Università Politecnica delle Marche

Facoltà di Ingegneria

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica e dell'Automazione

Tesi di Laurea

ANALISI ED ACQUISIZIONE DI IMMAGINI OLOGRAFICHE SU SCALA MICROMETRICA

ANALYSIS AND ACQUISITION OF HOLOGRAPHIC IMAGES ON A MICROMETRIC SCALE

Relatore

Dott. Andrea Di Donato

Candidato

Lorenzo D'Alleva

Sessione di Laurea luglio 2020

Anno Accademico 2019/2020

Indice

1 Introduzione **7**

2 Strumentazione e tecniche utilizzate **8**

2.1 Breve Introduzione dell'olografia 9

3 Software d'acquisizione **12**

3.1 Introduzione al LabView 12

3.2 Introduzione del OSA HR4000 13

3.2.1 Calibrazione dello spettrometro 14

3.2.2 Calibrazione della lunghezza d'onda dello spettrometro 15

3.3 Introduzione trigger 16

3.3.1 Normale (Free Running) 18

3.3.2 Trigger software esterno 18

3.3.3 Procedura di configurazione 19

3.3.4 Trigger hardware esterno 19

3.3.5 Procedura di configurazione 20

3.3.6 Trigger di sincronizzazione esterna 20

3.3.7 Omnidriver 21

3.4 Scheda di Acquisizione 22

4 Descrizione del progetto **24**

4.1 Generazione del segnale analogico 26

4.2 Sincronizzazione 27

5 Conclusione e Discussione **29**

5.1 Discussione 29

5.1.1 Conclusione 29

5.1.2 Ringraziamenti 29

Elenco delle figure

2.1 Front Pannel E-517 9
2.2 Olografia 11

3.1 Osa HR4000 14
3.2 adattore trigger 15
3.3 le 5 modalità di trigger 16
3.4 le 5 modalità di trigger 17
3.5 **External trigger mode** 20
3.6 **External syncronization mode** 21
3.7 immagine del connettore dell'OSA 21
3.8 Scheda d'acquisizione 23

4.1 Configurazione del setup e-517 25
4.2 setup della posizione 26
4.3 Schema per generare un segnale 27
4.4 configurazione uscita PCI-6132 27
4.5 erogazione segnale 28
4.6 setup dell'OSA 28

Sommario

L'intento di questo elaborato è quello di illustrare la progettazione di un software sviluppato tramite LabVIEW, mi permette di ottenere un ologramma di un campione della grandezza micrometrica tramite la sincronizzazione di un controllore di un piezoelettrico e di un analizzatore di spettro ottico mediante l'utilizzo di un sistema ad olografica ottica .

Capitolo 1

Introduzione

La necessità di dover analizzare campioni sempre più piccoli ha portato alla nascita di strumenti ulteriori oltre il microscopio ottico poiché presenta una serie di problematiche , tra cui dei limiti fisici che non consentono di poter distinguere dettagli sotto i 0.25µm a causa di diversi fenomeni ottici come la diffrazione. Infatti, i limiti sul- la risoluzione di un microscopio ottico sono legati alla lunghezza d'onda λ della luce incidente (visibile). La lunghezza d'onda λ della luce visibile varia tra i 400nm e i 700 nm, con una media di circa 500 nm[5]. La risoluzione è data dal criterio di Rayleigh: R = 0.61 λ dove N.A. è l'apertura numerica che determina il potere di risoluzione N.A. dell'obiettivo e λ è la lunghezza d'onda nel vuoto. Ipotizzando di lavorare con un obiettivo 100x abbiamo una N.A. di 1.25, ottenendo quindi i 0.25 µm citati in precedenza. Per ovviare a questo problema, durante il secolo scorso si svilupparono diverse tecniche che, oltre ad avere un elevato potere di risoluzione, non necessitino di dover apportare delle preparazioni particolari ai campioni che, soprattutto nel caso di quelli biologici, ne possano alterare le misure. Nel 1981, nei laboratori dell'IBM di Zurigo, venne inventato la tecnica del microscopio a effetto tunnel che aprì la strada a nuove tecniche avanzate tra cui la microscopia a scansione di sonda (in inglese, scanning probe microscope, SPM). La tecnica da noi si ispira a questa famiglia di microscopi e si chiama microcavity scanning microscope, che rende possibile effettuare delle scansioni in un sistema senza lenti, lens-less. Questa tecnica la adatteremo in un sistema ad olografia implementendola mediante LabVIEW. *** [1]

[1] 1La diffrazione è un fenomeno fisico che si ha quando la distanza d tra due punti di un campione diviene confrontabile con la lunghezza d'onda λ. È come guardare due luci vicine in lontananza: si sovrappongono e questo li farà sembrare un'unica figura.

