



**Università  
degli Studi  
di Ferrara**

Dipartimento di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica e Informatica

## Sviluppo del software di controllo remoto per un oscilloscopio digitale a microonde

Relatore:

Prof.ssa *Valeria Vadalà*

Correlatore:

Dott. Ing. *Gianni Bosi*

Laureando:

Perna Andrea

Anno Accademico 2020/2021



## SOMMARIO

<b>Introduzione</b> .....	1
<b>Capitolo 1: Lo strumento di misura</b> .....	3
1.1 - Informazioni generali .....	3
1.2 - Modalità di funzionamento.....	5
1.3 - Setup di misura .....	7
<b>Capitolo 2: Il software</b> .....	11
2.1 - Funzionamento generale .....	11
2.2 - Inizializzazione dello strumento .....	12
2.3 - Gestione dell'interfaccia .....	14
2.4 - Acquisizione dei dati .....	18
2.5 - Salvataggio dei dati .....	19
2.6 - Arresto del software .....	23
<b>Capitolo 3: Risultati sperimentali</b> .....	25
3.1 - Misure effettuate .....	25
3.2 - Grafici e risultati.....	26
<b>Conclusione</b> .....	33
<b>Referenze</b> .....	35



# INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo elaborato vuole essere quello di rappresentare un'esauriente documentazione, atta a chiarire e spiegare il funzionamento del software realizzato. Tale progetto risponde alla necessità di creare un versatile strumento per il controllo remoto di un oscilloscopio digitale a microonde, al fine di semplificarne l'utilizzo, implementare inedite funzionalità di salvataggio dei dati e di risultare un'alternativa efficace al suo utilizzo manuale.

L'IDE scelto per la progettazione è LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), l'ambiente di sviluppo integrato per il linguaggio di programmazione visuale di National Instruments. Esso si distingue dai linguaggi tradizionali per la sua sintassi prettamente grafica e proprio per questa ragione, infatti, viene chiamato *Graphic Language*.

Nei primi due capitoli verranno approfonditi in dettaglio i temi riguardanti lo strumento di misura controllato, il setup delle misurazioni ed il software di controllo stesso, con particolare interesse ai meccanismi di funzionamento di quest'ultimo. Nel terzo ed ultimo capitolo, verranno invece presentate alcune misure di potenza effettuate su un reale circuito, utilizzando le funzionalità offerte dal software. Il fine del progetto è quello di costituire un vero e proprio punto di riferimento nella gestione remota di questo tipo di oscilloscopi, proponendo un software di controllo automatico dalla spiccata modularità ai fini di un'eventuale espansione futura.



# CAPITOLO 1: LO STRUMENTO DI MISURA

## 1.1 - INFORMAZIONI GENERALI



FIGURA 1.1-1

Gli oscilloscopi della serie DPO70000SX ATI Performance, mostrati in Figura 1.1-1, forniscono una accurata acquisizione dell'andamento dei segnali ad alta velocità, al fine di verificare, convalidare e caratterizzare i progetti elettronici di prossima generazione. Tali strumenti permettono di catturare segnali fino a 70 GHz misurandone accuratamente le loro reali caratteristiche e garantendo inoltre basso rumore e massima fedeltà raggiungibile. L'acquisizione dei segnali a basso rumore e ad alta fedeltà veste un ruolo fondamentale nelle applicazioni a larghezza di banda ultra-larga, tra le quali l'ottica coerente a lungo raggio, il datacom 400G e la RF a banda larga.

I modelli di tale serie creano un esclusivo pacchetto di oscilloscopi compatti, i quali consentono di ottenere un'efficienza dello spazio di lavoro ed una versatilità di montaggio senza precedenti. Essi garantiscono inoltre elevata flessibilità e scalabilità per una semplice riconfigurazione, ai fini di un'espansione futura.

Per questo progetto è stato utilizzato il modello DPO75002SX ATI Performance. Tale strumento include due canali di ingresso ATI a basso rumore da 50 GHz, 200 GSa/s e quattro ingressi TekConnect che garantiscono fino a 33 GHz di banda e 100 GSa/s di velocità di campionamento. Essi, inoltre, offrono molte opzioni di connessione con adattatori TCA e sono compatibili con un'ampia gamma di sonde. Durante il funzionamento dello strumento, è possibile utilizzare solo canali dello stesso tipo, perciò l'attivazione di quelli ATI comporterà di fatto l'inibizione di quelli TekConnect e viceversa. Tali strumenti offrono prestazioni del trigger allo stato dell'arte, con una larghezza di banda dell'Edge trigger superiore a 25 GHz di frequenza ed includono il bus di sincronizzazione multi-unità Tektronix UltraSync. Quest'ultimo viene utilizzato per sincronizzare il clock, il trigger ed il controllo run-stop su più unità, garantendo estrema flessibilità nella configurazione dello strumento di misura. Nel laboratorio ETLab, in cui è stata svolto questo lavoro di tesi, sono presenti quattro unità con le caratteristiche sopra descritte.

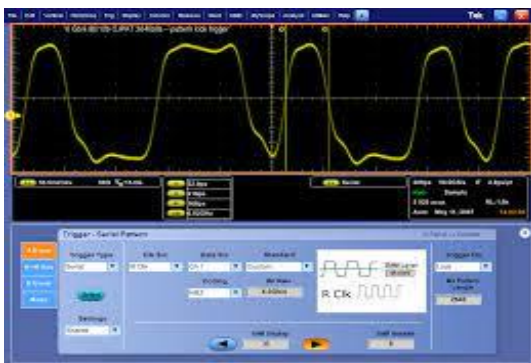


FIGURA 1.1-2

In Figura 1.1-2 è mostrato il pannello frontale dell'oscilloscopio. Esso permette all'utente di usufruire di tutte le funzioni dello strumento, partendo dalle opzioni di visualizzazione fino alle operazioni sui segnali. Inoltre, tramite un apposito menù, è possibile modificare la modalità di funzionamento dello strumento.

Il pannello frontale ausiliario, mostrato in Figura 1.1-3, fornisce all'utilizzatore il medesimo set di controllo incorporato in altri oscilloscopi da banco, utilizzando un collegamento USB verso lo strumento di misura. Questo accessorio migliora l'usabilità e può risultare di grande utilità quando il pannello frontale dello strumento viene ad essere oscurato a causa della posizione di montaggio di quest'ultimo. Attraverso i pulsanti e le manopole presenti su tale pannello è possibile configurare tutte le principali impostazioni dello strumento, con un riscontro pressoché immediato sulle forme d'onda a schermo.



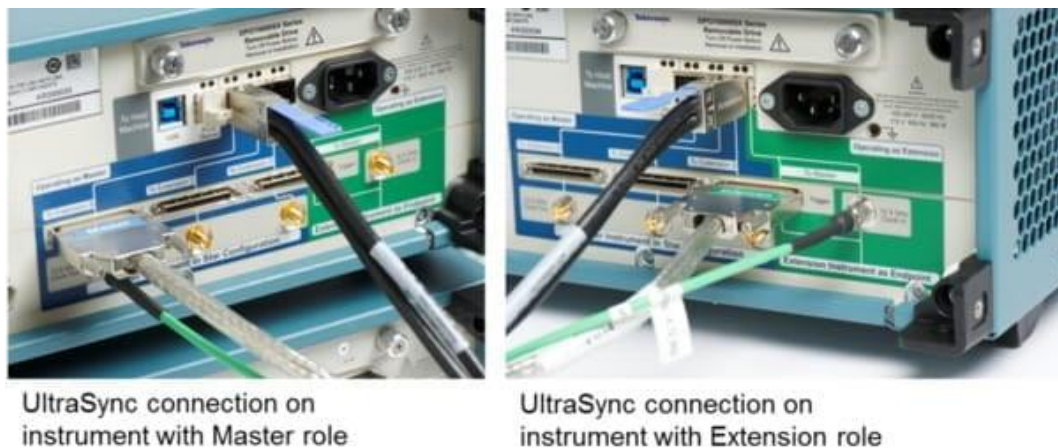
FIGURA 1.1-3



## 1.2 - MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO

L'oscilloscopio DPO75002SX ATI Performance possiede tre principali modalità di funzionamento: ATI, TekConnect e Time Synch. Mediante il comando *Vertical > Configuration* l'utente ha la possibilità di scegliere tra tali opzioni, comandando di fatto il riavvio dello strumento e la riconfigurazione dello stesso.

FIGURA 1.2-1



È possibile collegare le diverse unità creando un sistema fino a quattro canali a 50 GHz o 8 canali a 33 GHz, al fine di realizzare una configurazione multi-strumento. Essa garantisce perfetta sincronizzazione tra trigger e clock di campionamento. Quando si opera in tale condizione, un DPO75002SX assume il ruolo di Master, controllando una o più unità che operano in modalità Extension. Ognuna di esse può funzionare come oscilloscopio autonomo oppure fungere da Master o Extension in una configurazione multi-strumento. I ruoli sono determinati dal cablaggio UltraSync, mostrato in Figura 1.2-1, e non sono necessari elementi aggiuntivi. Ciò consente agli utenti di disaccoppiare le configurazioni multiple in qualsiasi momento e di utilizzare gli strumenti in modo autonomo senza richiedere un'unità di controllo o altri accessori. In alternativa, le unità standalone possono essere facilmente combinate, semplicemente aggiungendo cavi UltraSync tra Master ed Extension. Durante l'avvio di una configurazione multi-unità, un'applicazione di Configuration Manager convalida il cablaggio e fornisce un feedback grafico in caso di elementi mancanti o configurati in modo errato. Successivamente, il sistema presenta l'interfaccia utente di TekScope. All'interno di essa, utilizzando applicazioni di analisi avanzata, vengono raccolte le forme d'onda per la visualizzazione e l'analisi.

La tecnologia brevettata *ATI* (*Asynchronous Time Interleaving*) è all'avanguardia in termini di fedeltà del segnale e permette di raggiungere risultati di misurazione estremamente accurati. Fornisce prestazioni di acquisizione in tempo reale a 50 GHz e 200 GS/s, garantendo un vantaggio intrinseco in termini di rumore rispetto ai metodi di interleaving della larghezza di banda. Quest'ultimo garantisce ottime prestazioni per le analisi di modulazione ottica complessa, jitter, segnali seriali ad alta velocità, analisi di frequenza, fase e modulazione di segnali a banda larga.

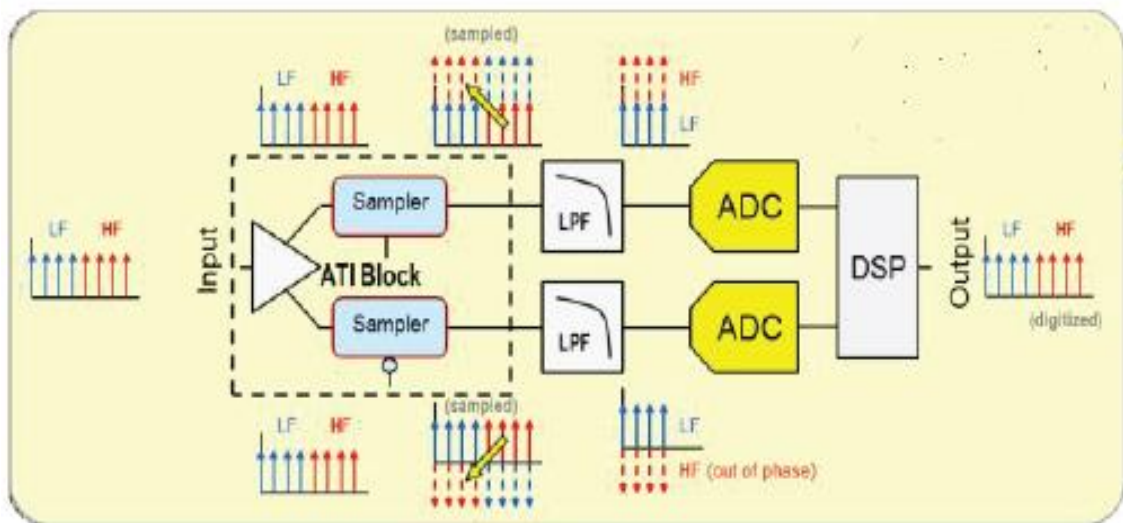


FIGURA 1.2-2

L'architettura ATI di Tektronix fornisce una tecnica simmetrica che convoglia tutta l'energia del segnale a due percorsi di digitalizzazione, con conseguente vantaggio intrinseco in termini di SNR. Il diagramma in Figura 1.2-2 mostra come un segnale, una volta entrato nell'architettura, viene campionato e alternativamente consegnato a ciascun sottosistema di digitalizzazione. Con due copie dell'intera energia del segnale digitalizzate, gli spettri del segnale vengono "dispiegati" utilizzando un equivalente DSP del processo di campionamento e combinati per riprodurre il segnale di ingresso. Poiché due copie del segnale vengono combinate, il processo le media efficacemente insieme, riducendo notevolmente il rumore. L'inversione di fase introdotta dal processo di campionamento fa sì che i componenti a frequenza intermedia si annullino direttamente l'un l'altro, semplificando di fatto la ricostruzione e la calibrazione.

