplicare tra loro i due segnali; usando l'identità trigonometrica

$$\sin(A) \cdot \sin(B) = \frac{1}{2} [\cos(A - B) - \cos(A + B)] \quad (6.2)$$

applicando questo ai segnali 6.1 si ottiene

$$v_1(t) \cdot v_2(t) = \frac{A_1 \cdot A_2}{2} [\cos(2\pi(f_1 - f_2)t) - \cos(2\pi(f_1 + f_2)t)] \quad (6.3)$$

dove appaiono la frequenza somma ($f_1 + f_2$) e differenza ($f_1 - f_2$).

Esistono molti modi di moltiplicare delle tensioni, molti dei quali abbastanza sofisticati. Come esempio, può essere descritta una semplice tecnica che richiede l'utilizzo di un diodo. L'importanza dell'utilizzo del diodo risiede nella sua non linearità, questo implica che la sua uscita in corrente non è direttamente proporzionale al suo ingresso (tensione).

La corrente I che attraversa un diodo ideale in funzione della tensione V ai suoi capi è data da

$$I = I_s \left(e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1 \right) \quad (6.4)$$

dove è importante notare come V appaia all'esponente di e . L'esponenziale può essere sviluppato in Serie di Taylor

$$e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \quad (6.5)$$

e, per x molto piccolo (che corrisponde ad un'ampiezza di tensione piccola), può essere approssimato dai primi termini della serie:

$$e^x - 1 \approx x + \frac{x^2}{2} \quad (6.6)$$

Si supponga che la somma dei due segnali di ingresso $v_1 + v_2$ sia applicata al diodo, e che si generi una tensione di uscita proporzionale alla corrente che lo attraversa (ad esempio ponendo un resistore in serie al diodo). Allora, trascurando le costanti nell'equazione del diodo, la tensione in uscita ha la forma

$$v_0 = v_1 + v_2 + \frac{1}{2}(v_1 + v_2)^2 + \dots \quad (6.7)$$

Il primo termine a destra rappresenta i due segnali originali, come previsto, seguiti dal quadrato della somma, che può essere riscritta come

$$(v_1 + v_2)^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2(v_1 \cdot v_2) \quad (6.8)$$

dove è posto in evidenza il doppio prodotto. Da notare che le potenze di ordine superiore al secondo della somma delle tensioni sono trascurabili per piccoli segnali. Dato che ogni prodotto produce somma e differenza tra le frequenze, ci si aspetta che dal termine quadratico della serie derivino segnali a frequenza $2f_1$ e $2f_2$ da v_1^2 e v_2^2 , e $f_1 + f_2$ e $f_1 - f_2$ dal termine $v_1 v_2$. Spesso è verificato $f_1, f_2 \gg |f_1 - f_2|$, così che il segnale differenza ha una frequenza molto minore degli altri.

Gli altri termini della serie danno origine ad altri segnali molto attenuati a varie frequenze che sono considerati rumore rispetto al segnale desiderato; questi possono essere filtrati o tollerati fino ad un certo limite.

Il filtro selettivo

Un filtro selettivo ideale dovrebbe presentare una risposta in frequenza rettangolare avendo come caratteristiche:

1. attenuazione costante all'interno della banda passante;
2. attenuazione infinita nelle due bande oscure;
3. bande di transizione uguali a zero.

Un filtro con tali caratteristiche non è fisicamente realizzabile. I filtri selettivi presentano un andamento a "campana", con fronti più o meno ripidi a seconda del filtro. Per caratterizzare il filtro selettivo, i costruttori forniscono i seguenti parametri.

1. La *frequenza centrale* f_I , o *frequenza intermedia*. Il valore di questa frequenza varia a seconda del costruttore e del modello dell'analizzatore di spettro.
2. La *banda passante* B . Con questo parametro si intende l'intervallo di frequenze attorno alla frequenza centrale f_I , all'interno del quale l'ampiezza di un segnale subisce un'attenuazione inferiore ad una fissata quantità. I costruttori indicano talvolta i valori di banda passante in cui l'attenuazione è di $3dB$ con B_3 e con B_6 la banda passante in cui l'attenuazione non supera i $6dB$.
3. La *larghezza di banda* quando l'attenuazione è di $60dB$. Per frequenze esterne a questo intervallo si considera di essere nelle bande oscure laterali.

Spesso, anziché fornire le larghezze di banda a $3dB$ (o a $6dB$) e a $60dB$, si preferisce fornire una di esse, normalmente B_3 , e definire il rapporto $S_E = \frac{B_{60}}{B_3}$ che dà un'indicazione della selettività del filtro.

Per poter ottenere dei risultati validi, è necessario valutare attentamente quale de-

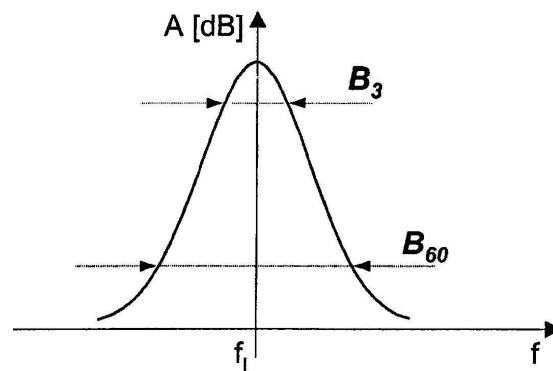


Figura 6.4. Risposta in frequenza di un filtro selettivo reale

ve essere il tempo di spazzolamento imposto all'oscillatore locale, in modo che una singola componente spettrale possa permanere all'interno di un filtro per un tempo superiore al transitorio per avere un'indicazione valida. Si deve quindi soddisfare la relazione:

$$T_S > k \frac{\Delta f}{B^2}. \quad (6.9)$$

Se la permanenza di una componente all'interno della banda del filtro è inferiore al transitorio, l'uscita non è valida. Un esempio di questo si trova in figura 6.5. La larghezza di banda del filtro selettivo influenza la rappresentazione della componente spettrale sullo schermo. In termini matematici l'uscita del filtro è la convoluzione fra il segnale di ingresso traslato dal mixer e la risposta impulsiva del filtro stesso. Dato che il segnale di ingresso non è sinusoidale, ma formato da un insieme di

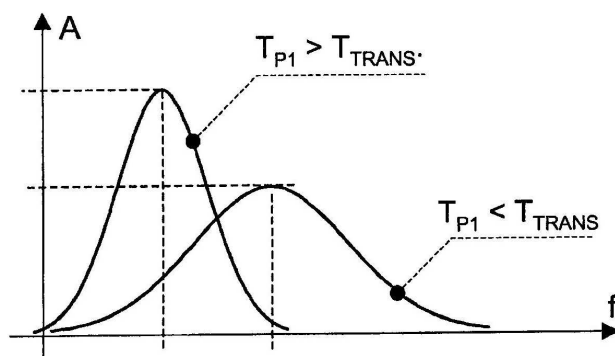


Figura 6.5. Risposta di un filtro per tempi diversi di permanenza del segnale

componenti spettrali, si può decidere di analizzare una parte di tale segnale fissando l'intervallo di frequenze, “span”.

Le varie componenti del segnale da analizzare devono permanere nel filtro per un tempo τ che si ricava dalla relazione:

$$\tau = \frac{T_S}{S_P} B \quad (6.10)$$

Il tempo τ deve quindi essere scelto in base alla banda del filtro selettivo (B), allo span impostato (S_P) ed al tempo di spazzolamento imposto al mixer (T_S).

Sullo schermo dell'analizzatore non saranno presenti righe spettrali singole per ciascuna delle componenti, ma queste verranno rappresentate come un andamento a campana, che rappresenta appunto la risposta impulsiva del filtro.

Il Rivelatore

Il compito di questo blocco circuitale consiste nel rilevare l'ampiezza di ogni singola componente spettrale del segnale iniziale selezionata dal filtro selettivo interposto tra il mixer ed il rivelatore stesso.

Il blocco di rivelazione prende il nome di *rivelatore di involuppo*. Il funzionamento di tale circuito si basa sul comportamento da interruttore proprio del diodo, il quale entra in conduzione quando la tensione d'ingresso si approssima ad assumere il suo valore massimo e carica il condensatore. Nella fase in cui la tensione di ingresso diminuisce, rispetto al valore di tensione di carica del condensatore, il diodo si interdice e sul carico circola solo una corrente fornita dalle sole cariche accumulate nel condensatore. Predisponendo adeguatamente i valori dei componenti, si può fare in modo che nella fase di interdizione del diodo la scarica del condensatore sia contenuta e quindi si mantenga costante la tensione ai suoi capi. Un successivo blocco collegato all'uscita del condensatore, provvederà a moltiplicare la tensione per 0.707, permettendo così di ottenere il valore efficace del segnale sinusoidale in uscita dal filtro selettivo.

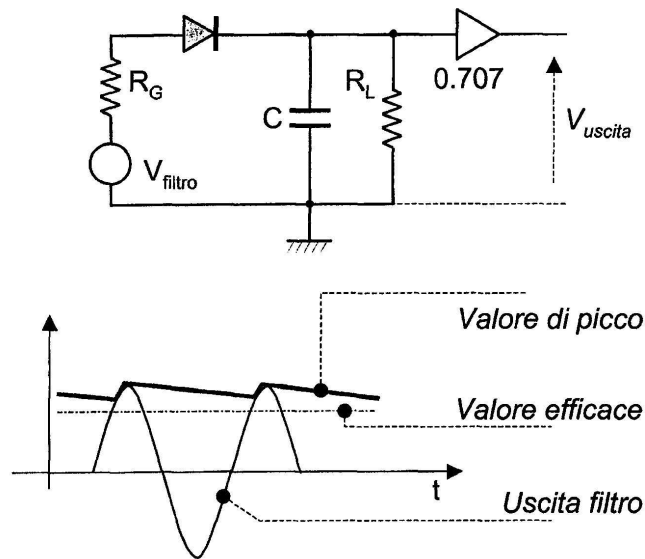


Figura 6.6. Schema circuito elettronico di un rivelatore

In un analizzatore di spettro le costanti di tempo, del rivelatore di inviluppo presente al suo interno, sono definite facendo riferimento ad una sollecitazione sinusoidale, questo perché la sollecitazione proveniente dall'uscita del filtro selettivo è una sinusoide oppure un segnale che approssima molto bene una sinusoide. Affinché all'uscita del rivelatore sia presente effettivamente l'inviluppo del segnale di uscita dal filtro selettivo è necessario che:

- la costante di tempo di scarica sia grande rispetto al minimo periodo del segnale in uscita dal filtro, approssimativamente pari a $\frac{1}{f}$;
- la pendenza del tratto si scarica deve essere maggiore rispetto alla pendenza dell'inviluppo. Quest'ultima dipende dalla selettività del filtro, dall'ampiezza della componente che si sta analizzando e dalla velocità di spazzolamento, o tempo di spazzolamento per un fissato span.