Capitolo 2

Strumentazione e tecniche utilizzate

Il laboratorio di Ottica del dipartimento Di Ingegneria dell'informazione contiene tutti gli strumenti adatti per realizzare il setup.In particolare per effetuare la scansione avremo bisogno di un computer con installato **LabView** 32 bit, un controllore per piezoelettrici, un'analizzatore di spettro **osa4000**, un trigger per l'analizzatore di spettro,un diodo laser che opera alla frequenza di 850 nm ed altri strumenti come isolatori e polarizzatori. Tutto ciò posizionato su un tavolo dotato di isolatori pneumatici capaci di ridurre al minimo le vibrazioni.Il controllore del piezoelettrico fornito dall'università è il modello E-517 della ditta tedesca **PI**,Phisyc instrument,il cui pannello frontale è riportato in figura:

È dotato di un display per vedere in tempo reale la posizione e la tensione del piezo lungo i tre assi. Inoltre, presenta tre potenziometri per regolare la posizione, uno per ogni asse. Il controllore può anche interfacciarsi al computer con tre uscite: RS-232, USB o Ethernet. Data l'età del dispositivo, i driver presentano una compatibilità limitata con il sistema operativo da noi utilizzato (Windows 10) e, per questo motivo, non è stato possibile effettuare il collegamento diretto con la USB ed abbiamo dunque optato per la porta seriale RS-232, che abbiamo collegato al computer tramite un adattatore USB. La porta è la COM32 e il Baud Rate3 è 57'600 bps. Inoltre, la scelta di usare LabVIEW 32 bit è stata imposta dai VI realizzati dalla azienda produttrice dei piezo, non compatibile con LabVIEW a 64 bit. L'altro elemento fondamentale del setup è l'analizzatore di spettro ottico (abbreviato in OSA), il cui modello fornito dall'Università è l'Ocean Optics HR40004, un OSA estremamente compatto. L'installazione è semplice poiché l'alimentazione è fornita dallo stesso collegamento USB utilizzato per gestire il flusso di dati. È importante sapere che all'interno è presente un CCD-array da 3648 elementi, parametro da passare al VI del calcolo della lunghezza d'onda poiché corrisponde al numero di pixel.

Figura 2.1: Front Pannel E-517

Funzionamento di un piezoelettrico Prima di continuare, è importante spiegare per quale scopo il campione da analizzare viene posizionato sopra un piezo. Un materiale piezoelettrico presenta due proprietà: esso genera cariche elettriche se sottoposto a deformazioni meccaniche e, in modo inverso, l'applicazione di un campo elettrico ne produce una deformazione. Da qui l'idea di posizionarci sopra un campione: tramite un preciso controllo della tensione è possibile spostare il campione con una precisione nanometrica lungo i tre assi. Il nostro controllore sarà dotato di tre ingressi che comunicheranno con il piezo vero e proprio mediante un hardware di supporto, modificandone la posizione quasi istantaneamente.

2.1 Breve Introduzione dell'olografia

Trattiamo ora brevemente come funziona l'olografia.Nel 1948, il premio Nobel per la Fisica Dennis Gabor, propose un nuovo principio microscopico chiamato olografia. La scelta del nome non fu casuale: in greco, infatti, sta a significare "scrittura del tutto" da λς, "tutto", e γραφη, "scrittura". Questo metodo non registra solamente l'intensità della luce scatterata dall'oggetto (come avviene, ad esempio, quanto scattiamo una normale fotografia), ma tutte le informazioni del campo che sono il modulo e la fase. La registrazione così ottenuta si chiama ologramma e contiene tutte le informazioni per ricostruire l'immagine dell'oggetto. [2] L'olografia è un processo suddiviso in due fasi:

[2]2Il numero dopo COM varia in base alla USB in cui inseriremo l'adattatore 3 Il Baud Rate indica il numero di bit trasmessi al secondo 4 Il data sheet è scaricabile qui https://oceanoptics.com/wp-content/uploads/OEM-Data-Sheet- HR4000.pdf