### 1.3 - SETUP DI MISURA

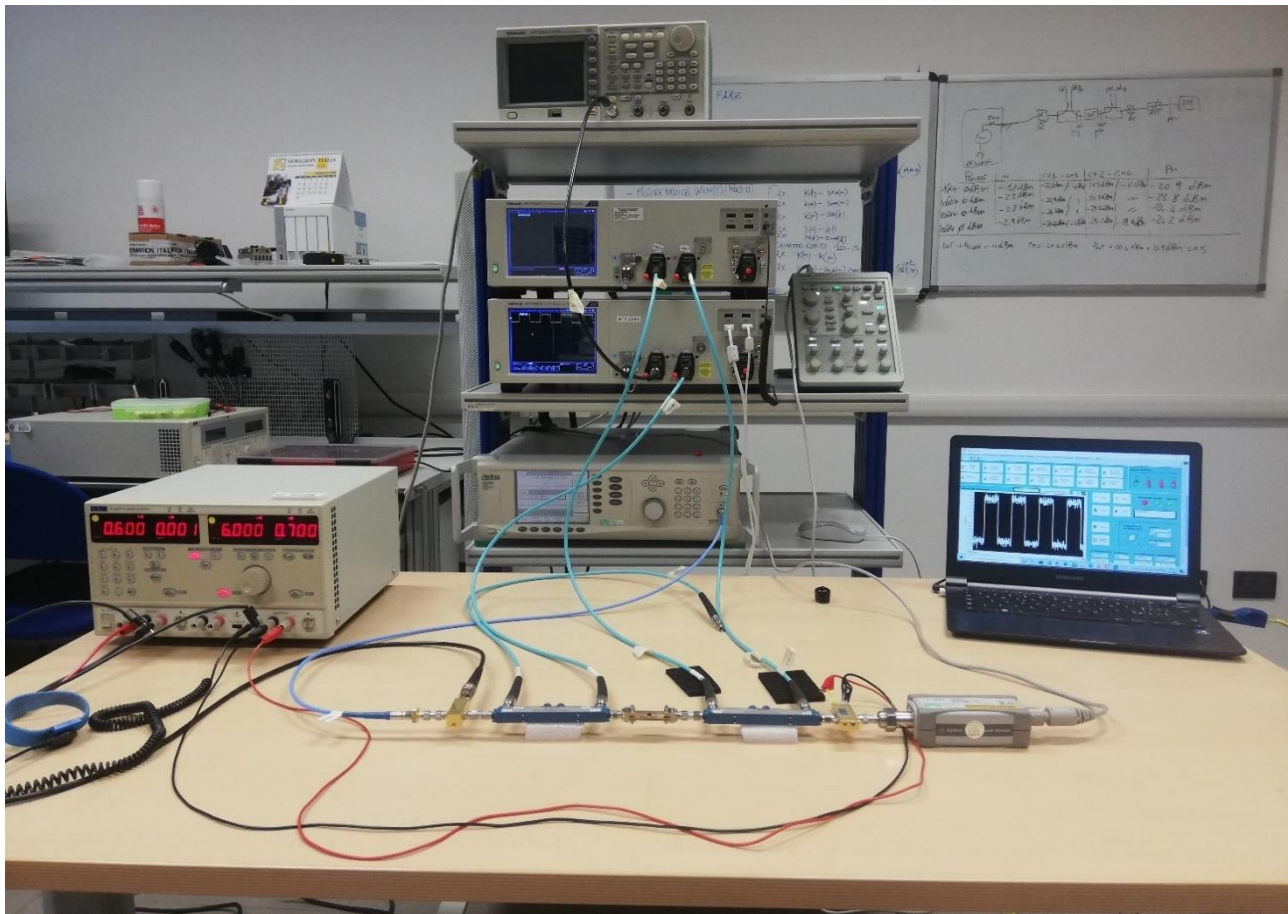
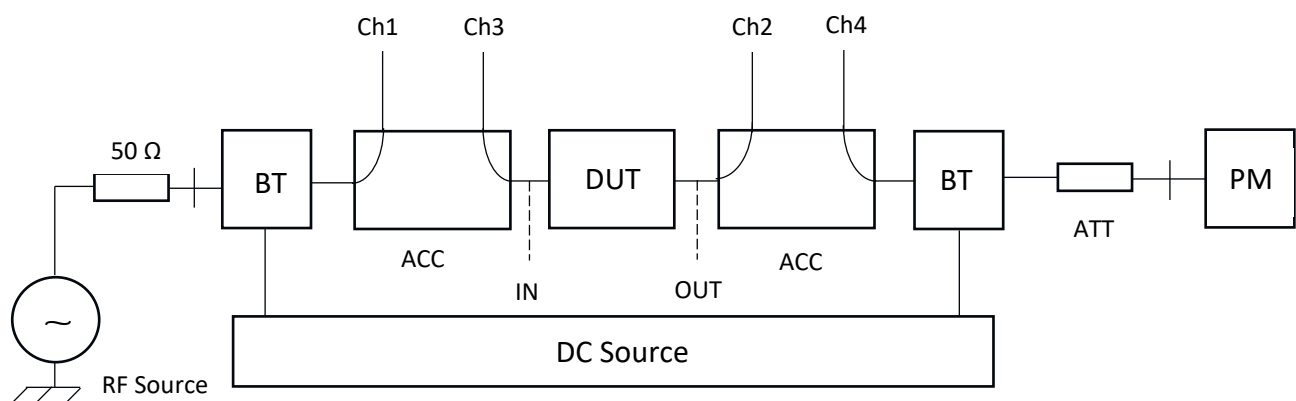


FIGURA 1.3-1

Concluso lo sviluppo del software di controllo remoto è stato installato il setup di misura, mostrato in Figura 1.3-1, al fine di testare e certificare il corretto funzionamento del progetto e la capacità di quest'ultimo di effettuare misurazioni precise ed affidabili. Di seguito è riportato uno schema a blocchi riassuntivo, con lo scopo di schematizzare il sistema di misura utilizzato per eseguire i test.



L'obiettivo è quello di misurare i valori di potenza incidente e riflessa ai capi del DUT (*Device Under Test*), usufruendo delle funzioni fornite dall'interfaccia remota del programma, per calcolare i valori efficaci delle diverse forme d'onda. Queste ultime sono inviate all'oscilloscopio mediante dei cavi coassiali, collegati agli accoppiatori bidirezionali presenti nel sistema di misura. I dati legati alle forme d'onda vengono immagazzinati mediante la funzione di salvataggio del software ed infine graficati. Nelle pagine a seguire verranno analizzati i singoli elementi che, opportunamente connessi tra loro, costituiscono il setup di misura utilizzato per compiere gli esperimenti.

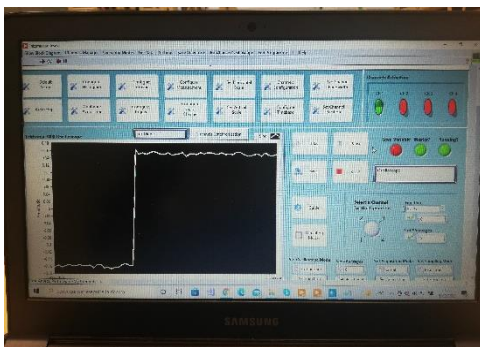


FIGURA 1.3-2

Il software di controllo remoto mostrato in Figura 1.3-2 permette di gestire da remoto l'oscilloscopio, modificandone parametri, impostazioni e settaggi. Attraverso l'interfaccia è possibile visualizzare contemporaneamente fino a quattro forme d'onda presenti sui canali dello strumento di misura.

Lo strumento di misura utilizzato è l'oscilloscopio DPO75002SX ATI Performance, mostrato in Figura 1.3-3. Esso permette di catturare segnali fino a 50 GHz sfruttando l'innovativa tecnologia ATI, garantendo la massima fedeltà possibile. In Figura 1.3-3 è mostrato un esempio di connessione a due unità con quattro canali Tek a 33 GHz.



FIGURA 1.3-3



FIGURA 1.3-4

Il misuratore di potenza è un dispositivo utilizzato per misurare la potenza di un segnale a radiofrequenza. Ai fini dell'esperimento, è stato utilizzato il sensore Agilent U2002A mostrato in Figura 1.3-4, operante all'interno della banda di frequenze 50 MHz-24 GHz, con un range di potenza da -60 a +24 dBm (1 nW – 100 mW).



Il DUT utilizzato per le misurazioni è il transistor FLU10ZME1, di tipo FET, realizzato in arseniuro di gallio (*GaAs*). Tale dispositivo, mostrato in Figura 1.3-5, è ottimizzato per applicazioni di potenza in banda L e fornisce una potenza di uscita massima di circa 1 W.

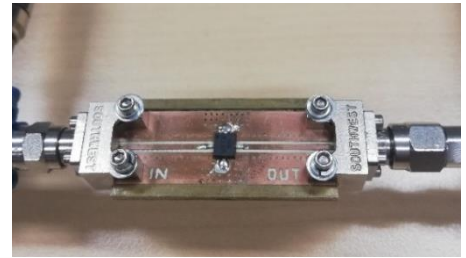


FIGURA 1.3-5

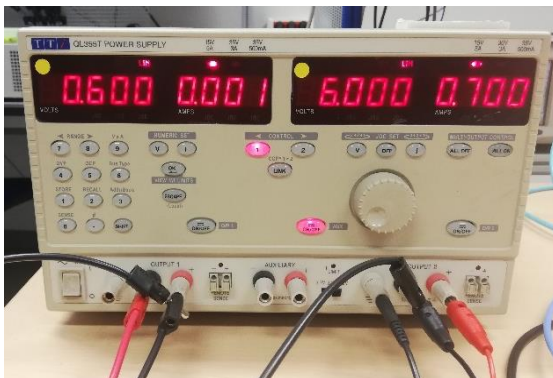


FIGURA 1.3-6

Un alimentatore da banco, mostrato in Figura 1.3-6, è un convertitore AC/DC, essenziale nei casi in cui si necessita di una fonte di alimentazione affidabile e stabile con tensioni differenti. Sono strumenti molto utili nei circuiti di prova, in quanto consentono di regolare la tensione e la corrente su valori specifici a seconda del progetto.

Le Bias Tee sono componenti comunemente presenti all'interno di banchi di misura a RF; vengono scelti in funzione della loro banda e della potenza che riescono a gestire. Hanno lo scopo di evitare l'interazione tra la sorgente RF e quella DC, utilizzate rispettivamente per eccitare ed alimentare il dispositivo.

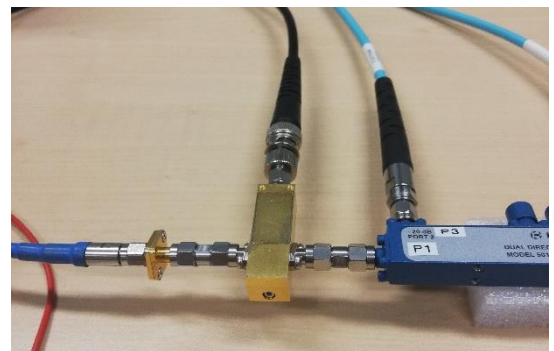


FIGURA 1.3-7

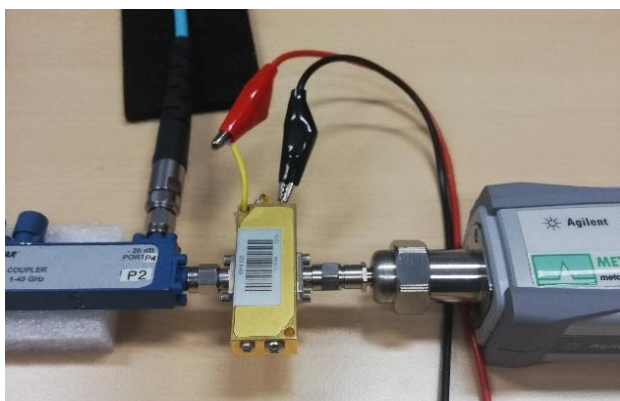


FIGURA 1.3-8

Nel circuito sono presenti due Bias Tee, mostrate rispettivamente in Figura 1.3-7 ed in Figura 1.3-8, che si trovano all'interno di altrettanti percorsi simmetrici, rispettivamente a valle e a monte del dispositivo analizzato. Nel ramo di uscita, il componente è collegato al Power Meter attraverso un attenuatore da 20 dB.

L'accoppiatore bidirezionale 501040020k 1-40 GHz di KRYTAR, mostrato in Figura 1.3-9, è progettato per prelevare le onde incidenti e riflesse sul percorso RF in cui è inserito per potenze sino a 20 W. Il fattore di accoppiamento è di 20 dB. Nel setup di misura vi sono due accoppiatori, collegati all'ingresso e all'uscita del DUT e connessi all'oscilloscopio.



FIGURA 1.3-9

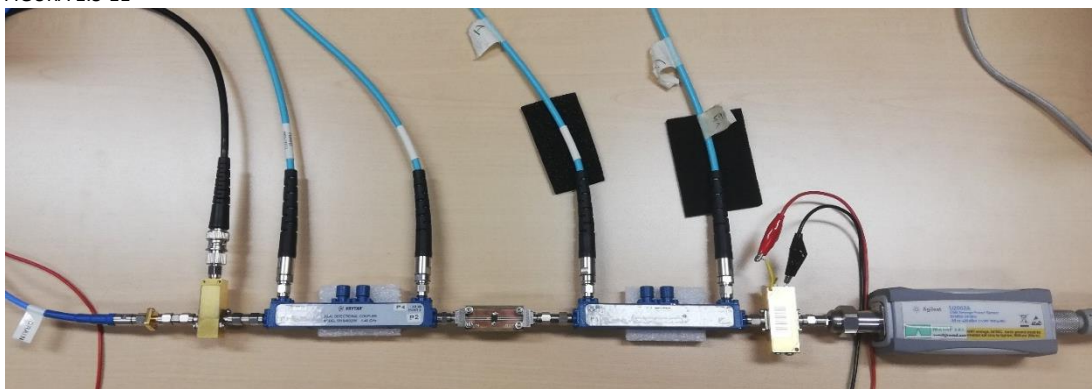


FIGURA 1.3-10

Il generatore RF di segnali a microonde Anritsu MG3692B, mostrato in Figura 1.3-10, è uno strumento particolarmente utilizzato per i test di apparecchiature elettroniche. Offre una potenza di uscita massima di 23 dBm ed una frequenza massima di 20 GHz, la miglior purezza spettrale della categoria.

Il setup di misura è interamente riportato in Figura 1.3-11. I valori di potenza al DUT sono stati calcolati misurando le tensioni efficaci delle forme d'onda presenti sui canali dello strumento. Il primo ed il secondo canale dell'oscilloscopio forniscono rispettivamente la potenza in ingresso e in uscita al DUT, catturando di fatto le onde incidenti e riflesse. Al fine di calcolare i valori reali ai capi del transistor, i percorsi del segnale RF sono stati preventivamente caratterizzati al fine di riportare le misure di potenza ai piani di riferimento corretti.

FIGURA 1.3-11



## CAPITOLO 2: IL SOFTWARE

### 2.1 - FUNZIONAMENTO GENERALE

Lo scopo del software sviluppato è quello di rappresentare un'interfaccia con l'oscilloscopio digitale, al fine di fornire all'utente le funzionalità più importanti dello strumento. Esso vuole garantire la lettura e la visualizzazione delle forme d'onda, introducendo allo stesso tempo un'importante funzione di salvataggio dei dati. La versatilità e la dinamicità tipiche dell'ambiente di sviluppo permettono inoltre di ottenere un algoritmo solido e modulare, capace di svolgere più operazioni in parallelo. Attraverso gli strumenti di I/O offerti dal linguaggio di programmazione utilizzato, si è sviluppata una funzione di salvataggio su file, con lo scopo di "catturare" le forme d'onda presenti sui quattro canali dell'oscilloscopio e memorizzarle in forma numerica all'interno di un file di testo, selezionato o creato dall'utente stesso.