Le costanti di tempo sono fisse e stabilite dal costruttore, per ottenere l'inviluppo è necessaria una coerente scelta della banda del filtro selettivo, dello span e del tempo di spazzolamento. Se tali condizioni sono state rispettate, in uscita dal rivelatore si ottiene una tensione con andamento temporale a campana, rappresentativa della curva di risposta del filtro, la cui ampiezza è proporzionale all'ampiezza della componente analizzata.

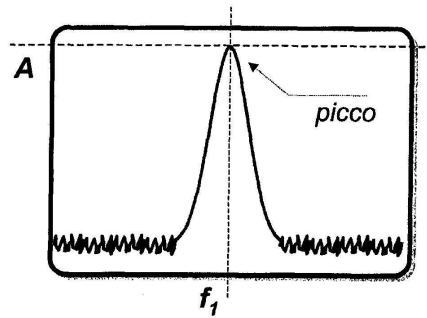


Figura 6.7. Spettro di una componente spettrale a frequenza f_I

6.1.2 Misure di potenza di canale

L'utilizzo che viene fatto di questo strumento nello sviluppo del sistema di test consiste prevalentemente nella misura della potenza di un segnale digitale. Nelle righe che seguono viene quindi illustrata la modalità con cui si effettua la misura di potenza di questi segnali digitali.

Quando si effettua la misura del livello di potenza di un segnale digitale devono essere considerati alcuni aspetti. Per primo va considerato che in un segnale modulato secondo una comune codifica digitale, la sua energia è distribuita nell'intera banda del canale ed il suo spettro è simile allo spettro del rumore termico. Per questo motivo lo spettro della modulazione digitale è detto "noise like". Per questo il livello del segnale mostrato dall'analizzatore di spettro, considerato sempre lo stesso segnale, varia in accordo con il filtro di risoluzione (filtro selettivo) di ingresso utilizzato (RBW: Resolution Band Width). Per poter effettuare la misura di potenza di canale in modo corretto, sarebbe necessario utilizzare un RBW pari alla banda del canale. In questo modo, leggendo il livello del segnale sul display, si valuta la potenza del segnale.

Nel caso di misura di un segnale DVB-T la banda del canale è $8MHz$ e l'RBW massimo dei comuni analizzatori di spettro è inferiore. Risulta ovvia l'impossibilità di effettuare la misura in questo modo. Per ottenere il valore della potenza di canale si deve quindi tenere conto del rapporto tra la banda del segnale (B_s) e la larghezza del filtro di ingresso dello spettrometro RBW (B_n). Si esegue quindi la media pesata di ciascun livello misurato per ogni B_n .

$$P_{CH} = \left(\frac{B_s}{B_n} \right) \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{p_i}{10}} \quad (6.11)$$

dove P_{CH} è la potenza del canale, B_s è la larghezza di banda del canale, B_n è la larghezza di banda del filtro di ingresso, N è il numero di punti di misura in cui è stato suddiviso il canale, p_i è la misura di potenza nella i -esimo punto. Il calcolo della potenza è eseguito in automatico dai normali analizzatori di spettro attivando la funzione di channel power measure. Se questa funzione non fosse disponibile, si

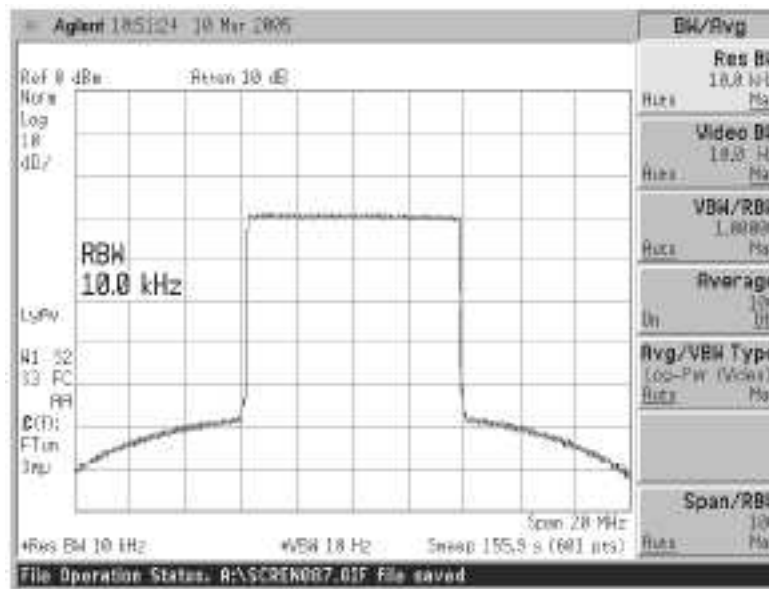


Figura 6.8. Misura di livello di un canale DVB-T

può lo stesso effettuare la misura di potenza di canale utilizzando la formula scritta sopra.

6.2 Analizzatore di reti

L'analisi delle reti consiste nel processo attraverso il quale progettisti ed industrie effettuano la misura delle prestazioni e delle caratteristiche elettriche dei circuiti che realizzano. Quando questi sistemi trasportano dei segnali contenenti informazioni, è necessario che il trasporto dell'informazione da un punto ad un'altro avvenga con la massima efficienza e la minima distorsione. L'analisi vettoriale delle reti permette di caratterizzare ogni componente misurando il loro comportamento rispetto all'ampiezza ed alla fase in un determinato range di frequenze e potenze del segnale di test.

In ogni sistema di comunicazione è necessario considerare la distorsione dei segnali. Si deve considerare dunque che i sistemi di comunicazione possono avere due diversi comportamenti in conseguenza alla loro struttura. I dispositivi lineari modificano in ampiezza ed in fase i segnali di ingresso ma non introducono nuove componenti spettrali. I dispositivi non lineari, sia passivi che attivi invece, permettono di modificare l'ampiezza e la fase, ma introducono anche componenti spettrali che non erano presenti nel segnale di test originario.

La misura sia dell'ampiezza che della fase delle componenti spettrali è importante per diversi motivi. Il primo consiste nel fatto che entrambe le misure sono richieste per caratterizzare completamente una rete lineare ed assicurare una trasmissione

senza distorsione. Per progettare reti ben accoppiate è necessario misurare l'impedenza complessa. Un ulteriore motivo consiste nel fatto che la caratterizzazione nel dominio del tempo richiede ampiezza e fase per operare la trasformata di Fourier inversa. La correzione degli errori richiede di conoscere sia l'ampiezza che la fase per costruire un efficiente modello degli errori.

Tra gli scopi fondamentali, l'analisi delle reti consiste nella misura della trasmissione e riflessione delle onde che percorrono una linea di trasmissione. Un analizzatore di reti si occupa quindi della misura dell'energia delle onde incidenti, riflesse e trasmesse. La consistenza della riflessione che ha luogo quando si caratterizza un componente dipende dall'impedenza che trova un segnale incidente. Con un analizzatore di reti si riesce quindi a rappresentare su di una griglia, vale dire il piano complesso delle impedenze o carta di Smith, sia la parte reale sia quella immaginaria dell'impedenza del circuito analizzato.

6.2.1 Struttura generale di un analizzatore di reti

Gli analizzatori di reti differiscono per forma e funzioni dai più comuni analizzatori di spettro. Questi ultimi misurano segnali esterni la cui forma d'onda non è conosciuta, per contro un analizzatore di reti utilizza un generatore di segnale interno che permette di testare il DUT utilizzando un segnale noto che varia all'interno di un certo range di frequenze e di potenze.

Gli analizzatori di reti permettono di effettuare misure con rapporti che richiedono ingressi multipli.

L'analizzatore di spettro normalmente è configurato come un ricevitore a singolo canale senza un generatore di segnale. Quando viene utilizzato in combinazione con un generatore di segnale, un analizzatore di spettro può essere utilizzato per effettuare misure scalari sui componenti, evidenziando l'ampiezza rispetto alla fase.

Un analizzatore di reti invece permette di conoscere anche altre informazioni dell'apparecchiatura sotto test, come ad esempio la risposta della fase o i ritardi di gruppo.

Un analizzatore di spettro si compone quindi di:

- sorgente di segnale (tipicamente un oscillatore PLL, controllato in tensione);
- un separatore di segnale (permette la misura separata della parte riflessa e di quella trasmessa del segnale applicato alla DUT);
- ricevitori di segnali;
- elaboratore per la visualizzazione dei segnali.

Gli analizzatori di reti, sia quelli vettoriali, sia quelli scalari, utilizzano un diodo di rivelazione (misure a banda larga) o un ricevitore sintonizzato (misure a banda

stretta). Queste ultime sono utilizzate per la caratterizzazione di componenti quali filtri dove è necessario conoscere l'informazione relativa alla fase. La misura a banda larga invece è utilizzata per caratterizzare trasduttori di frequenza.

Negli analizzatori di reti scalari, il diodo rivelatore converte l'ingresso RF in un segnale di tensione continua proporzionale alla sua ampiezza. Questo metodo, di fatto molto semplice da realizzare, non permette però di ottenere alcuna informazione in riferimento alla fase.