- la registrazione dell'ologramma, che prevede la registrazione su di una pellicola fotografica *5 delle informazioni sul modulo e sulla fase
- a ricostruzione dell'ologramma, con la quale l'ologramma viene illuminato con un campo di riferimento simile a quello del passaggio sopra

  La registrazione dell'ologramma è basato sul fenomeno dell'interferenza. La configurazione del sistema richiede l'uso di un laser (l'uso del laser è dovuto alla necessità di avere un'onda monocromatica), un beam splitter6, un campione e una pellicola fotografica. Esistono più tecniche di olografia e noi ci soffermeremo su quella inventata dallo stesso Gabor e sulla tecnica off-axis, che nel 1962 venne introdotta da Emmett Leith e Juris Upatnieks prendendo in prestito dalle telecomunicazioni l'idea di modulazione: aggiunsero una modulazione spaziale al campo ottico di interesse. L'informazione registrata è l'interferenza tra una parte di luce (proveniente dalla stessa sorgente coerente) riflessa da uno specchio e il fronte d'onda riflesso da un oggetto su una lastra fotografica a grana finissima, chiamato ologramma. La finezza della grana di una lastra per olografia consente la risoluzione di 3000 - 5000 linee/mm.

  La tecnica olografica si basa sul fenomeno dell'interferenza ottica. Nella registrazione di un ologramma la luce proveniente da un laser viene divisa da uno specchio semitrasparente (beam-splitter). I due raggi risultanti vengono quindi espansi e convogliati mediante appositi specchi: uno di essi va a illuminare il soggetto (fronte d'onda dell'oggetto), mentre il secondo incide direttamente su di una lastra fotografica (fronte d'onda di riferimento). Su di essa i due fronti d'onda interferiscono e la registrazione delle frange d'interferenza è l'ologramma. La lastra è ovviamente sviluppata e fissata come in un ordinario procedimento fotografico in bianco e nero. Quando sulla lastra si rinvia l'onda di riferimento, il fronte d'onda dell'oggetto viene ricostruito punto per punto della lastra. Da qui deriva l'effetto di parallasse tipico dell'immagine virtuale che si vede traguardando attraverso la lastra olografica, esattamente come se l'oggetto fosse visto, punto per punto, attraverso una finestra.

  Con diverse tecniche si registrano ologrammi dalle diverse proprietà:

  - ologramma per trasmissione, nel quale l'immagine viene osservata dal lato opposto a quello di provenienza della luce;
  - ologramma per riflessione, in cui l'immagine viene osservata dallo stesso lato da cui proviene la luce.

  La tecniche olografiche volte alla creazione di supporti per memorizzazione di massa olografici sono in fase avanzata di studio (con la produzione di prototipi)

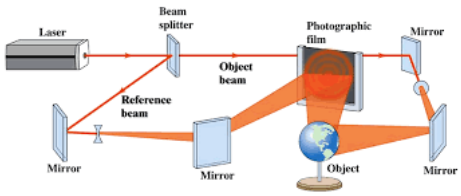


Figura 2.2: Olografia

e vari annunci di imminente commercializzazione, da parte di aziende dell'industria elettronica quali Maxell (tramite la società InPhase Technologies), Optware, Fujifilm, CMC Magnetics.

La realizzazione di un ologramma non richiede lenti, salvo particolari tecniche. Per ragioni pratiche è comunque prassi utilizzare delle lenti come beam expander per espandere il raggio laser in modo che esso possa illuminare per intero l'oggetto e la lastra. Le lenti devono avere qualità superficiale elevata per non compromettere le caratteristiche del raggio coerente. La ricostruzione dell'immagine è basata sul principio della diffrazione e l'ologramma è illuminato dal fascio laser di riferimento , ottenendo la ricostruzione dell'immagine , ma così ricostruita non da informazioni sulla topografia del campione.Per ovviare a questo problema nasce l'olografia digitale sostituendo la pellicola con un sensore digitale. [3]

[3]5Originariamente veniva utilizzata una pellicola fotografica. Noi utilizzeremo un detector 6Questo dispositivo ottico permette di separare un raggio in una componente trasmessa e una rifratta 7Nell'olografia ottica sintetica (SOH), viene utilizzato un detector in sostituzione delle telecamere CCD, al fine di codificare la fase dell'intera immagine

Capitolo 3

Software d'acquisizione

Il software di acquisizione da noi utilizzato è stato sviluppato tramite **LabVIEW**, un software pensato appositamente per la progettazione di applicazioni per effettuare test, misure e controllare sistemi, e quindi lo abbiamo ritenuto ideale per i nostri scopi.