È possibile schematizzare il funzionamento del software suddividendolo in cinque macro-blocchi, i quali costituiscono le principali operazioni che l'algoritmo prevede; tale logica è descritta dal diagramma a blocchi di Figura 2.1-1. A seguito di una fase preliminare di inizializzazione, durante la quale vengono definite la modalità di funzionamento ed i principali settaggi dello strumento, viene avviato il corpo del programma. In questa sede sono presenti tre cicli di lavoro indipendenti, i quali svolgono le tre operazioni fondamentali del software: la gestione dell'interfaccia, la lettura dei dati e la loro scrittura. Infine, mediante la pressione del pulsante di stop, l'utente potrà arrestare il programma ed effettuare la disconnessione tra l'oscilloscopio e l'interfaccia.

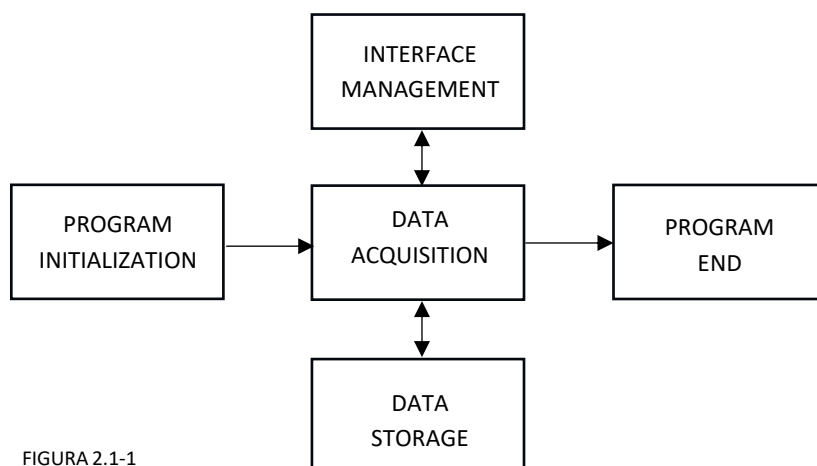


FIGURA 2.1-1





3. Pulizia del grafico e delle forme d'onda eventualmente presenti sullo schermo dell'interfaccia tramite l'utilizzo di un Property Node dedicato, mostrato in Figura 2.2-4.



FIGURA 2.2-4

4. Controllo della connessione con l'unità Master mediante la VISA Reference, necessario per la corretta comunicazione tra strumento e software. Il codice è mostrato in Figura 2.2-5.

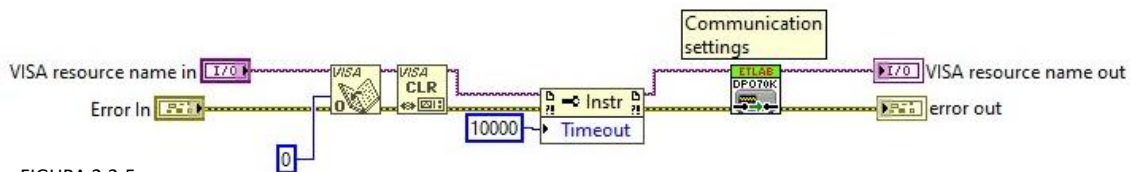


FIGURA 2.2-5

5. Inizializzazione delle variabili di programmazione ad uno stato noto, come indicato in Figura 2.2-6. Il fine è quello di sincronizzare le operazioni dello strumento e definire una configurazione iniziale degli indicatori, del display e dei principali elementi dinamici dell'interfaccia.

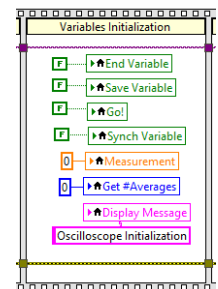
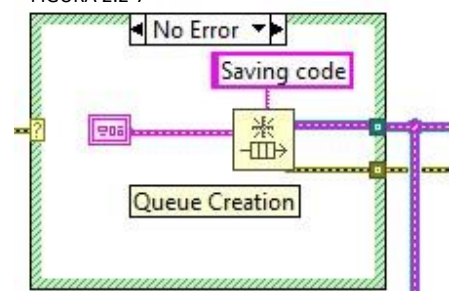


FIGURA 2.2-6

6. Sincronizzazione dello stato dei canali dell'oscilloscopio mediante il programma *Channel\_Active\_Request.vi*. Tale programma fornisce un'informazione utile al settaggio dei pulsanti di attivazione dei quattro canali. La struttura di tale VI è analoga a quella descritta al punto 2.
7. Settaggio dello strumento nello stato "Run", nel quale esso inizia a campionare ed acquisire le forme d'onda presenti sui canali. Sarà possibile in seguito modificare tale impostazione dai pulsanti dedicati nell'interfaccia del programma.

8. Creazione della *Saving Queue*, mostrata in Figura 2.2-7, principale mezzo di comunicazione tra i cicli di salvataggio ed acquisizione. Essa conterrà tutte le informazioni necessarie al salvataggio dei dati, fornendole al VI dedicato alla pressione del pulsante Save.

FIGURA 2.2-7



## 2.3 - GESTIONE DELL'INTERFACCIA

Un elemento chiave del software è sicuramente costituito dall'interfaccia utente, mostrata in Figura 2.3-1. Essa rappresenta il vero e proprio punto di collegamento con lo strumento di misura, fornendo all'utilizzatore tutte le informazioni relative allo stato dell'oscilloscopio e la possibilità di compiere operazioni di settaggio, scrittura e lettura dei dati. Indicatori, pulsanti e display vengono sincronizzati preventivamente durante la fase di inizializzazione e costituiscono un utile strumento nelle mani dell'utente, che può utilizzarli per modificare i parametri del dispositivo.

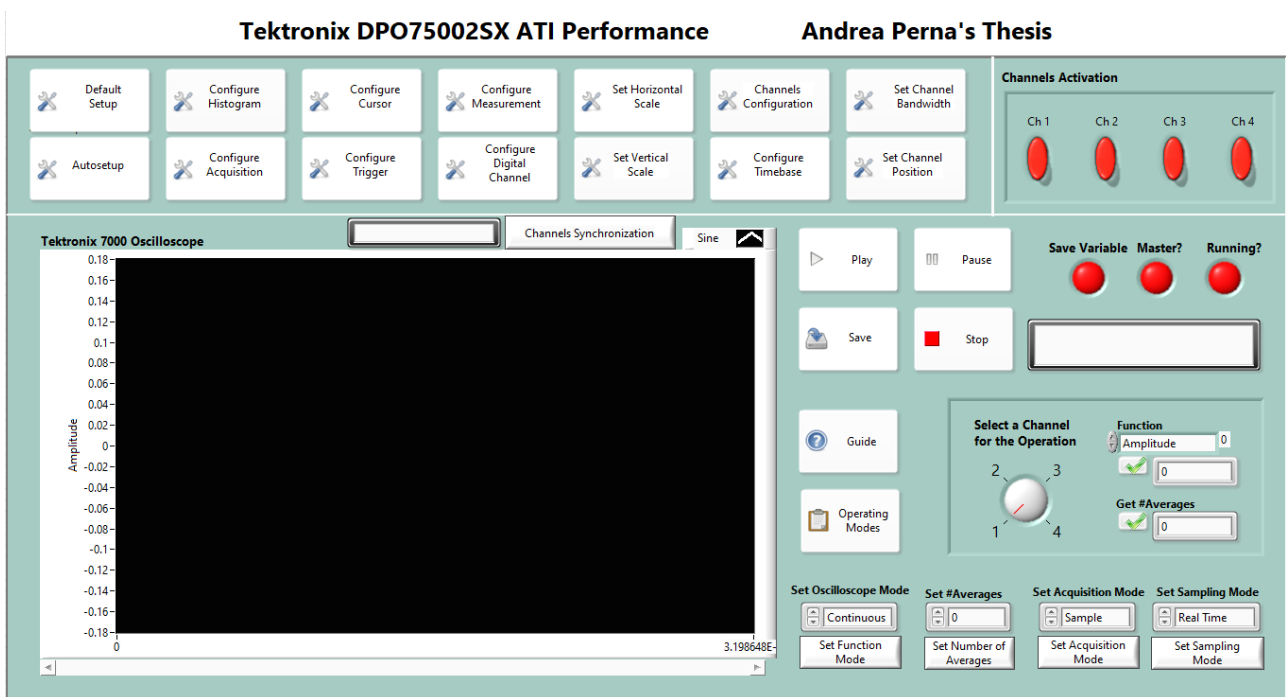


FIGURA 2.3-1

Le impostazioni dello strumento sono gestite all'interno di VI dedicati, come mostrato nell'esempio in Figura 2.3-2, ai quali è possibile accedere premendo il relativo pulsante nell'Interfaccia oppure dalla corrispondente finestra presente nel Run-Time Menu. Tali programmi, una volta richiamati, potranno essere utilizzati dall'utente ed il loro funzionamento sarà completamente parallelo ed indipendente rispetto all'algoritmo principale dedicato all'Interfaccia.

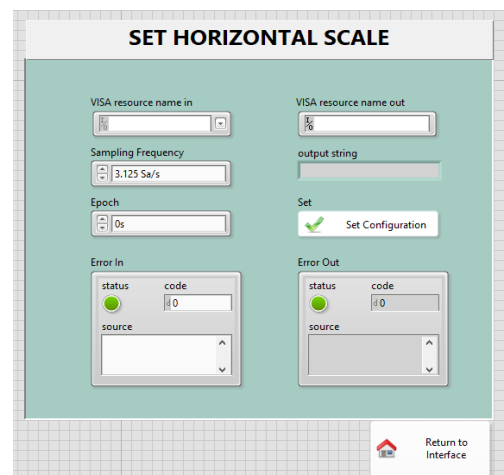


FIGURA 2.3-2

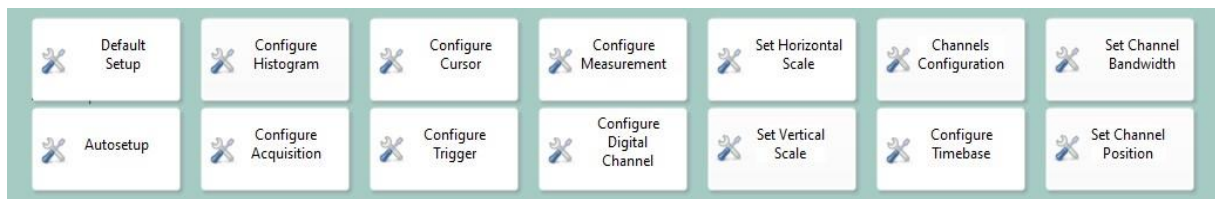


FIGURA 2.3-3

Tali strumenti si rivelano fondamentali nel momento in cui sorgesse la necessità di modificare particolari impostazioni dell'oscilloscopio, partendo dalla scala orizzontale e da quelle verticali, sino ad arrivare al cursore e all'istogramma. La pulsantiera mostrata in Figura 2.3-3 permette all'utente di richiamare i VI dedicati ai singoli settaggi.

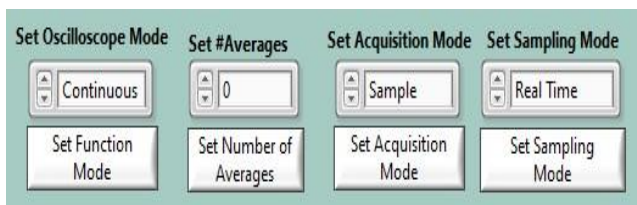


FIGURA 2.3-4

L'utente ha inoltre la possibilità di set-tare le impostazioni più importanti diret-tamente dall'interfaccia, come mostrato in Figura 2.3-4, senza dover interagire con VI esterni a quello principale.

La pulsantiera *Channels Activation*, mostrata in Figura 2.3-5, permette di modificare lo stato dei quattro canali. Tale azione comporta l'aggiornamento del grafico raffigurante le forme d'onda presenti sui canali attivi.

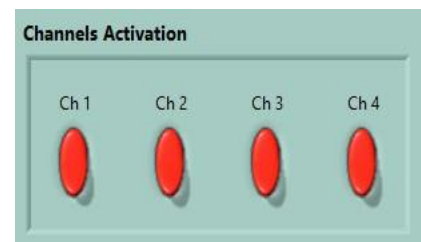
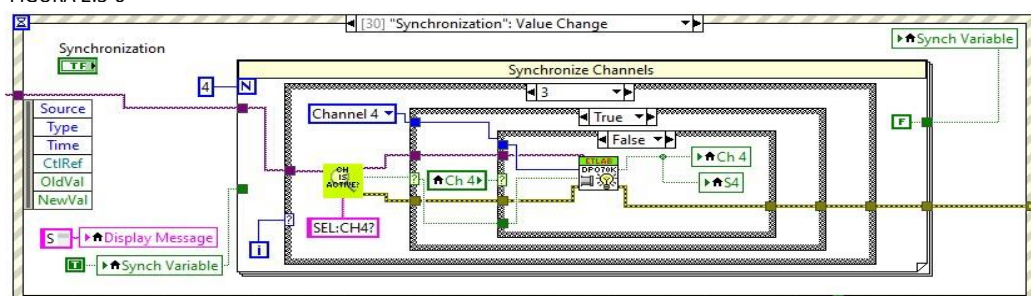


FIGURA 2.3-5

È presente una funzione di sincronizzazione di questi ultimi, attivabile dal pulsante *Channel Synchronization*. Essa aggiorna gli indicatori e le forme d'onda sulla base del reale stato dei canali. Tale feature può risultare particolarmente utile qualora venisse modificata la configurazione dal dispositivo stesso, il codice è mostrato in Figura 2.3-6. Di contro, essa richiede il temporaneo arresto dell'acquisizione delle forme d'onda.