Negli analizzatori di reti vettoriali non viene utilizzato un diodo, ma si utilizza un ricevitore accordato, che presenta delle caratteristiche migliori rispetto al diodo rivelatore. In un ricevitore accordato, il segnale di ingresso ad alta frequenza è traslato ad una frequenza più bassa grazie a dei mixer. Successivamente viene effettuata un'operazione di filtraggio con una banda che solitamente si aggira attorno ai 3 kHz. Il segnale così ottenuto può essere facilmente analizzato.

6.2.2 Caratterizzazione dei filtri ed amplificatori

La caratterizzazione di un filtro a radiofrequenza è tipicamente ottenuta con una misura effettuata su tutta la banda di frequenze. I parametri più comuni per la caratterizzazione di un filtro sono la larghezza di banda e l'attenuazione in banda. Altri parametri comuni sono la reiezione fuori banda e il coefficiente di riflessione. Per effettuare la misura di un filtro è necessario compiere la misura dell'ampiezza e della fase su tutta la banda di utilizzo di tale filtro ed inoltre con alcuni analizzatori di rete si possono effettuare anche la misura variando la potenza del segnale in ingresso al fine di valutare la regione di compressione, misura tipicamente effettuata per gli amplificatori.

6.3 Alimentatore programmabile

Per poter compiere misure su sistemi attivi è ovviamente necessario alimentare tali apparati. Per poter fare questo in un banco di test si utilizzano degli alimentatori stabilizzati. Questo tipo di apparecchiature permette di ottenere dalla rete elettrica, caratterizzata da una tensione alternata di $220V - 50Hz$, una tensione continua di voltaggio variabile. Nella maggior parte dei casi questi alimentatori da banco sono caratterizzati dal poter erogare una corrente massima di output tra 1 e 10A ed una tensione di uscita massima tra 30 e 60V.

Tutti gli alimentatori permettono di regolare la tensione di uscita da 0V al valore di tensione massimo proprio del modello. In oltre si può regolare la corrente massima di output erogata dall'alimentatore.

Molto spesso inoltre, tali alimentatori hanno un voltmetro ed un amperometro interni che permettono all'utilizzatore di visualizzare, senza l'ausilio di altri strumenti come i multimetri, la tensione e la corrente di uscita.

Alcuni modelli in oltre possono essere comandati e programmati direttamente da

PC. Con questi modelli è possibile, utilizzando un semplice protocollo di comunicazione, inviare dati per poter programmare l'accensione, la tensione di uscita e la corrente massima, e ricevere dati delle letture della tensione e della corrente di uscita.

Capitolo 7

Appendice B: LabView

7.1 La storia di LabView

LabView è l'acronimo di *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*. È un ambiente di sviluppo grafico potente e flessibile creato dai tecnici della *National Instrument*, un'azienda che produce hardware e software per l'automatizzazione tramite personal computer di misure, controllo dei processi, analisi e archivio di dati in ambiente scientifico ed ingegneristico.

National Instrument fu fondata più di trent'anni fa ad Austin in Texas da James Truchard, Jeffrey Kodosky e William Nowlin. A quei tempi, i tre fondatori stavano lavorando allo sviluppo di un sonar per la Marina Militare degli Stati Uniti nel laboratorio di ricerca dell'Università del Texas ad Austin.

Studiando un metodo per la connessione degli strumenti di test ai computers DEC PDP-11¹, J. Truchard decise di sviluppare un nuovo bus di interfaccia di collegamento della strumentazione. Reclutò per questo Kodosky e Nowlin ed insieme svilupparono LabView e la nozione di *Strumento Virtuale*.

Ingegneri e scienziati che si occupano di ricerca, sviluppo, produzione, controllo che lavorano per industrie di tipologia molto diversa quali automotive, semiconduttori, elettronica, aerospaziale, chimica, farmaceutica, telecomunicazioni hanno usato e continuano ad usare LabView per supportare il proprio lavoro. LabView è il principale protagonista nell'ambito del controllo e misura, dell'automazione industriale e dell'analisi dei dati.

7.2 Organizzazione dell'ambiente di sviluppo LabView

I programmi sviluppati con LabView sono chiamati *Virtual Instrument* (strumenti virtuali), o più brevemente *VI*. LabView è diverso dagli altri linguaggi di programmazione testuali (quali possono essere il C, Java) perché utilizza un linguaggio

¹I DEC PDP-11 erano una serie di 16-bit minicomputers venduti dalla Digital Equipment Corp. negli anni '70 e '80. Si possono considerare i predecessori degli attuali personal computer.

di programmazione grafico, conosciuto come linguaggio di programmazione G, per realizzare programmi che si basano su simboli che descrivono le azioni di programma.

LabView mette a disposizione del programmatore un'estesa libreria di strumenti virtuali e funzioni che permettono di svolgere operazioni di acquisizione, elaborazione e visualizzazione dei dati, nonché effettuare il controllo della strumentazione collegata al pc dove è installato LabView.

7.2.1 Virtual Instruments

I programmi LabView sono chiamati Strumenti Virtuali (VI) perché molto spesso hanno l'aspetto ed il comportamento di strumenti reali. Un VI e i suoi componenti sono analoghi al programma main e le subroutine di un linguaggio di programmazione testuale qual è ad esempio il C. Gli strumenti virtuali hanno sia un'interfaccia interattiva, il *pannello di controllo*, sia un codice sorgente, rappresentato in forma grafica dal *diagramma a blocchi*. L'ambiente di sviluppo LabView provvede poi alla trasmissione dei dati dal pannello di controllo al diagramma a blocchi.

Il diagramma a blocchi è una rappresentazione grafica del codice di programmazione. Il diagramma a blocchi associato con il pannello frontale, è costituito da icone eseguibili, dette nodi, connesse tra di loro. Il successo della programmazione G consiste nella facilità di costruire programmi modulari costituiti da piccoli sottoprogrammi che connessi insieme permettono di realizzare un programma più complesso.

La modularità di questi programmi consiste nel fatto che ogni singolo sotto programma, chiamato *subVI*, può essere eseguito indipendentemente dagli altri VI e quindi è facile verificarne il funzionamento. Inoltre se ogni singolo subVI compie azioni generalizzate, ad esempio somma di due segnali, o FFT, questo può essere facilmente utilizzato anche in altri programmi.

7.2.2 Sub VI

Gli strumenti virtuali hanno una natura gerarchica. I subVI sono i componenti cruciali della gerarchicità e modularità dei programmi LabView. Un subVI è un VI a se stante che è richiamato da altri VI. In questo modo un subVI è usato in un diagramma a blocchi in un top-level VI.

Un subVI è analogo alle sottoprocedure nei linguaggi di programmazione testuali. Non c'è limite al numero massimo di subVI che si possono utilizzare in un programma LabView. L'utilizzo di subVI è un'efficiente tecnica di programmazione che permette di riutilizzare lo stesso codice in svariate situazioni.

Si possono creare subVI dai VI o crearli selezionando dei componenti di un VI e ponendoli in un subVI. Quando si crea un subVI da un VI esistente, è necessario definire gli input e gli output e connetterli correttamente al connettore.

Inoltre se un complesso diagramma a blocchi ha un gran numero di icone è pos-

sibile raggrupparle in un VI di livello inferiore per mantenere la semplicità del diagramma a blocchi.

7.2.3 Componenti dei VI e subVI

Un VI si compone di tre parti principali:

1. il pannello frontale;
2. il diagramma a blocchi;
3. l'icona connettore.

Questi tre elementi sono già stati sommariamente descritti in quest'appendice e di seguito verranno illustrate con maggiore dettaglio le caratteristiche principali.

Il pannello frontale

Il pannello frontale è l'interfaccia interattiva attraverso la quale l'utente interagisce con il codice. Quando si esegue un VI è necessario avere in esecuzione il pannello frontale per poter inserire i dati di input del programma e successivamente leggere i dati di output. Il pannello frontale contiene manopole, pulsanti, grafici ed altri controlli ed indicatori.

Il diagramma a blocchi

Gli oggetti grafici presenti nel diagramma a blocchi, costituiscono il codice sorgente. Il diagramma a blocchi di LabView, corrisponde alle linee di testo che si trovano in un linguaggio di programmazione testuale. Il diagramma a blocchi è il codice che è compilato mentre viene creato il programma e indica immediatamente se sono presenti incompatibilità tra i dati connessi. La costruzione di un programma si effettua infatti connettendo tra di loro i vari blocchi attraverso dei "fili" chiamati appunto *wire* al fine di trasferire i dati.

I componenti di un diagramma a blocchi sono essenzialmente compresi in tre classi:

Nodi : elementi di esecuzione dei programmi.

Terminali : elementi attraverso i quali i dati passano dal pannello frontale al diagramma a blocchi e viceversa.

Fili o Wire : collegamento dati tra i vari elementi.

I nodi hanno la stessa funzione delle subroutine e funzioni nei linguaggi di programmazione testuale. Ci sono tre tipi differenti di nodi:

- funzioni;
- nodi subVI;
- strutture.

Le funzioni sono dei nodi preconfigurati che permettono di effettuare operazioni elementari come addizione, sottrazione, ecc... I nodi subVI sono VI precedentemente realizzati che vengono richiamati inseguito dal programma. Le strutture invece permettono il controllo del flusso di programma. Esempi di questo elemento sono i cicli for o while.

I terminali di LabView sono il corrispondente elemento dei parametri in C. Esistono diversi tipi di terminali ognuno associato ad un differente tipo di dato. Tra i più comuni vi sono: terminale di controllo e di indicazione, costanti, terminali dei nodi e svariate altre strutture. Riassumendo un terminale è un qualsiasi punto in cui è possibile collegare un "filo" per il passaggio di dati.

Il flusso dei dati è unicamente unidirezionale, da un terminale sorgente ad uno o più terminali di destinazione. In particolare i controlli sono dei terminali sorgente; gli indicatori sono invece dei terminali destinazione.