3.1 Introduzione al LabView

textbf LabVIEW in sviluppo da più di trent'anni dalla National Instruments, non è il classico ambiente di sviluppo dove la sintassi è procedurale o dichiarativa, ma adotta un approccio di programmazione grafico con schemi a blocchi. È possibile visualizzare ogni aspetto dell'applicazione, dalla configurazione dell'hardware all'ottenimento dei dati, con un occhio di riguardo alla personalizzazione dell'interfaccia utente del programma ottenuto e alla possibilità di costruire algoritmi complessi in tempi abbastanza ridotti. I software così ottenuti sono nel formato .vi e necessitano di **LabVIEW** installato per essere lanciati. Alternativamente, **LabVIEW** si comporta come un vero e proprio compilatore e possiamo, se necessario, creare il file binario eseguibile stand-alone1 L'ambiente di sviluppo è suddiviso in tre parti principali:

- Front Panel (pannello frontale)
- Block Diagram (realizzato con schemi a blocchi)
- Riquadro connettori

Il Front Panel è ciò che l'utilizzatore si trova davanti all'apertura del programma: in esso è possibile inserire gli indicatori dei vari parametri, i controllori realizzati mediante tasti, interruttori o manopole e i grafici. Ovviamente, il Front Panel

comunica con lo schema a blocchi. Esempi di indicatori, nel nostro software, sono le voci che riportano la posizione attuale del piezo lungo i tre assi. La peculiarità di LabVIEW è nel supporto fornito dai produttori di hardware. Infatti, in allegato al controllore del piezo i produttori hanno dato un CD contenente, oltre i driver, i VI necessari all'utilizzo del dispositivo con il software LabVIEW. Il Block Diagram è il codice sorgente vero e proprio, realizzato graficamente tramite schema a blocchi. Gli oggetti che possiamo inserire sono molteplici e ci permettono di fare innumerevoli azioni tra i quali la definizione di strutture dati, creazione di cicli for e while, l'inizializzazione di tutte le variabili necessarie alla creazione di un software come il tipo booleano, il tipo double e le stringhe. Presenta anche operatori che effettuazioni comparazioni e il casting di dati. Fondamentale è la possibilità di richiamare VI anche di altri software all'interno del Block Diagram. I VI richiamati li chiameremo subVI. Il Riquadro connettori consente di gestire l'ingresso e l'uscita di un VI. È compito dello sviluppatore definire quali sono gli input e gli output del software. Ad esempio, il VI per comunicare con il controllore del piezo richiede in ingresso diversi parametri tra i quali la porta del controllore (noi utilizziamo la porta RS-232 con numero di porta COM3 e Baud Rate di 57'600) e gli assi lungo il quale si vuole controllare il piezo oltre, ovviamente, alla posizione desiderata.

3.2 Introduzione del OSA HR4000

L'Ocean Optics USB4000 Spectrometer è il nostro spettrometro in fibra ottica in miniatura di nuova generazione, ad alte prestazioni, progettato dal nostro popolare modello USB2000 per includere un rilevatore avanzato e una potente elettronica ad alta velocità. Le nuove funzionalità sono costituite dal rilevatore a 3648 elementi con otturatore, elettronica ad alta velocità e funzionalità di interfaccia per i sistemi operativi Linux, Macintosh e Windows. L'USB4000 è reattivo da 200-1100 nm, ma la gamma specifica e la risoluzione dipende dalle selezioni di grata e slit ingresso. L'USB4000 è perfetto per le applicazioni in cui sono necessari elettronica avanzata, alta risoluzione e tempi di integrazione rapidi. I dati programmati in un chip di memoria su ogni USB4000 includono coefficienti di calibrazione della lunghezza d'onda, coefficienti lineari e il numero di serie univoco per ogni spettrometro. Il nostro software operativo spettrometro legge semplicemente questi valori dallo spettrometro, una funzionalità che consente lo scambio a caldo di spettrometri tra i computer. Lo spettrometro USB4000 si connette a un computer tramite la porta USB o la porta seriale. Quando è

Figura 3.1: Osa HR4000

collegato tramite un USB 2.0 o 1.1, lo spettrometro trae energia dal computer host, eliminando la necessità di un alimentatore esterno. L'USB4000, come tutti i dispositivi USB, può essere controllato dal nostro software SpectraSuite, una piattaforma software di spettroscopia completamente modulare basata su Java che opera su sistemi operativi Windows, Macintosh e Linux.