FIGURA 2.3-6



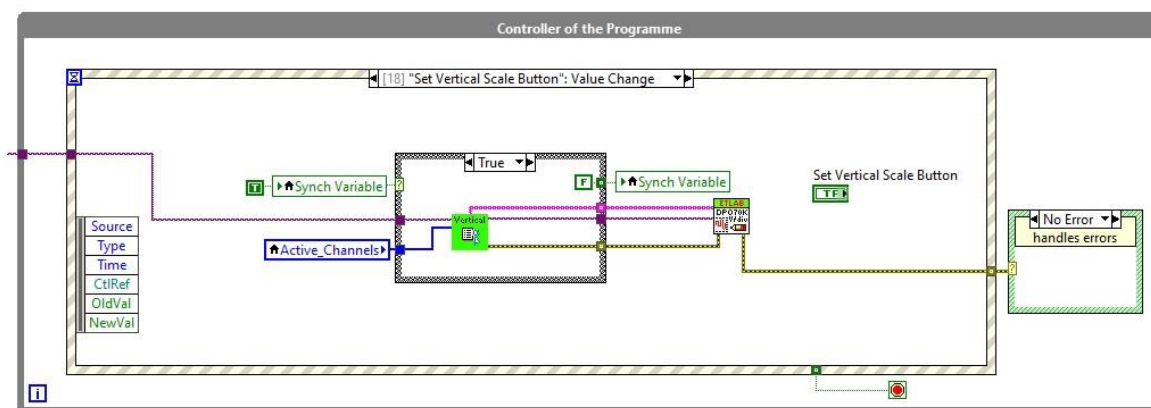


FIGURA 2.3-7

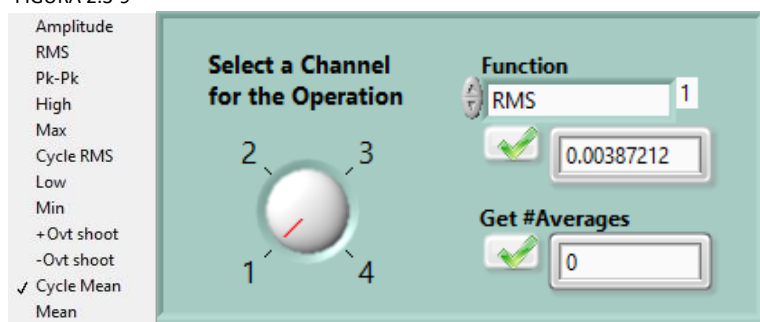
Gli elementi dell'interfaccia sono gestiti mediante una *Event Structure*, mostrata in Figura 2.3-7, che permette di controllare tutte le possibili azioni che l'utente può effettuare con gli elementi a sua disposizione. Quest'ultimo potrà infatti interagire con i pulsanti che rimandano ai VI di settaggio, con le funzioni di *Pause* e *Save*, triggerare eventi legati alla chiusura del programma oppure interagire con il *Run-Time Menu*. In Figura 2.3-8 vi è l'elenco di tutti gli eventi gestiti dalla struttura. All'interno di ognuno di essi sono presenti VI dedicati, che gestiscono ogni singolo aspetto della configurazione dell'oscilloscopio e dello stato dell'interfaccia.

FIGURA 2.3-8

- [0] "Set Horizontal Scale Button": Value Change
- [1] "Histogram Configuration": Value Change
- [2] "Cursor Configuration": Value Change
- [3] "Timebase Configuration": Value Change
- [4] "Configure Measurement": Value Change
- [5] "Configure Acquisition": Value Change
- [6] "Go2": Value Change
- [7] "Configure Digital Channel": Value Change
- [8] "Set Sampling Mode": Value Change
- [9] "Trigger Configuration": Value Change
- [10] "Set Acquisition Mode": Value Change
- [11] "Channels Configuration": Value Change
- [12] "Operating Modes": Value Change
- [13] "Go1": Value Change
- [14] Panel Close?
- [15] Menu Selection (User)
- [16] "Channels Bandwidth": Value Change
- [17] "Channels Position": Value Change
- [18] "Set Vertical Scale Button": Value Change
- [19] "Autosetup": Value Change
- [20] "Set Number of Averages": Value Change
- [21] "Ch 1": Value Change
- [22] "Ch 2": Value Change
- [23] "Ch 3": Value Change
- [24] "Ch 4": Value Change
- [25] "Guide Button": Value Change
- [26] "Set Mode": Value Change
- [27] "Save Button": Value Change
- [28] "Default Setup Button": Value Change
- [29] "End Button": Value Change
- [30] "Synchronization": Value Change
- ✓ [31] "Play Button": Value Change
- [32] "Pause Button": Value Change

Il riquadro dell'interfaccia mostrato in Figura 2.3-9, consente all'utente di effettuare il calcolo di semplici funzioni legate alle forme d'onda presenti sullo schermo. Premendo sui relativi pulsanti di conferma, è possibile infatti visualizzare sui rispettivi indicatori il numero di medie ed altre semplici funzioni di misura sui segnali. Per queste ultime, inoltre, è necessario impostare il canale di riferimento per il quale si vuole eseguire la misura.

FIGURA 2.3-9



Attraverso la pulsantiera situata accanto al display, mostrata in Figura 2.3-10, è possibile richiamare le più importanti funzioni del progetto. Esse rappresentano il cuore della gestione dell'oscilloscopio, fornendo all'utente le funzionalità di salvataggio dati, arresto, controllo acquisizione, guida al software e cambio della modalità di funzionamento.

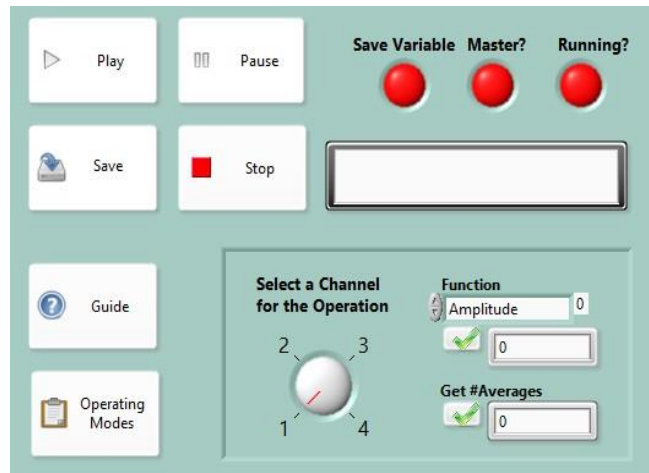
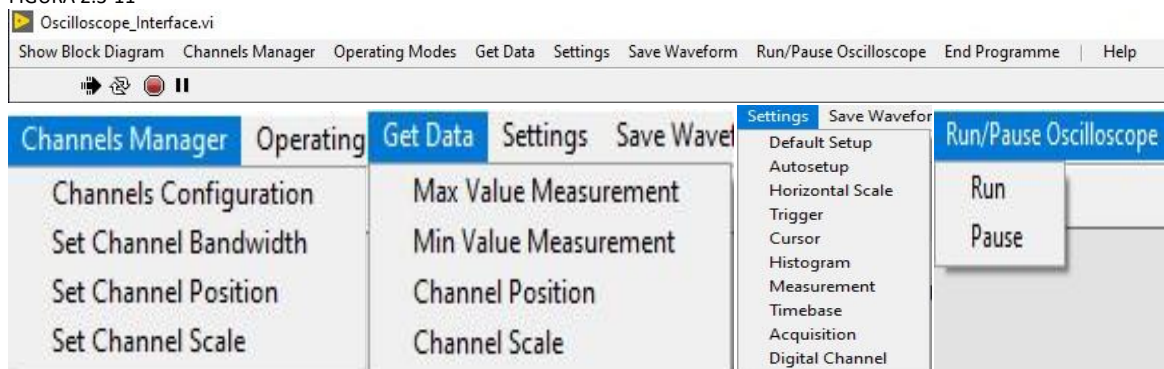


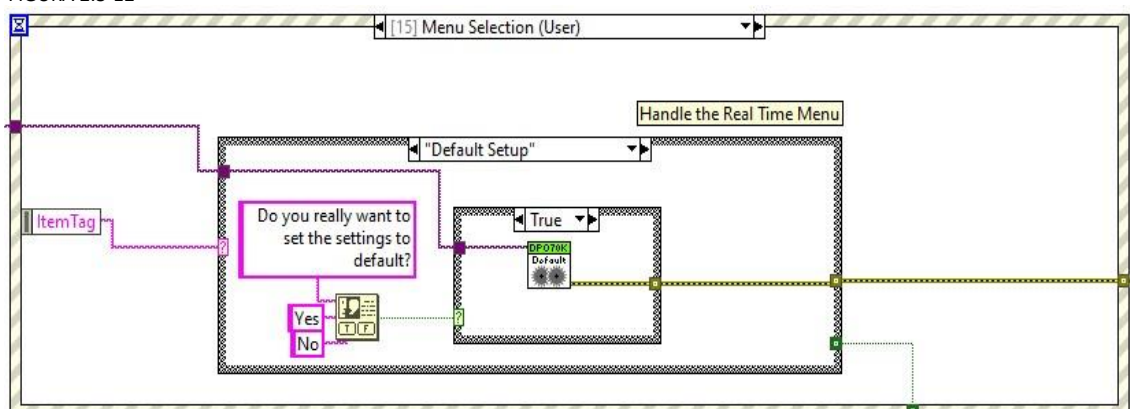
FIGURA 2.3-10

FIGURA 2.3-11



Un'ultima importantissima funzione dell'Interfaccia è quella del *Run-Time Menu*. Durante l'esecuzione del programma, sarà attivato in alto a sinistra un menù a tendine, mostrato in Figura 2.3-11, nelle quali saranno presenti le medesime funzioni offerte dall'interfaccia. Esso può rivelarsi un rapido metodo di ricerca e gestione per l'utente. Nel Block Diagram tale feature è gestita mediante una *Case Structure*, mostrata in Figura 2.3-12, che esegue l'algoritmo corrispondente sulla base dell'*ItemTag*. Quest'ultima è una stringa legata alla voce del menu selezionata e generata automaticamente dal software alla sua selezione.

FIGURA 2.3-12





## 2.4 - ACQUISIZIONE DEI DATI

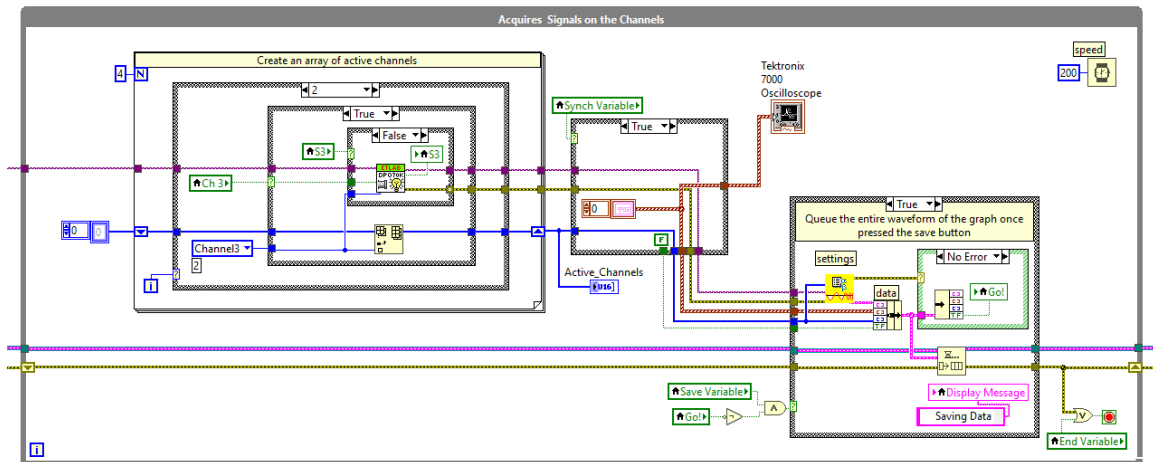
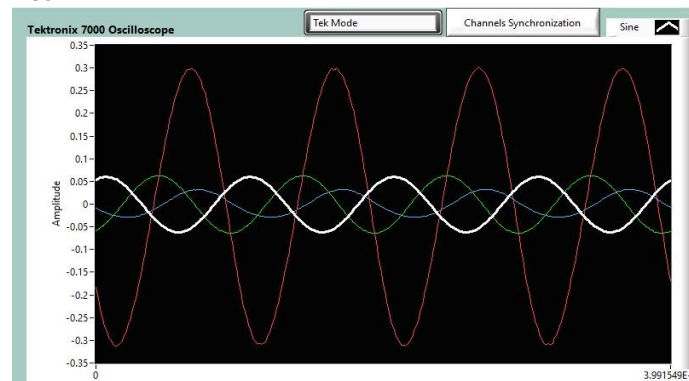


FIGURA 2.4-1

L'acquisizione dei dati e la visualizzazione sul grafico delle forme d'onda sono governate dal ciclo centrale mostrato in Figura 2.4-1, il quale si occupa di gestirne sincronizzazione e dinamicità. Il suo compito è quello di graficare le forme d'onda presenti sui canali e di creare il cluster contenente le informazioni necessarie al salvataggio.

L'elemento essenziale ai fini del corretto funzionamento dell'algoritmo è il ciclo *for*, il cui compito è di controllare ad ogni iterazione lo stato dei canali, aggiornando gli indicatori in funzione di essi. Utilizzando le variabili booleane associate a questi ultimi tale ciclo esegue un periodico controllo, al fine di sincronizzare il software con la reale configurazione dello strumento. A valle di tale processo verrà generato un array comprendente la lista dei canali attivi. Tale informazione, consentirà di comandare l'acquisizione delle forme d'onda attraverso il software *DPO\_7K Read Multiple Waveforms.vi* e sarà fondamentale per un eventuale salvataggio dei dati. In Figura 2.4-2 è mostrata l'acquisizione di dati relativa all'esperimento descritto nel Capitolo 1.