I fili sono dei collegamenti dati tra due terminali e sono l'analogo delle variabili nei linguaggi di programmazione convenzionali. Ogni filo possiede un unico disegno che dipende dal tipo di dati (numerico, booleano, stringa, ecc...) che trasporta il filo. Ogni tipo di dato appare con un colore differente.

L'icona ed il connettore

L'icona ed il connettore permettono di gestire il VI qualora fosse utilizzato come subVI all'interno di un programma di livello gerarchico superiore.

Ogni VI ha un'icona di default mostrata nell'angolo in alto a destra del pannello frontale e del diagramma a blocchi. L'icona predefinita è un disegno del logo di LabView e un numero che indica quanti nuovi VI sono stati aperti dall'avvio dell'ambiente di sviluppo LabView. Questa icona può essere modificata utilizzando l'apposito editor.

Il connettore è un insieme di terminali che corrispondono ai controlli ed agli indicatori presenti sul pannello frontale. In questo modo è possibile utilizzare il VI come un subVI. Un connettore riceve i dati in input ai suoi terminali di ingresso e alla fine dell'elaborazione passa i dati ai terminali di uscita.

Ogni terminale corrisponde ad un preciso controllo o indicatore presente sul pannello frontale. Ogni terminale opera quindi la stessa funzione di un parametro passato ad una subroutine richiamata in un programma scritto in C.

7.3 Controllo degli strumenti

L'ambiente LabView permette di comunicare e di controllare la strumentazione esterna usando gli standard GPIB, RS-232, VXI, Ethernet, USB e altri standard hardware.

Utilizzando l'applicazione "*Measurement & Automation Explorer*" è possibile riconoscere automaticamente gli strumenti collegati, installare i driver ad essi necessari e modificare i driver già installati.

Un driver di strumentazione (Instrument Driver) è un programma che permette di controllare un determinato strumento. Instrument Driver elimina la necessità di conoscere il linguaggio di programmazione a basso livello proprio di ogni singolo strumento. LabView mette a disposizione alcuni VI che possono essere utilizzati per sviluppare driver per la propria strumentazione. Questi VI possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

- Funzioni Standard VISA.
- Funzioni GPIB.
- Funzioni di comunicazione con Porta Seriale.

VISA è l'acronimo di "Virtual Instrument Software Architecture". Infatti, VISA è una libreria di VI che permette il controllo di tutti gli standard di comunicazione presenti sul PC (GPIB, serial, Ethernet, USB) e opera le chiamate appropriate che dipendono dal tipo di strumento da comandare. VISA opera quindi ad un livello alto e richiama il codice di basso livello per il controllo dell'hardware.

Utilizzando questi strumenti è quindi relativamente semplice realizzare un banco di test che permetta, tramite la gestione di un computer, l'utilizzo di più strumenti contemporaneamente che possano svolgere le operazioni di controllo richieste.

7.4 LabView Connectivity Toolset

Un database consiste in un archivio organizzato di dati. Molti dei moderni sistemi di gestione dei database salvano i dati in tabelle costituite da record (le righe) e ciascun record comprende diversi campi (le colonne). Ogni tabella presente in un database deve avere un nome univoco, inoltre ogni singola colonna all'interno di una tabella deve avere un'etichetta univoca.

Per alcune applicazioni è necessario disporre di un database di appoggio per poter funzionare. Per questo motivo anche l'ambiente LabView è stato dotato di uno strumento di interfaccia a database: *LabView Connectivity Toolset*. LabView Connectivity Toolset è una ri-architettura di SQL Toolkit.

L'SQL Toolkit permette di interfacciare le applicazioni LabView effettuando delle chiamate di sistema alle API per l'accesso al database chiamato ODBC.

L'SQL Toolkit è quindi compatibile con qualsiasi database che metta a disposizione un driver ODBC che traduca le chiamate ODBC nel linguaggio nativo del database.

L'interrogazione al database in LabView avviene utilizzando l'SQL (Structured Query Language) che consiste in una serie di comandi costituiti di stringhe di caratteri che permettono la ricerca, il salvataggio, la modifica o cancellazione dei dati nelle tabelle di un database.

Capitolo 8

Appendice C: TV Digitale Terrestre e Switch Off

Introduzione

Con l'introduzione della trasmissione televisiva digitale è iniziata una nuova era nel Broadcasting TV. La TV digitale sta rivoluzionando la trasmissione televisiva sia terrestre che via satellite. Gli standard definitivi sono stati attentamente considerati, dibattuti ed ottimizzati attraverso prove sul campo. Le varie piattaforme sono riconosciute negli standard internazionali ITU-T ¹.

I vantaggi della trasmissione TV digitale, rispetto a quella analogica, sia nel caso dei collegamenti a microonde che nel caso della diffusione terrestre, sono notevoli ed evidenti:

- Un maggior numero di programmi a parità di banda RF occupata (tipicamente il quadruplo o più, cioè, in un canale si possono trasmettere 4 o più programmi digitali, al posto di un singolo programma analogico);
- Una minore potenza di emissione necessaria per coprire la medesima distanza (cioè maggiore immunità al rumore ed ai disturbi);
- Una migliore qualità dell'immagine;
- La possibilità di realizzare reti di diffusione terrestre in isofrequenza cioè di avere più trasmettitori in funzione che servono zone adiacenti sulla medesima frequenza con gli stessi programmi; si può utilizzare la stessa frequenza su vaste aree, servite da più trasmettitori, senza che essi si disturbino l'un l'altro (trasmissione OFDM con rete SFN - Single Frequency Network);

¹ITU-T è l'acronimo di International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Bureau, ovvero è il settore della Unione Internazionale delle Telecomunicazioni che si occupa di regolare le telecomunicazioni telefoniche e telegrafiche.[1]

- La possibilità di ricezione mobile senza le problematiche tipiche dei sistemi analogici, cioè doppie immagini, riflessioni, distorsioni ecc. (trasmissione OFDM);
- La possibilità di trasmettere dati e servizi ausiliari.

In questa appendice sono descritti le principali caratteristiche della TV digitale terrestre e le varie problematiche relative allo Switch Off che sta avendo luogo nella nostra nazione.

8.1 La codifica MPEG-2

Per la trasmissione TV digitale serve avere i segnali Video/Audio digitali, cioè generarli digitalmente oppure, come attualmente avviene nella maggioranza dei casi, convertire in digitale i segnali analogici disponibili.

Il segnale Video/Audio digitale non compresso è un flusso di dati di dimensione notevole per il quale abitualmente si utilizza l'interfaccia seriale SDI (SDI: Serial Digital Interface)². È pertanto indispensabile comprimere questi dati, che se trasmessi integralmente occuperebbero una banda RF superiore a quella di un segnale analogico, per formare un flusso di dimensione ragionevole da far transitare sui ponti di collegamento e distribuire all'utenza. La codifica/compressione non dovrà però deteriorare in modo apprezzabile la qualità dei segnali Video/Audio: per questo scopo, lo standard internazionale scelto è l'MPEG-2 (Motion Picture Expert Group versione 2) che è in grado di comprimere un programma TV da 270Mbit/s in soli $5/6\text{Mbit/sec}$ pur mantenendo ottime caratteristiche qualitative.

Per codificare/comprimere i segnali audiovideo si utilizzano le seguenti tecniche:

- si usano meno bit per la crominanza³ rispetto alla luminanza⁴ dal momento che l'occhio umano ha una maggiore sensibilità verso quest'ultima rispetto alla prima;
- si aggregano insieme le aree di immagine in cui vi sono pixel con le medesime caratteristiche di luminanza e colore;
- si trasmettono solo le differenze tra un'immagine e la successiva per varie volte (GOP: Group Of Frame) prima di ritrasmettere l'immagine intera.

²L'interfaccia SDI è un sistema di trasmissione di segnali digitali non compressi e non criptati ed è di larghissimo impiego all'interno delle infrastrutture di produzione televisiva. La larghezza di banda di questo collegamento è di 270Mbit per secondo e quest'interfaccia è progettata per operazione su distanze brevi, a causa dell'elevato bitrate.[1]

³Per crominanza si intende una combinazione di tinta e saturazione in un colore, nonché il segnale che trasporta tale informazione.

⁴La luminanza è definita come il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una sorgente verso una superficie normale alla direzione del flusso e l'area della superficie stessa.

I GOP sono costituiti da tre diversi tipi di frames:

I-frame immagine completa;

P-frame differenze rispetto a I o P-frame precedente;

B-frame differenze che tengono conto delle immagini I/P precedente e successiva.

I GOP normalmente comprendono un I-frame più alcuni P ed eventuali B frames; essi non possono essere troppo lunghi, altrimenti un eventuale errore sarebbe propagato per un tempo eccessivo. Inoltre si deve tener presente che un decodificatore, per iniziare la decodifica, deve disporre di un'immagine completa (I-frame), pertanto deve attendere l'inizio di un GOP.

I profili di codifica maggiormente noti sono di seguito riportati.

4:2:0 Il video viene codificato con il rapporto di 4 informazioni per la luminanza e 2 per la crominanza. Tale profilo permette di avere rapporto di codifica ideale rispetto alla percezione visiva ed in oltre offre ottimi risultati anche con bassi bit-rate. Viene utilizzato nel broadcasting per la diffusione terrestre e satellitare e nei collegamenti studio / studio tra regie analogiche e digitali.

4:2:2 Il video viene codificato con il rapporto di 4 informazioni per la luminanza e 4 per la crominanza. Questo profilo non offre maggiori vantaggi rispetto al precedente e per contro richiede maggiori risorse per poter essere utilizzato.

Dal momento che il profilo maggiormente utilizzato è senza dubbio il 4:2:0, analizziamo quali sono alcuni tra i principali settaggi di un codificatore MPEG-2 (4:2:0).

- Risoluzione video: Full D1; 3/4 D1; 2/3 D1; 1/2 D1; SIF; QSIF.
- Dimensione dell'immagine: sino a 720 x 576 pixel per il PAL e 720 x 480 pixel per l'NTSC.
- Bit Rate di codifica sino a 15MBit/s .
- Frequenza di campionamento audio (32/44,1/48 kHz).