3.2.1 Calibrazione dello spettrometro

Per ricalibrare la lunghezza d'onda dello spettrometro, sono necessari i seguenti componenti:

- sorgente luminosa in grado di produrre linee spettrali
- spettrometro USB4000
- fibra ottica (per gli spettrometri senza una scia integrata, una fibra da 50mfunziona meglio)

[4]

[4]Nota La lampada HG-1 Mercury-Argon dell'Ottica Ocean è ideale per la ricalibrazione. Se non si dispone di un HG-1, è necessaria una fonte di luce che produca diverse linee spettrali (almeno 4-6) nella regione della lunghezza d'onda dello spettrometro.

Figura 3.2: adattore trigger

3.2.2 Calibrazione della lunghezza d'onda dello spettrometro

Procedura Eseguire la procedura seguente per calibrare la lunghezza d'onda dello spettrometro:

1. Mettere SpectraSuite in modalità Ambito e prendere uno spettro della vostra fonte di luce. Regolare il tempo di integrazione (o la frequenza di conversione A/D) fino a quando non sono presenti diversi picchi sullo schermo che non sono fuori scala.

2. Spostare il cursore su uno dei picchi e posizionare il cursore in modo che si trova al punto di massima intensità

3. Registrare il numero di pixel visualizzato nella barra di stato o nella legenda (situata sotto il grafico). Ripetere questo passaggio per tutti i picchi dello spettro.

4. . Utilizzare il programma foglio di calcolo o la calcolatrice per creare una tabella come quella mostrata nella figura seguente. Nella prima colonna, posizionate la lunghezza d'onda esatta o vera delle linee spettrali utilizzate.

Triggering Mode	Description	Applicable Spectrometer(s)
Normal	Spectrometer acquires spectra continuously.	All
External Software	Integration time is set in the software. Software receives a trigger event and transmits spectra obtained in the data acquisition cycle in which the trigger occurred.	All
External Hardware	Integration time set via chip in spectrometer (USB Series/HR Series/S2000 D Series) or jumpers (S2000 series). Spectrometer waits for a sharp rise in voltage on the trigger input pin, and then acquires spectra until the voltage is removed.	USB2000/USB4000/ HR2000/HR2000+/HR4000/ S2000/S1024DW
External Synchronization	Spectrometer acquires data from an external trigger event (such as a push button) until the next time the trigger is activated, at which time the spectrometer ceases spectral acquisition and begins a new acquisition. Integration time cannot be set, since the trigger can fire at random intervals.	USB2000/USB4000/ HR2000/HR2000+/HR4000/ S2000/S1024DW

Figura 3.3: le 5 modalità di trigger

3.3 Introduzione trigger

Gli spettrometri Ocean Optics (tra cui il nostro USB4000) offrono diversi metodi per l'acquisizione dei dati. Nella modalità normale, lo spettrometro è "in esecuzione libera". Cioè, lo spettrometro esegue continuamente la scansione, l'acquisizione e il trasferimento di dati sul computer, in base ai parametri impostati nel software. In questa modalità, tuttavia, non è possibile sincronizzare la scansione, l'acquisizione e il trasferimento di dati con un evento esterno. Tuttavia, sono disponibili impulsi di trigger per la sincronizzazione di un evento esterno con lo spettrometro. Per sincronizzare l'acquisizione dei dati con eventi esterni, sono disponibili altre modalità di acquisizione dei dati. Ciascuna modalità prevede il collegamento di un dispositivo di trigger esterno allo spettrometro e quindi l'applicazione di un trigger esterno allo spettrometro prima che il software riceva i dati. La durata del tempo di integrazione e la sorgente per il clock di integrazione dipendono dalla modalità scelta. Tutti gli altri parametri di acquisizione sono impostati nel software.