FIGURA 2.4-2

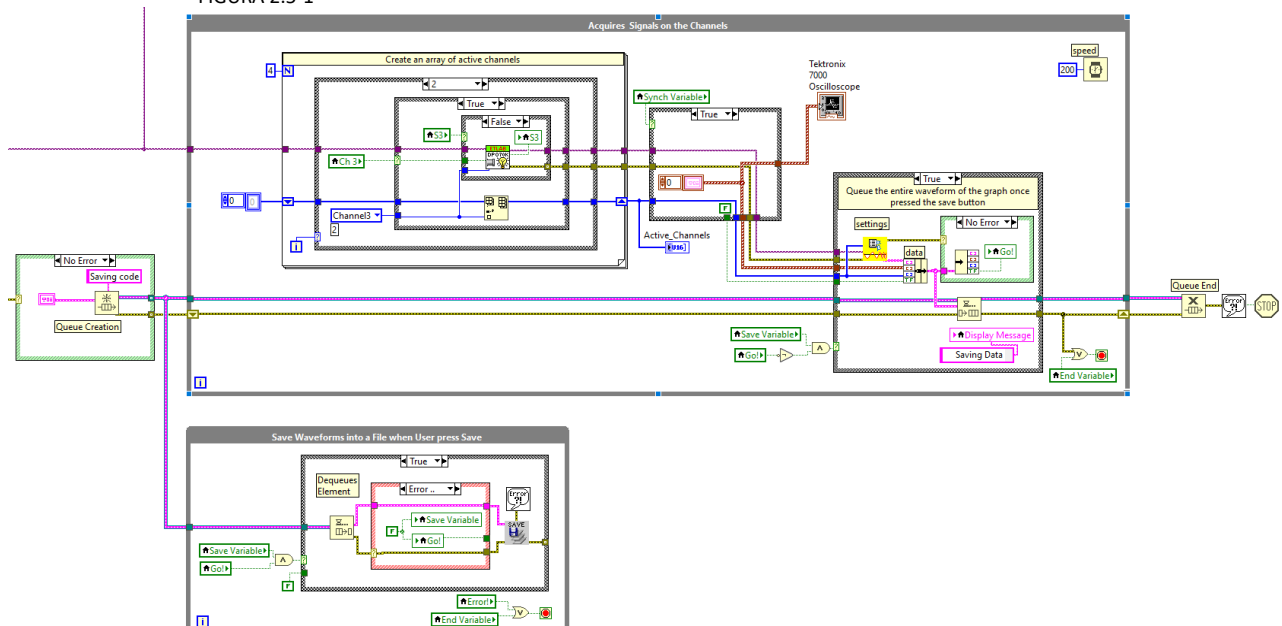


## 2.5 - SALVATAGGIO DEI DATI

Una delle feature più utili ed ambiziose dell'intero progetto software, è sicuramente quella riguardante il salvataggio dei dati. Essa risponde alla necessità di fornire all'utente un comodo strumento di archiviazione delle informazioni, in particolare delle forme d'onda presenti contemporaneamente sui quattro canali dell'oscilloscopio. Il fine ultimo di tale meccanismo è quello di creare un file di testo, in una locazione di memoria definita dall'utente, all'interno del quale vengano salvati i valori di ampiezza delle forme d'onda presenti su ogni canale. Inoltre, all'interno di tale file, sarà presente un'intestazione commentata riportante i settaggi più importanti dello strumento al momento del salvataggio.

Alla pressione del pulsante *Save*, l'utente potrà avviare l'algoritmo di scrittura. Tale funzionalità sfrutta il rapido meccanismo di comunicazione offerto dalla *Queue*, al fine di permettere lo scambio di informazioni tra i cicli di acquisizione e di salvataggio. Una volta premuto il pulsante e triggerata la variabile booleana *Save Variable* verranno memorizzate, a partire dal ciclo di acquisizione, tutte le informazioni utili all'archiviazione all'interno di un cluster. Quest'ultimo verrà a sua volta inviato alla coda e contemporaneamente, mediante la variabile booleana *Go!*, sarà fatto partire il ciclo sottostante. Entrambi i cicli di acquisizione salvataggio sono riportati in Figura 2.5-1. Questa operazione di scrittura sulla coda avverrà una sola volta a pressione ed una volta conclusa, permetterà al ciclo di salvataggio di utilizzare tale cluster.

FIGURA 2.5-1



La lettura delle impostazioni dello strumento avviene all'interno del VI *Parameters\_Request.vi* mostrato in Figura 2.5-2, fondamentale per la scrittura del file di testo e l'indentazione dell'header. Esso si compone di cinque subVI, ognuno dei quali è dedicato alla lettura di determinate impostazioni. Per poter richiedere i dati allo strumento, essi sfruttano il meccanismo di comunicazione della *VISA Reference* ed una volta ottenuti, si occupano di associare ogni informazione ad una stringa. Ogni VI fornisce in uscita un array contenente tutte le impostazioni dello strumento in versione testuale. Per poter scrivere tali settaggi sotto forma di commento all'interno del file di testo, è opportuno aggiungere un punto esclamativo come primo carattere di ogni stringa. Il compito del software sarà quello di raccogliere le informazioni provenienti da ognuno dei VI dedicati alla lettura delle impostazioni e fornire ad *Oscilloscope\_Interface* un unico array, opportunamente indentato per poter svolgere il ruolo di header del file di testo. Un esempio d'applicazione di tale algoritmo è rappresentato dal VI *Get\_Horizontal\_Scale.vi*, il cui codice è mostrato in Figura 2.5-3.

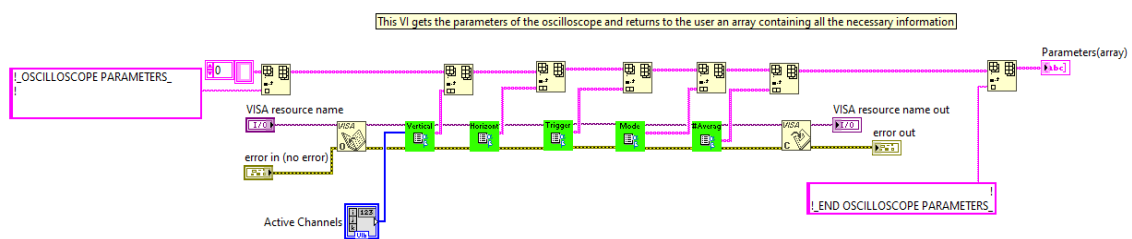
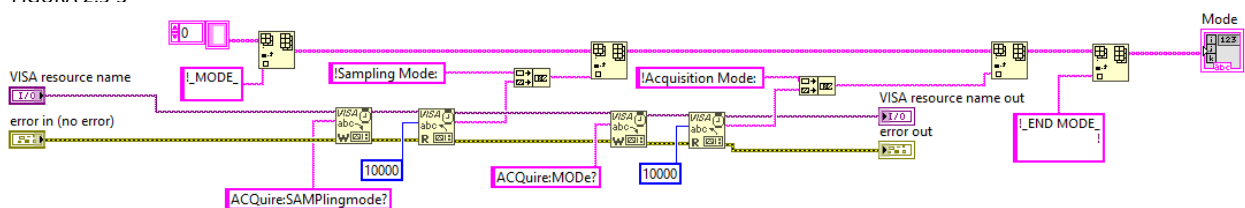


FIGURA 2.5-2

Un aspetto chiave da dover tenere in considerazione quando si comunica con la *VISA Reference*, è quello di utilizzare i comandi in modo sequenziale. Qualora si tentasse infatti di comunicare contemporaneamente con lo strumento da due punti differenti, si riscontrerebbero errori all'interno delle *VISA Read*. Tale problema è maggiormente riscontrabile in seguito ad operazioni di lettura, in quanto diversamente dalle operazioni di settaggio, sarà richiesta una risposta da parte dello strumento. Dal momento che la corretta scrittura delle impostazioni non è subordinata al numero di VI di acquisizione di quest'ultime, risulterebbe comodo ed intuitivo ampliare tale struttura con nuovi VI di lettura, al fine di aggiungere elementi all'header del file.

FIGURA 2.5-3





Conclusa la fase di creazione del cluster viene eseguito il VI *Save\_Mode.vi*, mostrato in Figura 2.5-4, il cui compito è quello di creare e compilare il file di testo utilizzando le informazioni ricevute in ingresso dall'interfaccia.

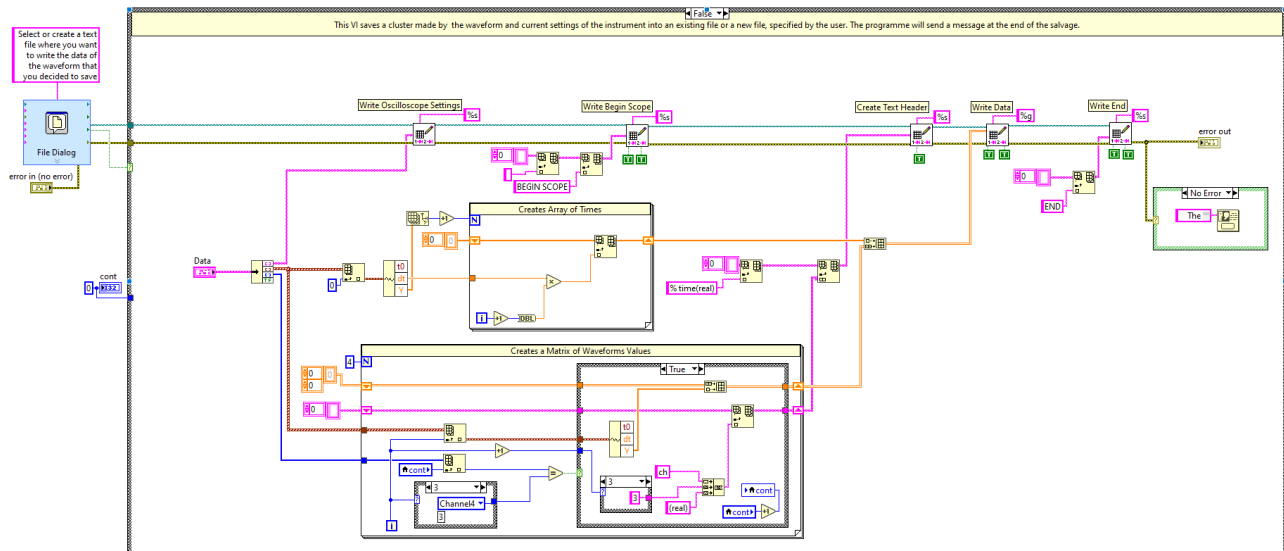


FIGURA 2.5-4

Il programma richiede all'utente di creare un file di testo oppure di selezionarne uno già esistente. La scrittura richiede l'utilizzo di cinque occorrenze del VI *Write Delimited Spreadsheet.vi*, il quale si occupa di scrivere i dati in ingresso, siano essi mono o multidimensionali, sotto forma di tabella. In prima istanza viene scritta sotto forma di commento un'intestazione, contenente tutte le impostazioni dell'oscilloscopio al momento della pressione del pulsante di salvataggio. Successivamente vengono inseriti, tra i termini BEGIN SCOPE ed END, i valori di ampiezza delle forme d'onda presenti sul display, opportunamente incolonnati in funzione del numero di canali attivi sull'oscilloscopio. La prima colonna, invece, sarà sempre dedicata alla scrittura della base dei tempi, analoga per tutti i canali ed indicata in forma esponenziale. Fondamentali in tal senso sono le informazioni contenute nel cluster, generate precedentemente dal VI *Oscilloscope\_Parameters.vi* e presenti in ingresso al VI di scrittura.

Nella pagina successiva, in Figura 2.5-5 è presente un file di testo di esempio, generato dall'algoritmo di salvataggio in seguito alla pressione del tasto *Save*. Tale documentazione fa riferimento ad una configurazione dell'oscilloscopio con quattro canali contemporaneamente attivi.

```

!_OSCILLOSCOPE PARAMETERS_
!
    !_CHANNEL SETTINGS_
    !Position:
    !CH1:0.0000
    !CH2:0.0000
    !CH3:0.0000
    !CH4:0.0000
    !Scale:
    !CH1:20.0000E-3
    !CH2:120.0000E-3
    !CH3:30.0000E-3
    !CH4:15.0000E-3
    !Bandwidth:
    !CH1:1.0000E+9
    !CH2:33.0000E+9
    !CH3:33.0000E+9
    !CH4:33.0000E+9
    !_END CHANNEL SETTINGS_
!
    !_HORIZONTAL SCALE_
    !Sampling Frequency: 100.0000E+9
    !Epoch: 400
    !_END HORIZONTAL SCALE_
!
    !_TRIGGER_
    !Source: CH2
    !Level: 0.0000
    !Slope: RIS
    !Coupling: AC
    !_END TRIGGER_
!
    !_MODE_
    !Sampling Mode: IT
    !Acquisition Mode: AVE
    !_END MODE_
!
    !_DATA_
    !Number of Averages: 16
    !_END DATA_
!
!_END OSCILLOSCOPE PARAMETERS_

```

```

BEGIN SCOPE
% time(real)    ch1(real)    ch2(real)    ch3(real)    ch4(real)
1.000000E-11    0.082722    -0.352894    -0.103434    -0.021247
2.000000E-11    0.084978    -0.382462    -0.100073    -0.022941
3.000000E-11    0.086859    -0.406106    -0.096244    -0.024690
4.000000E-11    0.088416    -0.428737    -0.092194    -0.025967
5.000000E-11    0.089609    -0.454875    -0.088402    -0.027188
6.000000E-11    0.090394    -0.478125    -0.083358    -0.028395
7.000000E-11    0.090944    -0.495900    -0.077705    -0.029164
8.000000E-11    0.091013    -0.512362    -0.072647    -0.030275

```

FIGURA 2.5-5

## 2.6 - ARRESTO DEL SOFTWARE

Un ultimo aspetto da dover analizzare riguarda l'arresto del programma. L'utente ha la possibilità di interrompere quest'ultimo agendo sul pulsante *Stop*, oppure tramite la relativa finestra del Run-Time Menu. All'occorrenza di uno di questi eventi, viene attivata la variabile booleana *End Variable*, la quale conclude tutti e tre i cicli di lavoro, causando lo spegnimento. Tale procedura è mostrata in Figura 2.6-1. L'arresto del software costituisce una vera e propria disconnessione tra l'interfaccia e lo strumento. Per questo motivo, in qualsiasi modalità l'utente decida di concludere l'algoritmo, sarà sempre richiesta un'azione di conferma. Tale controllo avviene anche a seguito della chiusura del pannello, il quale genera l'evento *Panel Close?*. Quest'ultima modalità di chiusura, differentemente dalle altre sopracitate, comporta la chiusura dell'intero programma.