8.2 Elaborazione e trasmissione del segnale numerico

8.2.1 Il Transport Stream

Il segnale video digitalizzato MPEG-2, viene diviso in pacchetti e compresso nel tempo; la loro durata così viene ridotta in modo che nel flusso seriale finale ci sia spazio per tutti i pacchetti che si vogliono trasmettere. Questo flusso di dati viene chiamato Transport Stream.

Nel Transport Stream i dati hanno un bit rate costante e sono organizzati in una sequenza continua di "pacchetti" aventi lunghezza fissa di 188 bytes che crescono

fino a 204 bytes se vengono aggiunti i dati per la correzione degli errori.

Per mantenere il flusso dei pacchetti di dati costante nel tempo, anche quando non vi sono dati utili da trasmettere, sono previsti dei sistemi di *Bit Stuffing* che si occupano di generare dei pacchetti validi ma dal contenuto nullo, che verranno successivamente riconosciuti e scartati in fase di decodifica.

Ciascun pacchetto è costituito da due segmenti di Byte.

- Un *header* con dimensione standard di 4 byte ed in questo è compreso un byte di sincronismo, il PID (Program Identifier) che permette l'identificazione del numero del programma video o audio o dati cui il pacchetto si riferisce, ed ulteriori informazioni.
- Un *payload* costituito dai dati del programma vero e proprio.

Alla sequenza di pacchetti così ottenuta viene infine applicato un algoritmo *randomizzatore* in modo da eliminare eventuali ciclicità, che possono essere generate ad esempio dalla periodicità dei pacchetti, il cui effetto si rivelerebbe nella generazione di concentrazioni di energia nello spettro del segnale. Si ottiene quindi una sequenza pseudo-casuale, con una distribuzione uniforme dell'energia nello spettro del segnale: il DVB-TS (Transport Stream codificato dal DVB).

8.2.2 La trasmissione del segnale numerico

Dopo queste elaborazioni il segnale viene inviato alla codifica di canale (modulazione) e quindi alla sezione trasmissione (tipicamente conversione, filtraggio e amplificazione) ed all'antenna.

Nella scelta del tipo di modulazione si terrà conto dalle caratteristiche del canale, cioè del percorso che il segnale dovrà fare per raggiungere l'utente. I percorsi possibili che consideriamo sono tre.

- Nel caso della TV satellitare, il segnale dovrà essere in grado di fare lunghissimi percorsi, senza possibilità di amplificazioni intermedie; dovrà tener conto della limitata disponibilità di energia sul satellite e comunque arriverà all'utente debolissimo.
- Nel caso della TV via Cavo, si dovrà tener conto della limitata banda passante del cavo e della presenza di disadattamenti che generano percorsi multipli relativamente corti con echi stabili o a molto bassa variabilità temporale. Non ci sono stringenti problemi di energia e di amplificazione; il segnale infine è schermato.
- Il caso della TV via etere è il più complesso: percorsi di medie dimensioni (decine di Km), segnale in ambiente rumoroso, soggetto a disturbi ed interferenze da altri siti di trasmissione, a percorsi multipli anche molto lunghi e variabili nel tempo.

I 50 anni di esperienza di trasmissioni broadcast sul canale di trasmissione terrestre (coi segnali analogici) hanno portato alla scelta di una codifica di canale particolarmente robusta, chiamata *COFDM 8k* (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex), che prevede l'utilizzo di 8000 portanti modulate QAM, affiancate in frequenza, tra loro indipendenti (ortogonali), con l'inserimento di codici di correzione d'errore.

Il processo di trasmissione si sviluppa come segue.

- A valle del randomizzatore (energy dispersal) si inseriscono i codici di correzione d'errore, si mappa la costellazione, si inseriscono portanti pilota e si va all'algoritmo fondamentale della modulazione: la FFT^{-1} (trasformata veloce di Fourier inversa) che genera automaticamente le 8000 portanti modulate.

La demodulazione procede in senso contrario.

- A valle della FFT, le 8000 sequenze parallele vengono serializzate.
- Viene applicato il codice di correzione d'errore di Viterbi. Esso è caratterizzato da una coppia di numeri (FEC) che indica il numero di bit in uscita rispetto a quelli in ingresso (es: FEC=2/3: due bit in uscita ogni 3 in ingresso). La sua funzione è quella di dare una prima correzione nel caso di segnale molto disturbato, portando la Bit Error Ratio (BER) da valori dell'ordine del 2% (o migliori) a valori migliori di 0.02%.
- Viene applicato un *deinterleaving* la cui funzione è quella di distribuire nel tempo gli errori che escono dal Viterbi tipicamente in forma di burst (pacchetti), per ottimizzare le prestazioni del successivo dispositivo di correzione.
- Viene applicato il codice Reed-Solomon che garantisce un segnale "quasi-error-free" quando in ingresso il BER è di 0.02% o migliore.
- Si è così ricostruito il DVB-TS con un BER dell'ordine del 10⁻¹¹, che viene de-randomizzato e risuddiviso nelle sue componenti costitutive.

8.3 La Modulazione digitale

Per trasmettere in radiofrequenza una sequenza di bit, non sarà possibile usare una tensione continua a due livelli, ma sarà meglio utilizzare una portante sinusoidale, di cui si può controllare una (o più di una) delle tre grandezze che la caratterizzano cioè l'ampiezza, la frequenza e la fase. Scegliendo la frequenza come grandezza fisica si potrà associare al bit zero la frequenza F_0 e al bit uno la frequenza F_1 . Si passa quindi dai simboli definiti da due valori di tensione a simboli definiti da due valori di frequenza. La modulazione non è quindi altro che il trasferimento dell'informazione da una famiglia di simboli ad un'altra, secondo un prestabilito protocollo. Nel trasferimento dell'informazione, la sequenza originale costituisce il segnale modulante, quella finale costituisce il segnale modulato.

8.3.1 Costellazioni

Codifica a due simboli

La modulazione più semplice è quella a due stati (di fase, di frequenza o di ampiezza) che diventano i due simboli del nuovo vocabolario, cui associare in modo arbitrario ma biunivoco, il significato di Zero ed Uno. La modulazione binaria di fase (0° - 180°) è chiamata *BPSK*, quella di frequenza, *2FSK*; quella di ampiezza, nel caso i due livelli siano “zero” e “diverso da zero” è detta *OOK*; nel caso di modulazione d'ampiezza a portante soppressa (i due livelli risultano +L e -L), si ha una modulazione che coincide con la BPSK (il simbolo -L può essere visto come il simbolo L sfasato di 180°).

Codifica a più simboli

- *QPSK*: si possono raggruppare i bit due a due (il n° di combinazioni possibili è quattro ($2^2 = 4$): 00,01,11,10), ed associare ad ogni coppia, in maniera biunivoca, una fase (es: 0,0 = 45° ; 1,0 = 135° ; 1,1 = 225° ; 0,1 = 315°). Si ha quindi una costellazione di 4 simboli. Poiché ciascun simbolo porta 2 bit, la velocità di simbolo sarà la metà di quella di bit.
- *16QAM*: posso anche raggruppare i bit in quaterne e associare a ciascuna di esse un simbolo (servono $2^4 = 16$ simboli diversi). È chiaro che, al fine della loro distinguibilità, conviene che i simboli siano tra loro il più spazati possibile: per questo la modulazione mista ampiezza-fase (16 QAM) può risultare preferibile, alla modulazione di fase pura (16PSK).
- *64QAM*: raggruppando i bit in sestetti, si otterrà una costellazione di 64 simboli. Ciascun simbolo trasmetterà quindi 6 bit. Con tanti simboli, la modulazione di fase pura diventa insostenibile, a favore di quella mista.

8.3.2 Banda passante e Bit-rate

Ci si può chiedere perché o quando conviene passare da modulazioni semplici ad altre più complesse. Va considerato che la banda occupata dal segnale dipende dalla velocità di simbolo (symbol/rate) e non dalla velocità di bit (Bit/rate), per cui a parità di Bit trasmessi, il 64 QAM occupa una banda decisamente più piccola o, a parità di banda, col 64 QAM si trasmettono più bit. La controparte è la riduzione della distanza fra simboli e quindi una minor capacità di distinguerli, che si traduce nella necessità di un rapporto Segnale-Rumore via crescente.

Le modulazioni nPSK (n=2, 4, 8, ...) hanno inoltre la caratteristica di essere ad involuppo costante⁵, di richiedere quindi minor linearità d'ampiezza dei trasmettitori permettendone un utilizzo più efficiente.

⁵tutti i simboli hanno ampiezza costante

8.3.3 Il segnale COFDM

La modulazione COFDM determina una ripartizione del canale terrestre sia in frequenza che nel tempo. In frequenza, come visto il canale RF è occupato da un insieme di numerose portanti adiacenti, ciascuna utilizzante una banda molto stretta. In un canale UHF da $8MHz$, nella modalità 8k, trovano posto 6817 portanti attive, delle quali 6048 per i dati e le rimanenti per funzioni di controllo. La spaziatura in questa modalità è di $1116Hz$, pari al reciproco della durata utile del simbolo ($896\mu s$). Complessivamente la larghezza di banda del canale occupato dal segnale COFDM in entrambe le modalità (8k e 2k) è di circa $7,61MHz$.

La ripartizione nel tempo è stabilita dalla cadenza di simbolo, la cui durata complessiva è pari alla somma dell'intervallo utile e quello di guardia che lo precede e in cui si replica la frazione finale ed il primo, per un'ulteriore ridondanza.

Il segnale digitale trasmesso è organizzato in trame (frame) che raggruppano ciascuna 68 simboli: ogni 4 trame si ha una supertrama (superframe) che contiene un numero intero di pacchetti dopo codifica RS.

Per favorire al ricevitore la sincronizzazione e permettere la demodulazione coerente si adotta una struttura particolare della trama che, oltre alle portanti dati, ne comprende altre con funzioni ausiliarie distribuite in modo regolare.