La tensione massima consigliata sul Pin di attivazione è di 5,5 V. Se il dispositivo di attivazione supera questa tensione, è necessario regolare o condizionare il segnale (tramite buffer del transistor, isolamento del trasformatore o optoisolamento, ad esempio) o isolare il segnale dallo spettrometro. In relazione a quello che abbiamo appena detto sulle diverse modalità di trigger è bene ricordare

[5]Tutto ciò che fa il software SPECTRASUITE viene svolto dal labView

Triggering Mode	Description	Applicable Spectrometer(s)
Quasi-Real Time Acquisition Mode	The integration clock is set to 4ms, which is the time required to completely read out all the pixels. When the software (user) requests a spectrum, the integration clock waits for the current period to expire, changes to the desired integration time set via software commands, and then returns to 4ms. With this approach, the start of the integration period will always be within 4ms of the time when the request for a spectrum is issued. No trigger signal is required to operate in this mode.	USB4000

Figura 3.4: le 5 modalità di trigger

una differenza tra EXTERNAL TRIGGER - TRIGGERING AN EXTERNAL EVENT Potrebbe esserci una certa confusione tra i concetti di trigger esterno e l'attivazione di un evento esterno. Le seguenti sezioni spiegano ciascuno di questi concetti.

- **External Triggering**: Nel trigger esterno, un evento esterno al sistema di campionamento (come un pulsante, l'attivazione della leva o l'impulso laser) innesca il livello di tensione sul pin di attivazione dello spettrometro e indica allo spettrometro di iniziare l'acquisizione degli spettri.
- **Attivazione di un evento esterno** Quando si attiva un evento esterno, lo spettrometro indica a un dispositivo esterno (in genere una lampada come PX-2 o LS-450) di illuminarsi immediatamente prima dell'acquisizione spettrale

In Triggering esterno sono disponibili due modalità di trigger:

- **Level Triggering** Il LEVEL TRIGGERING è disponibile solo quando si utilizza la modalità di attivazione del software esterno. In questa modalità, il software monitora il convertitore A / D per un aumento del livello di tensione applicato al pin del grilletto. Quando si riceve l'aumento appropriato della tensione (5 volt), il software indica allo spettrometro di acquisire spettri. In questa modalità, il convertitore A / D acquisirà i dati a intervalli in base al tempo di integrazione impostato nel software. Pertanto, se si verifica un trigger nel mezzo di un periodo di integrazione, il software recupererà gli spettri ottenuti per l'intero periodo di integrazione (prima E dopo l'evento di trigger). Allo stesso modo, se si verifica un trigger immediatamente prima della fine di un periodo di integrazione, il software recupererà comunque gli spettri ottenuti durante quel periodo di integrazione. Ad esempio, se il tempo di integrazione è di 50 ms e l'evento trigger si verifica

48 ms nel ciclo di integrazione, verranno acquisiti i 2 ms successivi al trigger e verranno acquisiti i 48 ms precedenti e incluso il trigger.

- **Edge Triggering** La modalità di EDGE TRIGGERING è disponibile quando si utilizzano le modalità di trigger Hardware esterno e Sincronizzazione esterna. In entrambe queste modalità, lo spettrometro controlla il pin di ingresso del trigger per un rapido aumento della tensione (che può o meno raggiungere il plateau di 5 volt) applicato al pin del trigger. Quando si riceve questo aumento di tensione e lo spettrometro "vede" il picco di tensione causato dall'aumento, lo spettrometro acquisisce gli spettri e li trasmette al software. Nella modalità di attivazione dell'hardware esterno, lo spettrometro interrompe l'acquisizione dei dati quando aumenta la tensione. Nella modalità di attivazione della sincronizzazione esterna, tuttavia, l'acquisizione dei dati continua fino a quando il successivo aumento di tensione non viene "visto" dallo spettrometro.

L'OSA 4000 supporta cinque modalità di attivazione, impostate con il comando Trigger Mode. Segue un dettaglio di ogni modalità di attivazione.

3.3.1 Normale (Free Running)

In questa modalità, USB4000 utilizza l'orologio di integrazione definito dall'utente e analizza continuamente l'array CCD. Tutti i segnali descritti nella sezione precedente sono forniti automaticamente dallo spettrometro al CCD in base al tempo di integrazione selezionato nel software dall'utente.