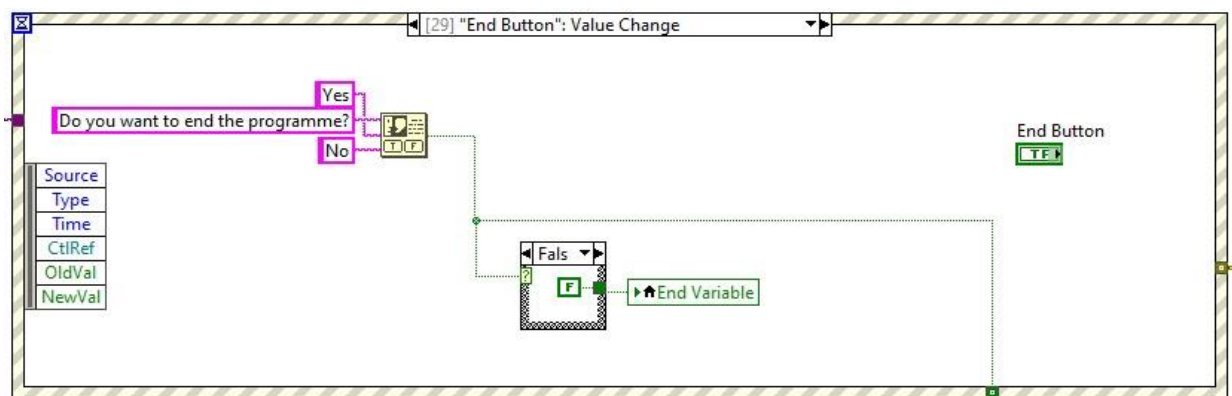


FIGURA 2.6-1

Ogni subVI presente all'interno del software fornisce in uscita un'informazione booleana, la quale andrà a concatenarsi al cluster degli errori. Tale informazione costituirà l'ingresso del VI successivo, dando vita ad una rete di fili che percorre l'intero progetto software. In tal modo, sarà sempre possibile garantire un accurato controllo degli errori ed una corretta gestione di essi. Qualora infatti si verificassero problemi all'interno di un subVI, tale informazione si propagherebbe lungo il percorso di errore, fornendo la possibilità di concludere il programma e di conoscere la natura dell'evento.

L'ultima azione eseguita dal software è quella di chiusura della coda, indicata in Figura 2.6-2, con conseguente arresto del software. In caso di presenza di errori, è prevista inoltre l'apertura di una finestra esplicativa.



FIGURA 2.6-2



## CAPITOLO 3: RISULTATI SPERIMENTALI

### 3.1 - MISURE EFFETTUATE

Conclusa la fase di realizzazione del software sono state effettuate, all'interno del laboratorio ETLab, alcune misure su un reale dispositivo. Il setup di misura interessato, mostrato in Figura 3.1-1, è stato dettagliatamente descritto nel Capitolo 1. Grazie a quest'ultimo, è stato possibile testare l'affidabilità del programma.

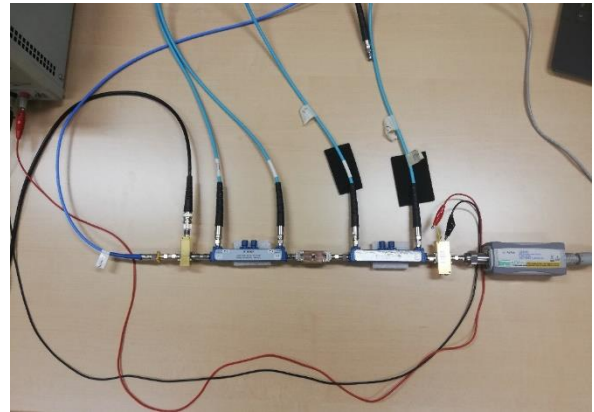


FIGURA 3.1-1

L'idea alla base delle misurazioni è stata quella di valutare il comportamento del DUT (*Device Under Test*) in relazione alle variazioni di potenza di ingresso fornita dalla sorgente RF. A tal fine, modificando gradualmente il valore di quest'ultima, sono stati ottenuti differenti valori di potenza in ingresso e in uscita al transistor. Mediante l'utilizzo di tali risultati, è stato infine possibile determinare il guadagno e l'efficienza del dispositivo per i diversi livelli di potenza e quindi le prestazioni di quest'ultimo.

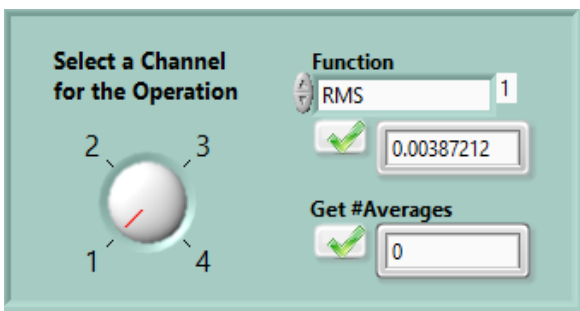


FIGURA 3.1-2

Al fine di calcolare le potenze ai capi del transistor, sono stati misurati i valori efficaci delle quattro forme d'onda presenti sullo schermo dell'oscilloscopio, sfruttando la funzionalità offerta dal programma e mostrata in Figura 3.1-2.

Grazie a tali valori è stato possibile, attraverso le seguenti equazioni, calcolare le potenze in ingresso ed in uscita al DUT:

$$P[W] = \frac{(V_{rms})^2}{50}$$

$$P[dBm] = 10 \log_{10} \left( \frac{P[W]}{1 \text{ mW}} \right)$$

### 3.2 - GRAFICI E RISULTATI

Una volta calcolati i valori di potenza in ingresso e in uscita al DUT in funzione dei differenti livelli di potenza della sorgente, è possibile graficare il rapporto tra questi ottenendo il cosiddetto Power Sweep. La Figura 3.2-1 mostra il risultato di tale misurazione. In questo modo risulta possibile caratterizzare la risposta in potenza del dispositivo, inizialmente operante in classe A. Il segnale di ingresso in arrivo dalla sorgente a RF ha frequenza pari ad 1 GHz, la tensione DC applicata è di 6 V, mentre la corrente varierà nel corso delle nove misurazioni nel range da 0.289 a 0.395 A.

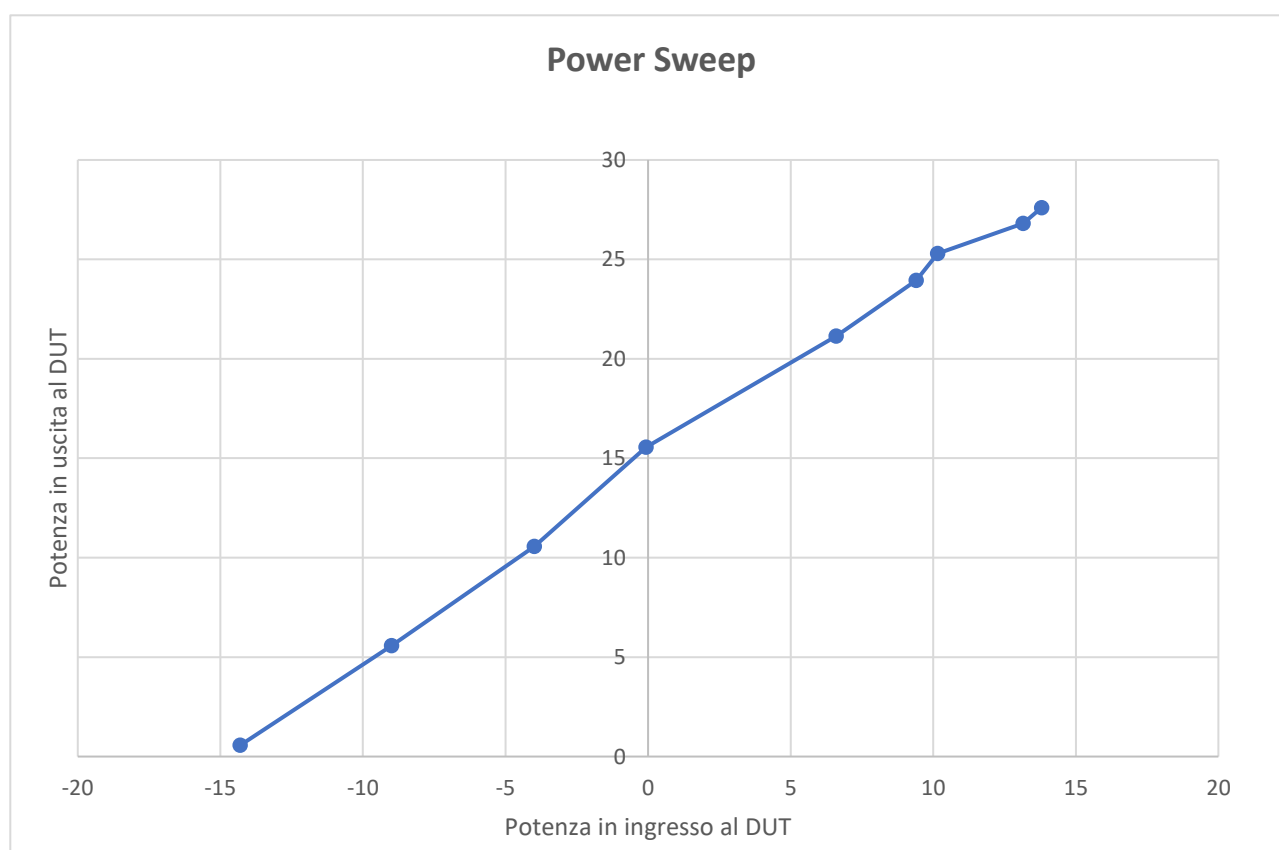


FIGURA 3.2-1

Il grafico ottenuto suggerisce un comportamento lineare del dispositivo in regime di piccolo segnale delle misurazioni, con una pendenza direttamente proporzionale al guadagno. Aumentando la potenza della sorgente di segnale si riscontra, in particolar modo nelle ultime misurazioni, una diminuzione di pendenza della curva. Questa regione è detta di saturazione, in quanto il dispositivo non è più in grado di rispondere ad un aumento della potenza in ingresso con un corrispettivo aumento della potenza in uscita ed assume un comportamento non lineare.

È possibile calcolare i valori di guadagno e di efficienza del DUT per ogni livello di potenza. Al fine di valutare le prestazioni di quest'ultimo ed operare alcune osservazioni sul suo comportamento sono riportati di seguito i grafici relativi a tali misurazioni.

Per il calcolo del guadagno si è utilizzata la seguente equazione:

$$G_{DUT} = P_{out}[dBm] - P_{in}[dBm]$$

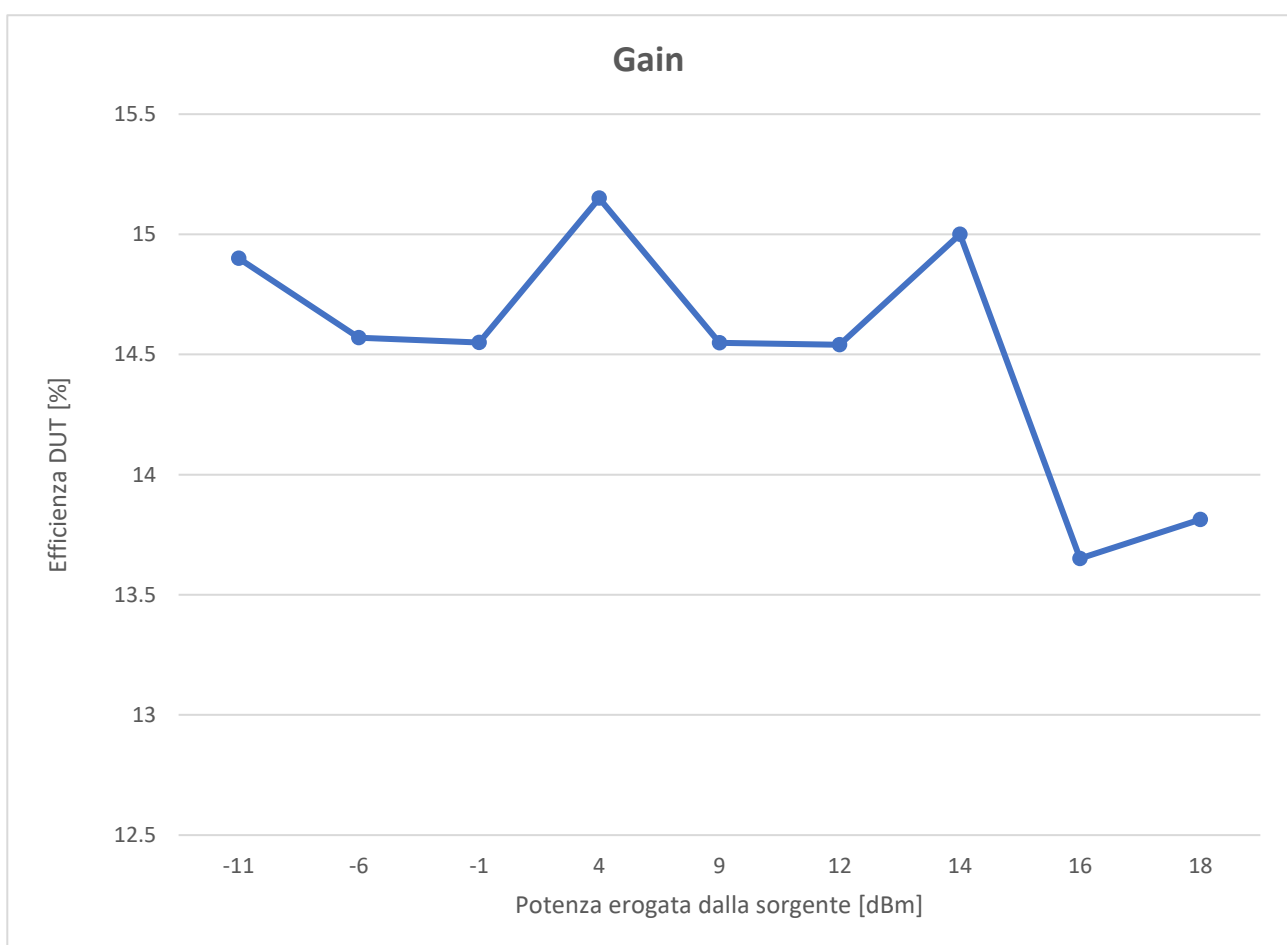


FIGURA 3.2-2

Il grafico in Figura 3.2-2, raffigurante il guadagno del dispositivo, mostra un andamento all'interno del range (14.5 ÷ 15.2) dB in regime di piccolo segnale ed una graduale diminuzione dal momento in cui il dispositivo assume un comportamento non lineare operando in regime di grande segnale. La regione in cui inizia a calare il guadagno del DUT si chiama regione di compressione ed attraverso le misurazioni effettuate, si è arrivati ad ottenere circa 1dB di compressione.