Ed ora un po' di numeri.

- le 8000 portanti occupano 8 MHz: ogni portante occupa 1 kHz.
- la symbol rate massima entro 1 kHz è di 1000 simboli/sec: durata di un simbolo: 1 millisecondo.
- con il 64 QAM: 6 bit/simbolo; 48 Mbps è la bit-rate lorda

8.4 Le reti di diffusione in isofrequenza (SFN)

Un considerevole vantaggio che offre la modulazione digitale OFDM impiegata nello standard DVB-T è la possibilità di realizzare reti di diffusione terrestre SFN⁶, cioè di avere più trasmettitori in funzione, che servono zone adiacenti, sulla medesima frequenza, con gli stessi programmi; in pratica si può utilizzare lo stesso canale di emissione per vaste aree, servite da più trasmettitori, senza che essi si disturbino l'un l'altro.

Nella trasmissione analogica, ciò è praticamente impossibile. Nei sistemi analogici, utilizzando la tecnica dell'offset (di riga, o, meglio, di quadro) si possono ridurre le zone di interferenza ai limiti delle aree di servizio di ciascun trasmettitore rispetto al trasmettitore che serve l'area adiacente, ma, in pratica, anche con una pianificazione della rete estremamente oculata ed impiegando sistemi d'antenna che evitino il più possibile l'irradiazione al di fuori dell'area di servizio prevista, di fatto, una rete analogica isofrequenziale è irrealizzabile senza consistenti zone di interferenza,

⁶SFN - Single Frequency Network, cioè rete a singola frequenza

nelle quali la qualità del segnale degrada consistentemente.

Innanzitutto, la precisione/stabilità di frequenza (che normalmente è richiesta essere di $500Hz$), deve essere significativamente maggiore rispetto ai trasmettitori impiegati nelle reti MFN⁷.

Nelle reti SFN, tutti i trasmettitori devono essere sincronizzati ad un unico riferimento di frequenza, per il quale normalmente si utilizza il GPS⁸. Il segnale proveniente dai satelliti GPS è ricevibile pressoché ovunque nel mondo e contiene una precisissima informazione di tempo cui poter agganciare i trasmettitori della rete SFN. Ciascun trasmettitore della rete SFN dovrà trasmettere esattamente lo stesso Transport Stream e lo dovrà emettere in modo da essere sincronizzato con gli altri trasmettitori. Per fare ciò, all'atto della generazione, il Transport Stream viene suddiviso in "Megaframes" e vengono aggiunti dei dati al fine di poter sincronizzare l'emissione da ogni trasmettitore. Per la sincronizzazione si utilizza il segnale con

ESEMPIO DI DIFFUSIONE TELEVISIVA DIGITALE DVB-T IN ISOFREQUENZA

(SFN - Single Frequency Network)

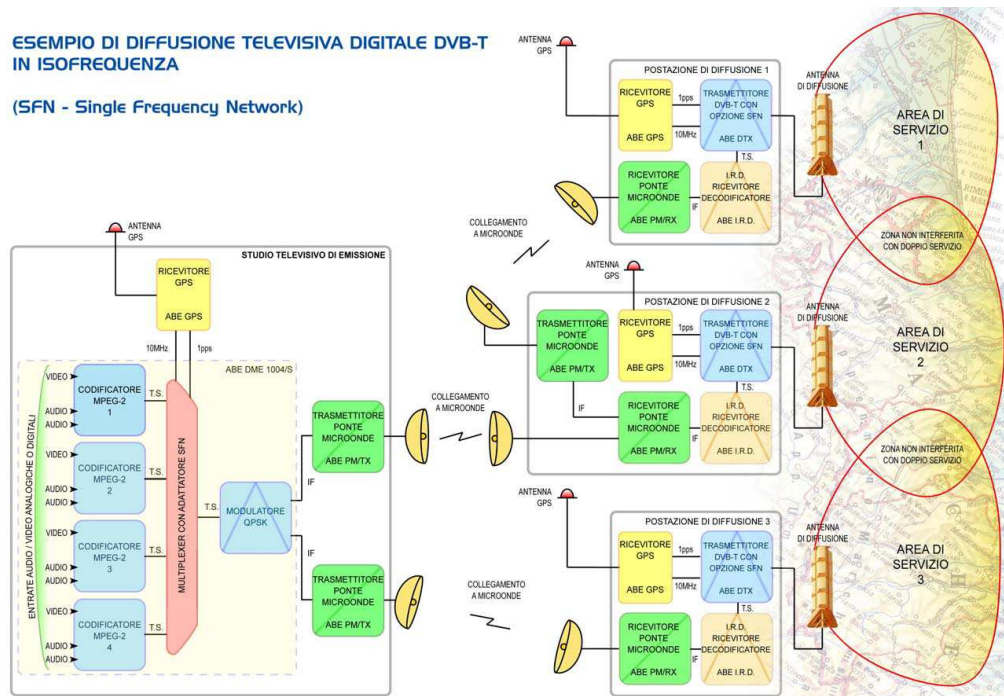


Figura 8.1. Esempio di diffusione televisiva digitale DVB-T

frequenza di $1Hz$ proveniente dai ricevitori GPS. Sin qui, in pratica, abbiamo generato dei segnali assolutamente identici, con più trasmettitori distanziati tra loro. Ma il motivo per il quale con l'SFN si evitano le interferenze nelle zone limitrofe di copertura dove sono presenti i segnali di più trasmettitori, è l'intervallo di guardia. L'Intervallo di guardia è il tempo durante il quale il trasmettitore non emette alcun

⁷Multi Frequency Network, ovvero reti con più frequenze

⁸Global Positioning System - cioè il sistema di navigazione satellitare realizzato e mantenuto dal Dipartimento della Difesa USA

segnale essenziale, dopo la trasmissione di ogni simbolo, per consentire che gli echi (riflessioni del segnale emesso, ovvero, come nel nostro caso, segnali di altre emissioni isofrequenza dello stesso network che giungono al ricevitore con un certo ritardo) di spegnersi, prima di trasmettere il simbolo successivo, di modo che i ricevitori non vengano disturbati dal possibile “accavallamento” dei simboli, che potrebbe rendere il segnale ricevuto non demodulabile, ancorché di livello sufficiente o buono.

Ovviamente, più lungo è l'intervallo di guardia, più alti sono i tempi di spegnimento degli echi tollerati, ma più bassa è la quantità di dati che possono essere trasmessi. L'intervallo di guardia può essere regolato da pochi microsecondi, ad oltre 200 microsecondi, cioè, può essere regolato affinché il sistema possa tollerare riflessioni/segnali provenienti da altri trasmettitori da pochi chilometri sino a circa 70 km (si ricorda che le onde elettromagnetiche viaggiano alla velocità della luce e quindi percorrono circa 300 metri in 1 microsecondo).

Nel caso la scelta della IFFT sia 2k (modulazione OFDM con 1705 portanti), essendo il Symbol Rate più elevato rispetto alla 8Kk (6817 portanti), i possibili intervalli di guardia sono di durata minore, essendo essi sempre espressi come frazione della durata del tempo di simbolo ($1/4$; $1/8$; $1/16$; $1/32$). Questo è il motivo per il quale, nelle reti SFN normalmente si utilizza la IFFT 8k.

Nei trasmettitori è inoltre possibile regolare il ritardo di emissione del Transport Stream, di modo da far coincidere i tempi di arrivo dei segnali dei trasmettitori nella zona di interferenza e ridurre così la lunghezza dell'intervallo di guardia necessario ad evitare i disturbi in ricezione.

8.5 I Gap Fillers (riempitori di buchi)

Un'altra importantissima opportunità tecnica che la trasmissione digitale OFDM DVB-T offre, è la possibilità di riuscire a coprire, nell'area di utenza o ai margini di essa, zone nelle quali la ricezione del segnale risulta difficile o impossibile (ad esempio, in piccole valli, nel cono d'ombra di una piccola collina o di un palazzo, in gallerie od anche all'interno di un palazzo).

I Gap Filler sono, in pratica, dei piccoli ripetitori, estremamente semplificati, di piccola potenza che ricevono e trasmettono sul medesimo canale, pertanto non occupano frequenze differenti o aggiuntive rispetto al canale di emissione principale.

Tecnicamente, la loro emissione può essere paragonata a quella di un altro trasmettitore in rete isofrequenza (SFN), senza tutti i costi e le complicazioni relative. Essi infatti sfruttano i vantaggi della resistenza ai segnali riflessi, conferita alla modulazione OFDM dall'intervallo di guardia.

Il limite tecnico di un Gap Filler, essendo un ripetitore sullo stesso canale, è rappresentato dall'isolamento ottenibile tra le antenne di trasmissione e di ricezione. Se la potenza di emissione fosse troppo elevata, il Gap filler autooscillerebbe, pertanto, bisognerà avere particolare cura nel distanziare e collocare opportunamente le an-

tenne di ricezione e trasmissione, al fine di avere il massimo isolamento possibile, e quindi, poter trasmettere con una potenza sufficiente.

8.6 I livelli di segnale necessari per la ricezione digitale

Per la ricezione dei segnali televisivi analogici, il CCIR⁹ ha definito, con la raccomandazione 417, i livelli minimi di segnale per il servizio televisivo.

Detti livelli sono relativamente bassi: ad esempio, in banda 5^a UHF il livello minimo di campo è di $70dB\mu V/m$ che corrisponde, utilizzando una antenna da $10dBi$ di guadagno alla frequenza di $700MHz$, ad un livello ricevuto di circa $500\mu V$ ($0,5mV$, cioè $54dB\mu V$). Si tratta effettivamente di un segnale di non elevato livello: appena sufficiente per avere, con un buon ricevitore, un'immagine non particolarmente degradata.

Nella normalità dei casi, i livelli di segnale ricevibili, sono decisamente superiori.