3.3.2 Trigger software esterno

In questa modalità, il segnale ExtTrigIn funge da interruttore di abilitazione. Se ExtTrigIn viene mantenuto HIGH, l'USB4000 acquisirà spettri come se fosse in modalità di corsa libera normale. Se ExtTrigIn viene mantenuto LOW, non acquisirà spettri. In questa modalità attivata dal livello, lo spettrometro è "in esecuzione libera", proprio come nella modalità normale eseguendo continuamente la scansione e la raccolta dei dati. Con ogni trigger, i dati raccolti fino all'evento trigger vengono trasferiti al software. Se si applicano continuamente trigger (ad esempio, tenendo premuto il pulsante tramite un interruttore esterno), questa modalità equivale al funzionamento in modalità Normale. Nella modalità Trigger software esterno, si imposta il tempo di integrazione (così come tutti gli altri parametri di acquisizione) nel software. La sorgente per il clock di integrazione proviene dal convertitore A / D. Utilizzare la modalità Trigger software esterno se:

- Stanno usando una fonte di illuminazione continua e l'intensità della luce è costante prima, durante e dopo il trigger.

- È necessario impostare il tempo di integrazione nel software.

3.3.3 Procedura di configurazione

- Collegare la linea al pin appropriato sullo spettrometro, utilizzando L'OSA USB4000 Fornire una linea dal pin 7 del connettore multi-pin sullo spettrometro al dispositivo di attivazione.

- Impostare il trigger software nel programma **LabView**

3.3.4 Trigger hardware esterno

In questa modalità, l'USB4000 utilizza l'orologio di integrazione definito dal software (utente); tuttavia, il periodo di integrazione non inizia fino a quando il segnale di ingresso di innesco esterno (ExtTrigIn) diventa HIGH. Se non viene applicato alcun segnale di ingresso di innesco esterno, lo spettrometro non prenderà alcun spettro e il software apparirà "congelato" fino a quando non viene rilevato un segnale di ingresso di innesco esterno. Con ExtTrigIn andare HIGH, lo spettrometro fornirà i segnali richiesti al CCD come mostrato di seguito (si noti che nel diagramma seguente, lo spettrometro è in modalità non-shutter): C'è un piccolo ritardo rispetto a quando ExtTrigIn va HIGH a quando inizia il periodo di integrazione. Questo tempo è definito come **tSU-HT**, ed è specificato per essere compreso tra 10s-12. La modalità trigger hardware esterno non può essere eseguita in modalità otturatore (**tINT** <3800s). SH continua a funzionare in attesa di ExtTrigIn al fine di impedire al rilevatore di acquisire dati spettrali. **Ritardo trigger hardware esterno** Il ritardo tra l'aumento del bordo di ExtTrigIn e l'inizio del periodo di integrazione può essere esteso tramite la funzione External Hardware Trigger Delay accessibile tramite l'interfaccia utente del software. Il ritardo del trigger hardware esterno è regolabile in incrementi di 500s. Il ritardo effettivo è il valore impostato dal ritardo di attivazione dell'hardware esterno più tSU<HT<10µs-12µs.

Così, per esempio, se il ritardo di trigger hardware è impostato su 65µs, il periodo di integrazione inizierà 75µs - 77 µs dopo ExttrigIn diventa HIGH Utilizzare la modalità di trigger hardware esterno se:

- Nell'esperimento utilizzano una sorgente di eccitazione pulsata o una sorgente luminosa (come un laser o una lampada flash)

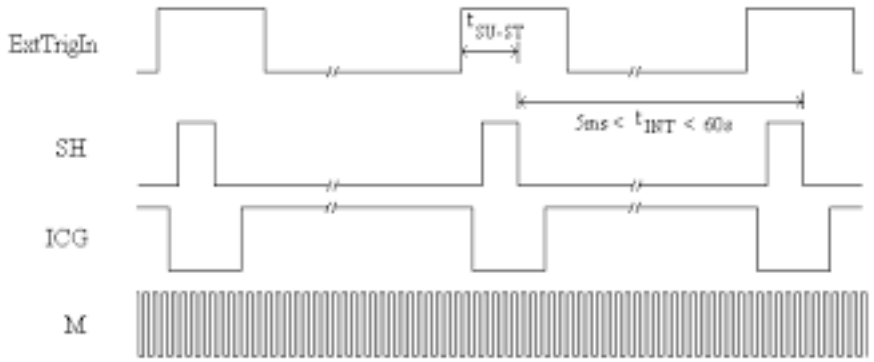


Figura 3.5: **External trigger mode**

- Stanno facendo esperimenti LIF (fluorescenza con eccitazione pulsata) o fosforescenza

- È necessario sincronizzare un'acquisizione con un evento esterno

3.3.5 Procedura di configurazione

Fornire una linea dal pin 10 su USB 4000 del connettore multipolare al dispositivo di attivazione.