Per il calcolo dell'efficienza si è utilizzata la seguente equazione:

$$\eta_{\%} = 100 \cdot \frac{P_{out}[W]}{P_{DC}[W]}$$

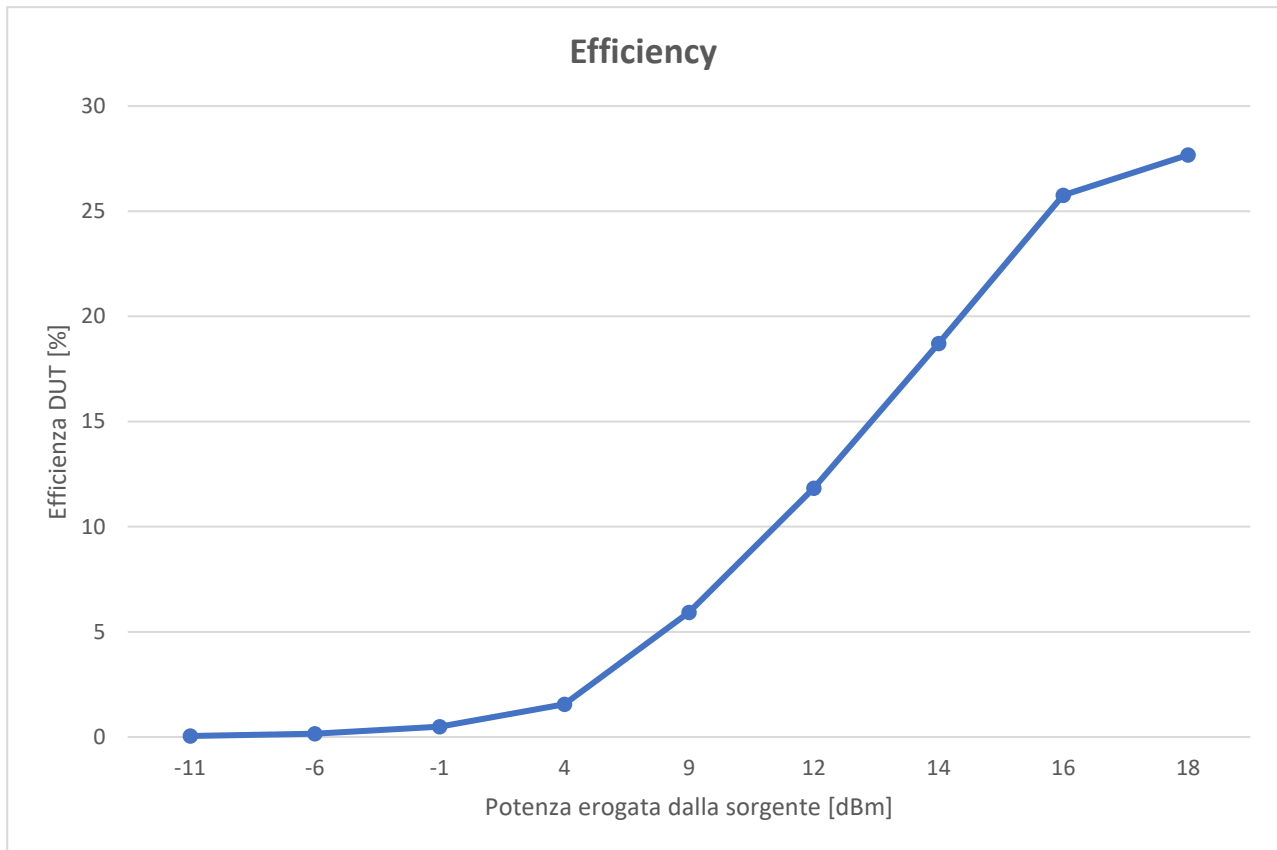


FIGURA 3.2-3

L'efficienza del dispositivo, mostrata nel grafico in Figura 3.2-3 in funzione dei differenti valori di potenza della sorgente, riscontra un aumento nel corso delle misurazioni. A regime di piccolo segnale si segnalano valori pressoché nulli, tipici di un dispositivo operante in classe A. Aumentando la potenza in ingresso fino a +18 dBm si può notare un decisivo aumento della curva, fino ad un valore di efficienza pari a 28%.

Nelle pagine successive sono mostrati quattro grafici riportanti tutte le forme d'onda presenti sui canali dell'oscilloscopio nel corso delle misurazioni, al variare della potenza fornita in ingresso al circuito. I valori di ampiezza di tali segnali sono stati raccolti e catalogati mediante l'utilizzo della funzione *Save* del software di controllo automatico e graficati utilizzando Excel.