La ricezione dei segnali digitali rimane invece perfetta sino ad un limite minimo (di soglia), al di sotto del quale il segnale non è più demodulabile e scompare.

Il livello di segnale digitale OFDM (DVB-T) minimo necessario per la ricezione dipende dal tipo di modulazione scelta (QPSK, 16QAM o 64QAM) e dal codice di correzione degli errori impiegato (code rate $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$ o $7/8$). Come di consueto, le scelte di schemi di modulazione e codici di correzione che consentono di trasmettere bit rate più elevati (e quindi più programmi, di qualità migliore), necessitano, in ricezione, di livelli di segnale maggiori. Per dare dei limiti, basta pensare che impiegando una modulazione QPSK con un code rate di $1/2$, il livello di ricezione potrà essere circa $20dB$ più basso rispetto all'impiego di una modulazione 64QAM con code rate $7/8$; il flusso dei dati (bit rate del Transport Stream di ingresso) sarà però inferiore di oltre l'80%.

Per continuare la comparazione con l'esempio analogico, ipotizzando di voler ricevere, sulla stessa frequenza, una emissione OFDM per canalizzazione $8MHz$, modulata 64QAM con $2/3$ di code rate e $1/32$ di intervallo di guardia (e quindi un bit rate trasmesso di oltre $24MBit/s$, in grado di trasportare, ad esempio, 4 programmi televisivi di ottima qualità), saranno necessari circa $51dB\mu V/m$, ben $19dB$ in meno rispetto alla ricezione analogica.

Quindi, a parità di condizioni, i trasmettitori digitali potranno essere di potenza consistentemente inferiore. Nella sperimentazione digitale, pertanto, nel caso di doppio utilizzo del trasmettitore in analogico ed in digitale, anche se la potenza digitale normalmente erogabile sarà di $6dB$ inferiore a quella analogica ($1/4$), l'area di copertura non sarà sicuramente inferiore, anzi, in linea teorica incrementerà considerevolmente, sarà pertanto da valutare se, nell'impiego digitale, la potenza di emissione debba essere ulteriormente ridotta.

Per ricevere il medesimo segnale digitale in movimento (ad esempio, in auto) la modulazione 64QAM non è sicuramente la più indicata; è ragionevole impiegare

⁹Comitato Consultivo Internazionale delle Radiocomunicazioni

una QPSK (trasmettendo pertanto un Bit Rate più basso) e, anche se il segnale minimo necessario per la demodulazione della costellazione QPSK è più basso, essendo le antenne di ricezione mobili a basso guadagno, e la ricezione mobile più disturbata, in quanto il mezzo mobile non si troverà sempre in vista ottica con l'antenna di emissione, la potenza di emissione del trasmettitore non è detto debba essere inferiore.

8.7 Switch Off in Italia

L'Italia sta lentamente affrontando la transizione dalla tecnologia analogica a quella digitale per la trasmissione dei canali televisivi. Regione dopo regione si prosegue con la chiusura delle frequenze analogiche ed il passaggio alle più efficienti tecnologie digitali.

8.7.1 Aree tecniche DTT di suddivisione del territorio

Il territorio Italiano è stato suddiviso in 16 aree tecniche, individuate sulla base di un'approfondita elaborazione tecnica sviluppatasi nel corso degli ultimi tre anni all'interno del *Comitato Nazionale Italia Digitale (CNID)*¹⁰. Queste zone non sempre coincidono con l'area regionale intesa dal punto di vista amministrativo.

In alcuni casi le regioni sono state accorpate in toto (ad esempio Sicilia e Calabria) o in parte (ad esempio Piemonte orientale e Lombardia); in altri alcune province rientrano nell'ambito di aree territoriali diverse rispetto alla regione di appartenenza (ad esempio: le province di La Spezia e Viterbo nell'area tecnica Toscana e Umbra). Ciò è dovuto alla necessità di garantire un'uniformità radioelettrica ai diversi territori, assicurando un uso efficiente delle risorse frequenziali, la continuità nella ricezione dei programmi, la segmentazione dell'utenza coinvolta e la riduzione dei disagi per i cittadini.

8.7.2 Calendario Switch Off Italiano

Il Governo con un Decreto firmato dal Ministro dello Sviluppo Economico, Claudio Scajola, il 10 settembre 2008 e presentato dal Sottosegretario con delega alle Comunicazioni, Paolo Romani, ha presentato il calendario per il passaggio definitivo dell'Italia alla televisione digitale terrestre. Il decreto prevede una transizione al digitale progressiva delle varie regioni italiane divise in 16 aree a partire dal secondo semestre del 2009 fino al secondo semestre del 2012.

Rimangono fissate per il secondo semestre del 2008 e al primo semestre del 2009 i passaggi già previsti nelle aree cosiddette all digital, Sardegna e Valle D'Aosta.

¹⁰Organismo presieduto dal Sottosegretario alle Comunicazioni Paolo Romani che è affiancato dai vicepresidenti Stefano Mannoni, Commissario dell'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni e Andrea Ambrogetti, Presidente di DGTVi[1]

Già nel secondo semestre del 2009 si vedrà la tv digitale terrestre nel Lazio, in Campania, in Trentino Alto Adige e in Piemonte. Via via si passerà al digitale nelle altre regioni fino alle ultime due, Sicilia e Calabria, dove la transizione avverrà alla fine del 2012. Un programma che già nei prossimi due anni intende coinvolgere oltre il 70% della popolazione italiana (saranno circa 14 i milioni di cittadini coinvolti nel 2009 e 23 nel 2010 per un totale di circa 35 milioni) portando l'Italia tra i Paesi più avanzati verso il traguardo europeo del 2012.

8.7.3 Adeguamento degli impianti TV e Decoder DTT

Se dunque entro la fine del 2012 non si sarà provveduto alla predisposizione dei vari televisori alla ricezione della tv digitale terrestre, non sarà possibile vedere nessun programma.

Per compiere questo adeguamento, sarà necessario acquistare ed installare un decoder digitale terrestre per ogni vecchio televisore analogico. Se invece si acquista un nuovo televisore, il sintonizzatore digitale terrestre sarà già integrato.



Figura 8.2. Logo DGTv

I Decoder DTT

A tutela dei consumatori il DGTv, associazione delle televisioni italiane¹¹ che ha il compito di promuovere la diffusione del digitale terrestre, ha creato tre “bollini” a garanzia delle caratteristiche tecnico-qualitative dei ricevitori. Questi bollini hanno lo scopo di orientare nella loro scelta i consumatori che vogliono godere di tutte le potenzialità del digitale terrestre.

Bollino Blu (figura 8.3): indica un decoder che permette di vedere i programmi in chiaro, i programmi a pagamento ed i servizi interattivi. Più del 90% dei produttori di decoder ha aderito all’iniziativa. Il bollino blu è quindi un bollino a favore dei consumatori, per garantire la bontà della loro scelta, per tutti coloro che non vogliono ancora cambiare televisore ma, invece, seguire tutte le trasmissioni e le offerte del digitale terrestre. I televisori con il bollino blu garantiranno non solo la ricezione dei programmi gratuiti e di quelli a pagamento

¹¹RAI, Mediaset, Telecom Italia Media, Dfree, FRT, Aeranti-Corallo.

(unicamente con il dispositivo detto CAM acquistabile insieme al televisore o in post-vendita) senza l'aggiunta di nessun decoder, ma anche l'accesso a tutti i servizi interattivi che si stanno già sperimentando e avviando sul digitale terrestre e che, ad oggi, sono comunque ricevibili e consultabili attraverso il decoder.



Figura 8.3. Bollino Blu DGTVi

Bollino Bianco (figura 8.4): indica invece un televisore con sintonizzatore digitale che permette di vedere i programmi gratuiti in chiaro e, grazie ad un piccolo dispositivo detto CAM acquistabile insieme al televisore o in post-vendita, anche i contenuti a pagamento. È questa la soluzione ideale per tutti coloro che hanno deciso di cambiare il proprio apparecchio tv o comunque di acquistarne uno nuovo.

I costruttori TV che presentano il bollino bianco si impegnano entro il 2009 ad integrare in alcuni modelli anche l'interattività, che al momento non è supportata.



Figura 8.4. Bollino Bianco DGTVi

Bollino Gold (figura 8.5): indica un decoder, e prossimamente anche i televisori, con sintonizzatore digitale in Alta Definizione, HD, che permette di vedere i programmi in chiaro, i programmi a pagamento e i servizi interattivi.



Figura 8.5. Bollino Gold DGTVi

Risintonizzazione e ricerca programmi TV

Per la trasmissione dei segnali DTT sul territorio nazionale saranno disponibili gli stessi canali impiegato per la trasmissione dei programmi analogici, vale a dire: 48 canali UHF (banda $470 - 862\text{MHz}$) della larghezza di 8MHz e 8 canali VHF (banda $174 - 230\text{MHz}$) della larghezza di 7MHz , secondo la canalizzazione europea. Su ciascun canale occupato dal segnale DTT troverà posto un multiplex comprendente alcuni programmi, assieme alle informazioni della guida elettronica dei programmi (EPG), del teletex e di altri servizi.

La configurazione adottata è la 64QAM (nella fase transitoria verrà impiegata la più robusta 16QAM) con code-rate $2/3$, modalità 8k e intervallo di guardia $1/4T_u$, quindi particolarmente adatta anche alla ricezione interna: il bit-rate utile risulta così di $19,91\text{Mbit/s}$.

Nella maggioranza dei casi, non è necessario cambiare l'antenna terrestre. Gli impianti di radioricezione per la televisione digitale terrestre sono identici a quelli usati per la ricezione analogica. Le attuali antenne (nelle bande $III, IV\text{eV}$) e la rete di distribuzione dalle antenne all'interno degli edifici con gli opportuni dispositivi intermedi (derivatori, partitori, amplificatori, miscelatori/demiscelatori, attenuatori, filtri, ecc.) sono adatte anche alla ricezione digitale. In qualche caso, tuttavia, potrebbe essere richiesto il montaggio di un'antenna supplementare, ad esempio quando non si dispone già di un'antenna nella banda su cui è irradiato il segnale digitale.