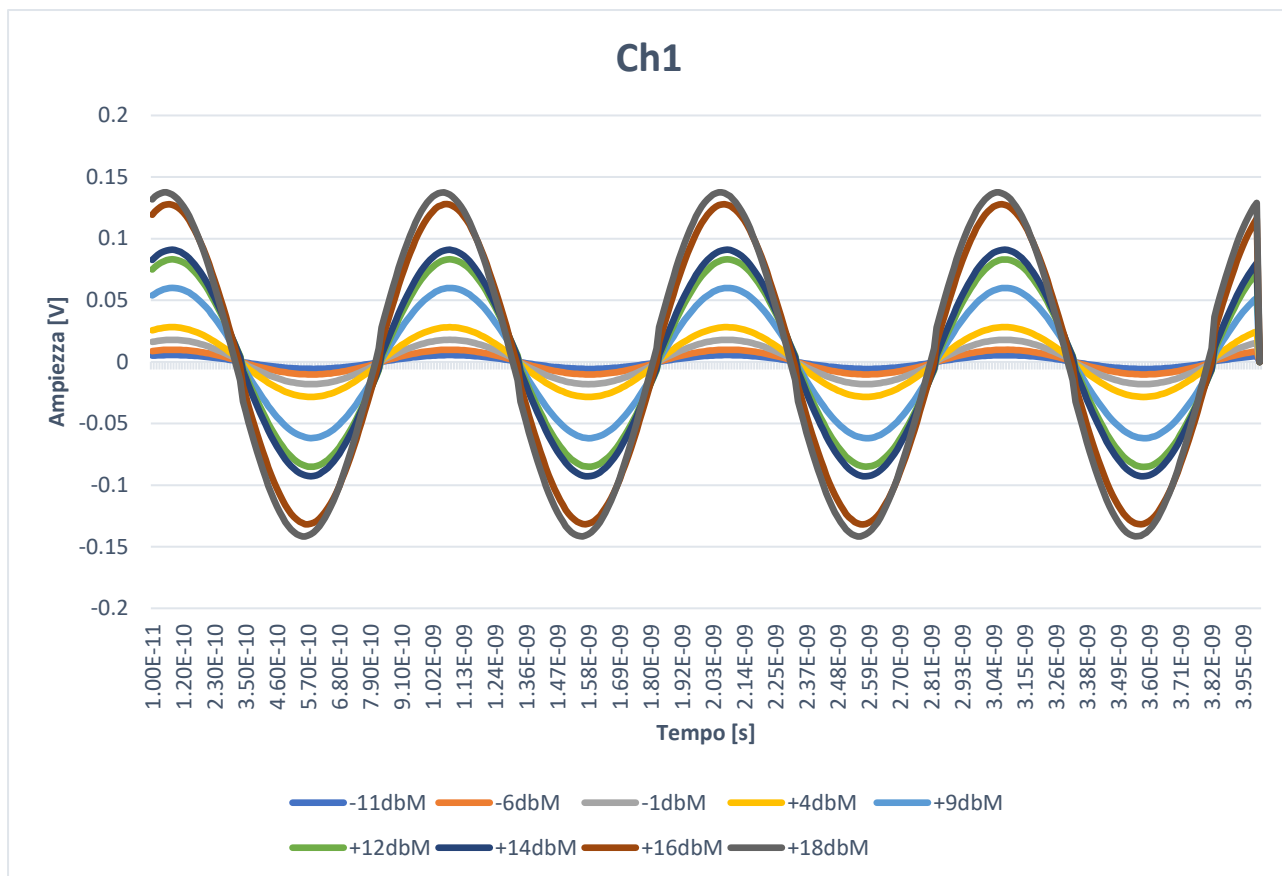


FIGURA 3.2-4

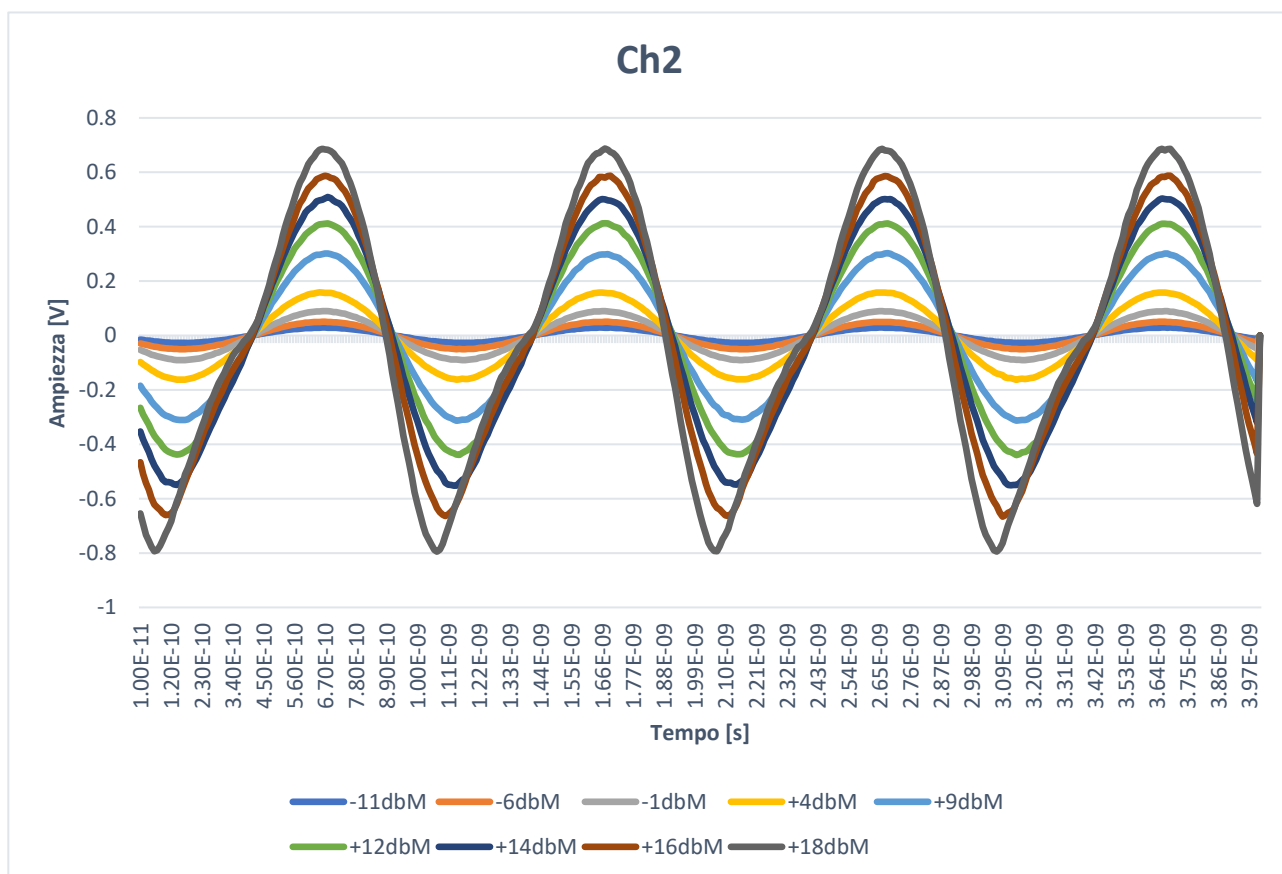


FIGURA 3.2-5

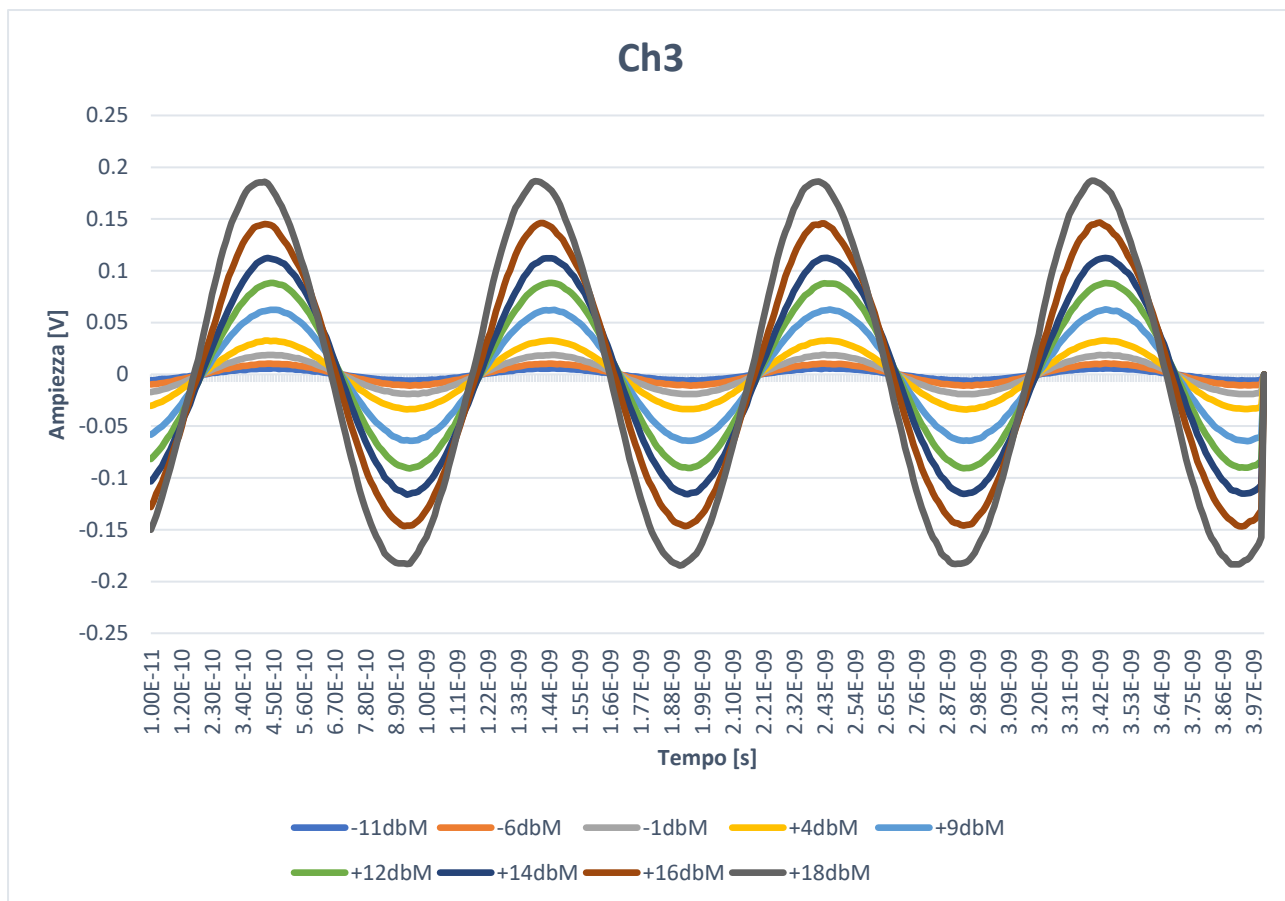


FIGURA 3.2-6

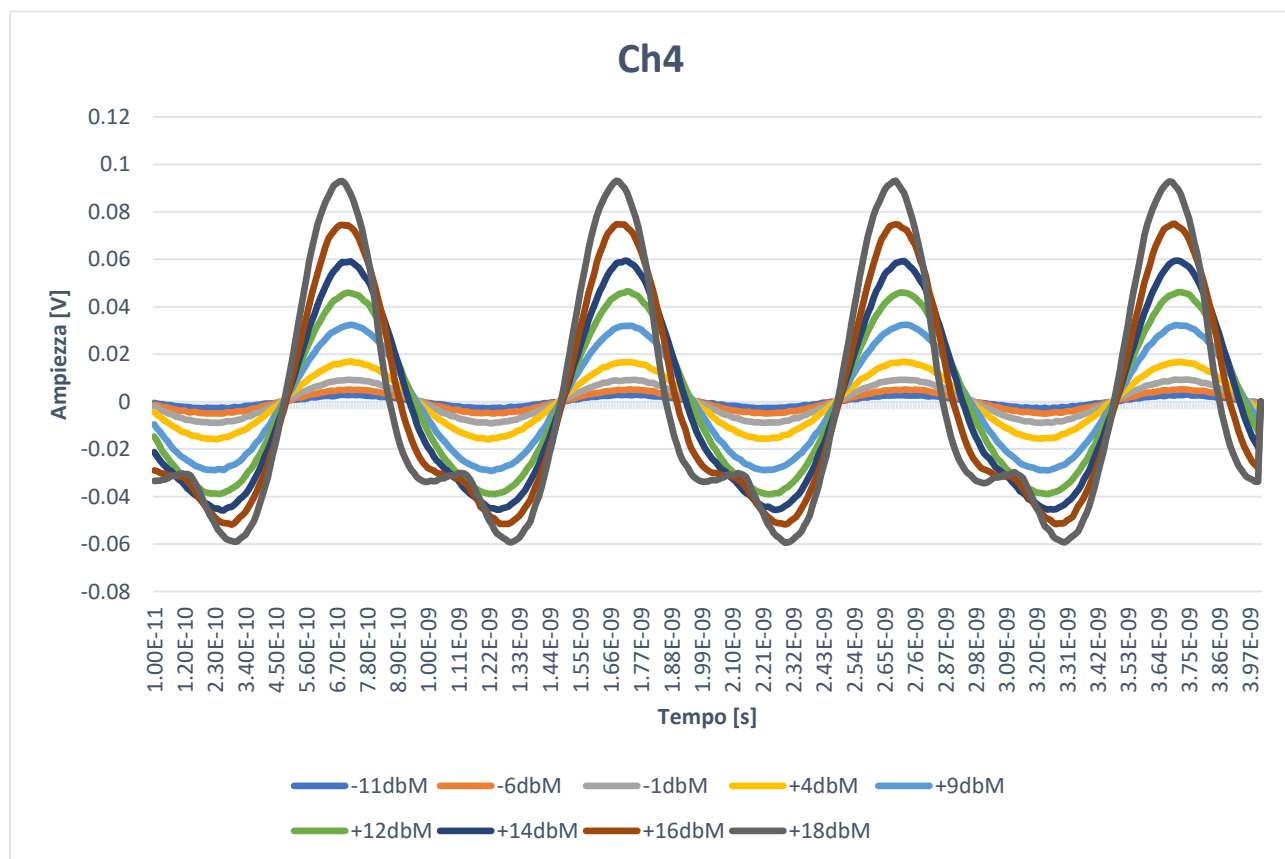
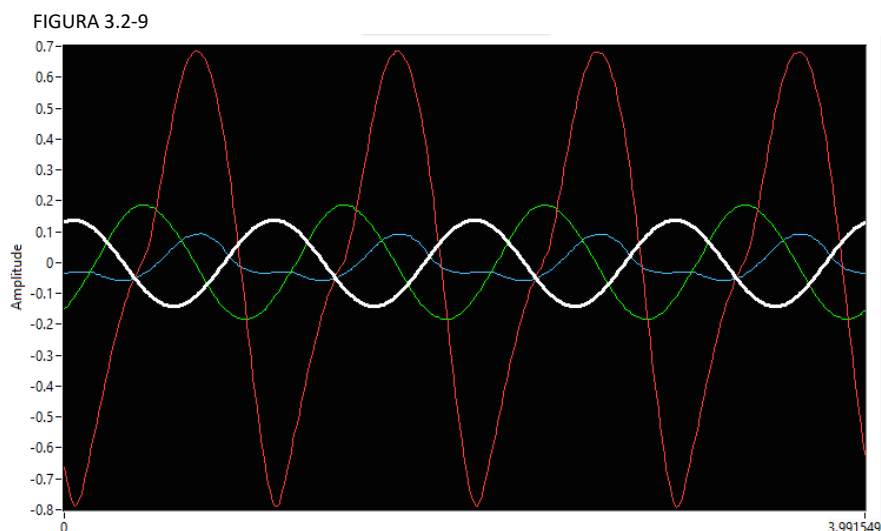
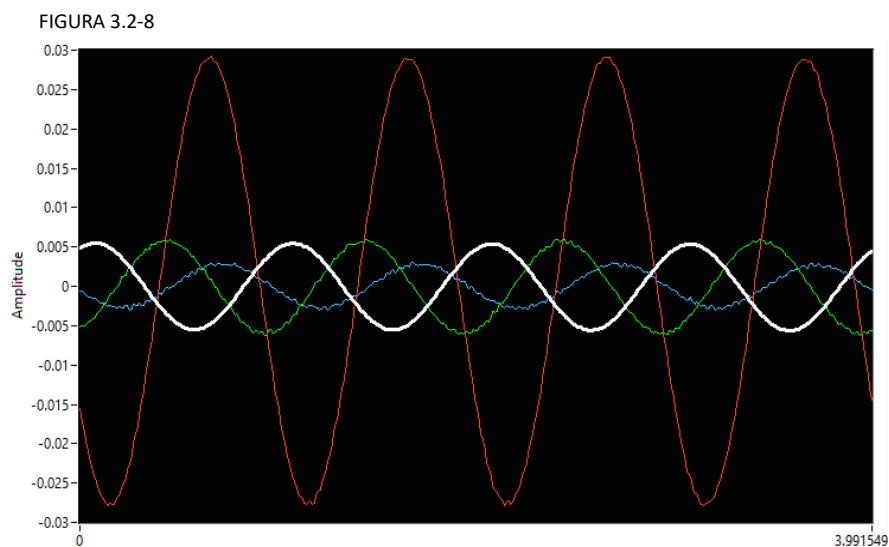


FIGURA 3.2-7

Nel corso delle prime misure effettuate il DUT ha manifestato un comportamento lineare, tipico di un dispositivo operante in classe A. Aumentando il valore di potenza in ingresso, infatti, la potenza in uscita al dispositivo subiva un incremento proporzionale. Nelle misurazioni successive si è invece riscontrato un graduale rilassamento di tale caratteristica. Nei grafici delle pagine precedenti, in particolar modo in quello di Figura 3.2-7, si può notare come all'aumentare del valore di potenza della sorgente la forma d'onda inizi a distorcersi, perdendo la tipica forma sinusoidale. Superata la regione di funzionamento del dispositivo a piccolo segnale, si iniziano difatti a notare gli effetti di distorsione del segnale e la non linearità del DUT. A seguito di un ulteriore aumento in termini di potenza da parte della sorgente RF si riscontrerebbe un incremento della distorsione, una graduale diminuzione del guadagno e, dopo un iniziale incremento, una saturazione dell'efficienza. Tali effetti possono essere inoltre apprezzati nelle Figure 3.2-8 e 3.2-9 sottostanti, raffiguranti il display dell'oscilloscopio al momento delle misurazioni.





## CONCLUSIONE

Nel corso di questo elaborato è stata trattata ogni singola caratteristica del progetto realizzato nel laboratorio ETLab. Si è partiti da una breve introduzione allo strumento di misura, passando per la dettagliata analisi degli algoritmi che costituiscono la logica di funzionamento del software, fino ad arrivare a graficare i risultati ottenuti applicando quest'ultimo ad un reale sistema di misura. L'ambizione è stata fin dal principio quella di realizzare un versatile software di controllo remoto dell'oscilloscopio capace di fornire all'utente un'interfaccia semplice ed esauriente, rappresentando allo stesso tempo una valida ed affidabile alternativa al suo utilizzo manuale.

All'interno del software sono state implementate le più importanti funzionalità dello strumento, come la contemporanea visualizzazione a schermo delle forme d'onda e la possibilità di settarne le impostazioni in tempo reale. Una delle principali sfide affrontate durante la realizzazione del progetto è stata senza dubbio l'implementazione della funzione di salvataggio: una caratteristica inedita, non presente tra le funzionalità dello strumento di misura, la quale intende fornire all'utente un comodo e veloce meccanismo di archiviazione dei dati. Per motivi di spazio, sono stati mostrati in questa documentazione soltanto gli algoritmi che ricoprono un ruolo chiave nel funzionamento globale del programma. Alcuni VI come *DPO\_7K\_Enable\_Channel.vi*, *Get\_Vertical\_Scale.vi* e *Oscilloscope\_Info\_Guide.vi* non sono presenti all'interno di questa guida, pur rivestendo un ruolo di grande importanza nell'economia del progetto.

Mediante la realizzazione di un apposito setup di misura si è riusciti a testare l'affidabilità e la precisione del programma, misurando i valori di potenza ai capi del DUT e caratterizzandone le prestazioni in termini di guadagno ed efficienza. Il software di controllo remoto ha garantito una corretta visualizzazione delle forme d'onda presenti sui canali e il salvataggio dei dati all'interno di file di testo. Tale meccanismo di archiviazione ha infine permesso di tracciare alcuni grafici, i quali forniscono una chiara panoramica del comportamento di tale dispositivo.

Questa tesi, infine, intende fornire le basi per la comprensione dei meccanismi che governano il funzionamento del programma. Sfruttando le spiccate caratteristiche di modularità e dinamicità di quest'ultimo, si vuole garantire un punto di partenza stabile per eventuali sviluppi e migliorie future.



## REFERENZE

- <https://www.tek.com/en>
- <https://www.tek.com/en/datasheet/scalable-performance-oscilloscopes>
- <https://www.tek.com/en/support/product-support?series=DPO70000SX%20ATI%20Performance%20Oscilloscope&type=manual>
- <https://download.tek.com/datasheet/DPO70000SX-Datasheet-EN-US-55W-30662-25.pdf>
- <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.tek.com%2Fen%2Fdatasheet%2Fscalable-performance-oscilloscopes&psig=AOv-Vaw0oJlYnvsrxDMC7AcgfwQme&ust=1646907678262000&source=images&cd=vfe&ved=0CAgQjRxqFwoTCKCci6znuPYCFQAAAAAdAAAAABAD>
- [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.upc.edu%2Fsct%2Fes%2Fdocuments equipament%2Fd\\_49\\_id-369.pdf&psig=AOv-Vaw360HU7TeV0OolcnQ9\\_dElv&ust=1646926100198000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCNCelv6rufYCFQAAAAAdAAAAABA5](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.upc.edu%2Fsct%2Fes%2Fdocuments equipament%2Fd_49_id-369.pdf&psig=AOv-Vaw360HU7TeV0OolcnQ9_dElv&ust=1646926100198000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCNCelv6rufYCFQAAAAAdAAAAABA5)
- <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.tek.com%2Fen%2Fdatasheet%2Fscalable-performance-oscilloscopes&psig=AOv-Vaw0oJlYnvsrxDMC7AcgfwQme&ust=1646907678262000&source=images&cd=vfe&ved=0CAgQjRxqFwoTCKCci6znuPYCFQAAAAAdAAAAABAL>
- MSO-DPO5000-DPO7000-DPO70000-DX-SX-DSA70000-and-MSO70000-DX-Programmer-077001025.pdf
- DPO70000SX-Series-Real-Time-Oscilloscopes-User-Manual-EN-071335707-REVA.pdf
- FLU10ZME1\_ED1-2.pdf





## RINGRAZIAMENTI

*Al termine di questo lungo viaggio desidero ringraziare le persone che, prendendone parte, hanno contribuito al raggiungimento di questo grande obiettivo.*

*In primo luogo, desidero ringraziare la Professoressa Valeria Vadalà e il Professor Gianni Bosi per aver per avermi guidato nella realizzazione del progetto e per avermi concesso l'opportunità di crescere professionalmente. Un profondo ringraziamento va ai miei genitori Eros e Roberta, dai quali ho appreso i preziosi valori della lealtà e della determinazione, virtù che porterò sempre con me. Desidero ringraziare mia sorella Giulia, una persona sincera e presente, sulla quale posso sempre contare. Alla mia fidanzata Alessandra, senza la quale ne sono certo, tutto questo sarebbe stato soltanto un sogno. Grazie alle mie nonne e alle mie zie, ancora sicure nei momenti di difficoltà. Un profondo ringraziamento va a Domenico e Massimo, due maestri di vita, che mi hanno insegnato a rialzarmi sempre dopo una caduta. Ai miei amici e compagni di viaggio Enrico e Ion, con i quali ho condiviso i momenti più importanti ed emozionanti del mio percorso.*

*A tutte le persone che attraverso una parola o un semplice gesto, sono riuscite a migliorarmi e formare la persona che sono oggi.*

*Grazie.*