In generale è stato previsto che le nuove reti digitali si avvalgano degli stessi siti di trasmissione della TV analogica. Quindi, non è necessario cambiare il puntamento della propria antenna terrestre. Tuttavia, in alcune zone del territorio, i segnali digitali potrebbero provenire da siti diversi da quelli che irradiano i segnali analogici. In tal caso, potrebbe essere richiesto il montaggio di un'antenna supplementare da puntare verso i siti che trasmettono in digitale.

Allo stato attuale non tutto il territorio risulta coperto dalle emittenti digitali; per conoscere quali sono le emittenti digitali che è possibile ricevere nel luogo in cui ci si trova, è possibile consultare il sito internet: <http://www.dgtvi.it>, nel quale sono riportate tutte le informazioni necessarie sul digitale terrestre in Italia.

Alla pagina copertura è possibile conoscere quali sono i canali ricevibili nella zona, la frequenza in MHz , la polarizzazione in cui va installata l'antenna, questo semplicemente selezionando la località interessata.

Parte III

Bibliografia ed indici

Bibliografia

- [1] <http://www.wikipedia.org>. Wikipedia l'enciclopedia libera.
- [2] R. H. Bishop, *Learning with LabView 8*. Austin - Texas (USA): Pearson Prentice Hall, 1st ed., 2007. ISBN: 0-13-239025-6.
- [3] G. E. Guadagni, *Programmare? Impariamo con il LabView*. Zignonia - Verdellino (BG): Sandit Libri, 1ma ed., Febbraio 2006. ISBN: 88-89150-29-7.
- [4] C. Offelli and A. Sona, *L'analizzatore di Spettro: principi di funzionamento*. Padova: Libreria Progetto.
- [5] A. Deotto and L. Deotto, *Ricezione della Televisione digitale terrestre - DTT e satellitare*. Udine: CO.EL., 1ma ed., 2005.
- [6] "La tv digitale terrestre," *Nuova Elettronica*, vol. 240, pp. 28–40, Maggio - Giugno 2009.
- [7] "Quaderno fracarro n.1."
- [8] R. Valentin, "La trasmissione digitale terrestre dvb-t." <http://www.abe.it>, Febbraio 2004.
- [9] <http://www.dgtvi.it>. Sito ufficiale della Associazione delle Televisioni Italiane.
- [10] "Spectrum analysis....spectrum analyzer basics. application note 150.," Aprile 1974.
- [11] "Spectrum analysis. application note 63.," Agosto 1968.
- [12] "Digital transmitters and links. power and signal level: measurement techniques." <http://www.abe.it>, Marzo 2005.
- [13] "Spectrum analyzer measurements and noise. application note 1303," 1998.
- [14] "Fundamentals of rf and microwave power measurements. application note 64-1a," 1998.
- [15] "Trasmettitori televisivi: misura della potenza." <http://www.abe.it>, Gennaio 1996.

- [16] R. Valentin, "Breve manuale di tecnica digitale per broadcasting tv." <http://www.abe.it>, Gennaio 2004.
- [17] "Broadcast engineer's handbook." <http://www.abe.it>, Ottobre 1999.
- [18] "Understanding the fundamental principles of vector network analysis. application note 1287-1," 1997.
- [19] "Network analysis at microwave frequencies. application note 92," 1970.
- [20] "Network analysis solutions advanced filter tuning using time domain transforms. application note 1287-10," 2001.
- [21] "Exploring the architectures of network analyzers. application note 1287-2," 2000.
- [22] "Network analyzer measurements:filter and amplifier examples. application note 1287-4," 1997.
- [23] "Getting started with labview," Agosto 2007.
- [24] "Database connectivity toolset user manual," Maggio 2001.
- [25] N. Benvenuto and G. Cherubini, *Algorithms for communications systems and their applications*. England: Wiley, 1ma ed., Gennaio 2005. ISBN: 0-470-84389-6.
- [26] N. Benvenuto, R. Corvaja, T. Erseghe, and N. Laurenti, *Communication Systems fundamentals and design methods*. England: Wiley, 1ma ed., 2006. ISBN: 0-470-03352-5.
- [27] M. Midrio, *Campi Elettromagnetici*. Padova: SGEEditoriali, 1ma ed., 2003. ISBN: 88-86281-82-X.
- [28] R. Jaeger and T. Blalock, *Microelettronica*. Milano: McGraw-Hill, 2da ed., 2005. ISBN: 88-386-6198-9.
- [29] M. Bertocco, P. Callegaro, and D. Migliorati, *Ingegneria della qualità*. Milano: Città Studi Edizioni, 1ma ed., 2006. ISBN: 88-251-7294-X.

Elenco delle figure

2.1	Centrale di Transmodulazione Mitan	8
2.2	Up-Converter	10
3.1	Diagramma delle fasi di collaudo 1 di 3	17
3.2	Diagramma delle fasi di collaudo 2 di 3	18
3.3	Diagramma delle fasi di collaudo 3 di 3	19
3.4	Schema di allestimento banco di collaudo	20
3.5	Schema di allestimento banco di collaudo 1	23
3.6	Diagramma della procedura della prova 1, 1 di 3	26
3.7	Diagramma della procedura della prova 1, 2 di 3	27
3.8	Diagramma della procedura della prova 1, 3 di 3	28
3.9	VI di controllo porta parallela	29
3.10	Pin della porta parallela	30
3.11	VI di misura degli assorbimenti	31
3.12	Diagramma della singola misura svolta nella prova 1	32
3.13	Schema di allestimento banco di collaudo 2	33
3.14	Saldatura al test point dell'analizzatore di reti	34
3.15	foto del banco di collaudo	35
3.16	Diagramma della procedura di esecuzione della prova 2, 1 di 2	37
3.17	Diagramma della procedura di esecuzione della prova 2, 2 di 2	38
3.18	Diagramma a blocchi del VI che realizza la prova 2	39
3.19	Diagramma della singola misura svolta nella prova 2	41
3.20	Diagramma della procedura di esecuzione della prova 3, 1 di 2	43
3.21	Diagramma della procedura di esecuzione della prova 3, 2 di 2	44
3.22	Maschera S21 taratura filtro al canale 69	45
3.23	Maschera S11 taratura filtro al canale 69	46
3.24	Maschera S21 taratura filtro al canale 45	47
3.25	Maschera S11 taratura filtro al canale 45	48
3.26	Maschera S21 taratura filtro al canale 21	49
3.27	Maschera S11 taratura filtro al canale 21	50
3.28	Diagramma della procedura di esecuzione della prova 4, 1 di 2	53
3.29	Diagramma della procedura di esecuzione della prova 4, 1 di 2	54
3.30	Diagramma della singola misura svolta nella prova 4, 1 di 2	56

3.31	Diagramma della singola misura svolta nella prova 4, 2 di 2	57
3.32	Maschera controllo spurie	58
3.33	Diagramma della procedura di esecuzione della prova 5	59
4.1	Dettaglio piedinatura porta parallela	62
4.2	Foto della scheda switch realizzata	63
4.3	Schema del circuito di un ramo della scheda	64
6.1	Rappresentazioni di un segnale nel dominio del tempo e frequenza .	72
6.2	Schema a blocchi di un analizzatore di spettro	72
6.3	Schema a blocchi di un mixer	73
6.4	Risposta in frequenza di un filtro selettivo reale	75
6.5	Risposta di un filtro per tempi diversi di permanenza del segnale . .	76
6.6	Schema circuito elettronico di un rivelatore	77
6.7	Spettro di una componente spettrale a frequenza f_I	78
6.8	Misura di livello di un canale DVB-T	79
8.1	Esempio di diffusione televisiva digitale DVB-T	96
8.2	Logo DGTVi	100
8.3	Bollino Blu DGTVi	101
8.4	Bollino Bianco DGTVi	101
8.5	Bollino Gold DGTVi	101

Indice analitico

- 00K, 92
- 16PSK, 92
- 16QAM, 92
- 2FSK, 92
- 64QAM, 92

- algoritmo randomizzatore, 90
- analizzatore di spettro, 69
- appendice A, 69
- appendice C, 87
- aree tecniche DTT, 97
- ASI, 8
- associazione delle televisioni italiane, 98

- banda a $3dB$, 73
- banda a $6dB$, 73
- banda passante, 73
- BER, 91
- Bit Rate, 89
- bit stuffing, 90
- Bit/rate, 92
- bollino bianco, 99
- bollino blu, 98
- bollino gold, 99
- BPSK, 92

- calendario switch off, 97
- CCIR, 96
- centrale di transmodulazione, 7
- CNID, 97
- COFDM 8k, 91, 93
- comitato nazionale Italia digitale, 97
- costellazioni, 92
- crominanza, 88

- deinterleaving, 91
- DGTVi, 97, 98

- diagramma a blocchi, 82
- diffusione in isofrequenza, 87

- filtro selettivo, 70, 72
- frequenza centrale, 73
- frequenza intermedia, 73

- gap fillers, 95
- GOP, 88
- group of frame, 88

- header, 90

- ITU-T, 87

- luminanza, 88

- mixer, 70, 71
- modulazione, 91, 92
- MPEG-2, 88

- noise like, 76
- NTSC, 89

- oscillatore locale, 70

- PAL, 89
- pannello di controllo, 82
- payload, 90
- profili di codifica, 89

- QPSK, 92

- rapporto S_E , 73
- rete SFN, 87
- reti isofrequenza, 93
- rivelatore, 70, 74
- rivelatore di involuppo, 74
- RKM120, 8

RKM420, 8

RS485, 8

SDI, 88

selettività del filtro, 73

serial digital interface, 88

Single Frequency Network, 87

sistema RKM, 8

span, 74

strumentazione di laboratorio, 69

subVI, 82

switch off, 87, 97

symbol/rate, 92

tempo di spazzolamento, 73

transport stream, 89

trasmissione OFDM, 87

tv digitale terrestre, 87

viterbi, 91