Imposta i parametri di acquisizione, come i tempi di integrazione, nel software.

impostare EXTERNAL HARDWARE in **LabView**

3.3.6 Trigger di sincronizzazione esterna

In questa modalità di USB4000, l'orologio di integrazione è essenzialmente inserito nello spettrometro. Il trigger sincronizzato deve avere un intervallo di frequenza compreso tra 5ms e 60s (la modalità dell'otturatore non può essere utilizzata in modalità Trigger di sincronizzazione esterna). Se non viene applicato alcun segnale di ingresso di innesco esterno, lo spettrometro non prenderà alcunspetto e il software apparirà "congelato" fino a quando non viene rilevato un segnale di ingresso di innesco esterno. Con un ExtTrigIn continuo, lo spettrometro fornirà i segnali richiesti al CCD come mostrato di seguito: Il tempo che intervasa per l'esecuzione di ExtrigIn e l'inizio del periodo di integrazione è compreso tra 8s<µ<10s. Il segnale ExtTrigIn non ha bisogno di avere un ciclo di servizio uniforme, ma il tempo tra l'aumento dei bordi dovrebbe rimanere costante per un determinato tempo di integrazione

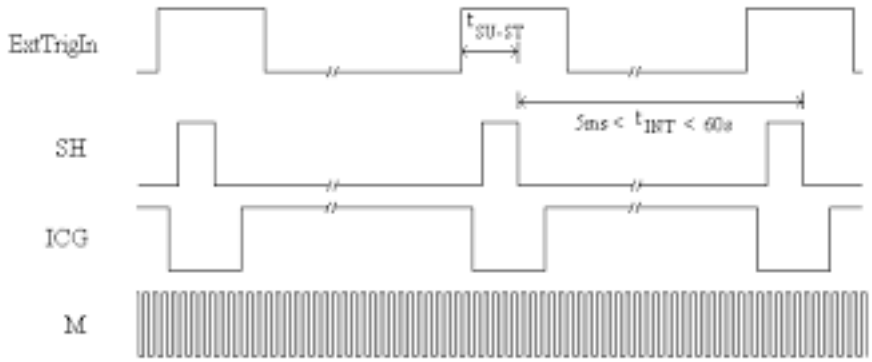


Figura 3.6: **External syncronization mode**

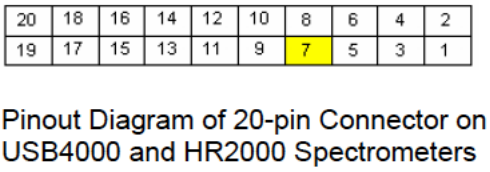


Figura 3.7: immagine del connettore dell'OSA

3.3.7 Omnidriver

OmniDriver è un potente Software Developer's Kit (SDK) per sistemi operativi Windows, Mac e Linux che ti permette di scrivere facilmente soluzioni software personalizzate per i tuoi spettrometri USB Ocean Optics. Ocean Optics è il primo e unico fornitore nel settore del rilevamento ottico ad offrire questo livello di compatibilità multipiattaforma. OmniDriver fornisce un'API (Application Programming Interface) che rappresenta il culmine dei nostri migliori pacchetti di driver software e consente di sfruttare la potenza dell'acquisizione di dati ad alta velocità in un unico driver multipiattaforma. Integra OmniDriver nella tua applicazione software per il controllo completo su spettrometri e dispositivi USB in praticamente qualsiasi ambiente OS. **OmniDriver** è venduto come due prodotti separati ma interconnessi: .Questo prodotto ti offre le funzioni necessarie per sviluppare applicazioni che comunicano e controllano gli spettrometri Ocean Optics, è possibile connettersi a spettrometri, impostare parametri di acquisizione come il tempo di integrazione e acquisire spettri.

SPAM (Elaborazione spettrale e Matematica). Questo prodotto aggiuntivo offre funzioni per eseguire l'elaborazione spettrale come la ricerca di picco, l'analisi dei colori radiometrici, ecc. È possibile utilizzare le funzioni della libreria SPAM per elaborare dati spettrali provenienti da qualsiasi spettrometro USB, inclusi i modelli non Ocean Optics. Tuttavia, normalmente si desidera anche il prodotto OmniDriver, che semplifica il processo di ottenimento dei dati spettrali dagli spettrometri Ocean

Optics.

3.4 Scheda di Acquisizione

Il concetto di DAQ fu introdotto nel 1963 dove ruotava principalmente attorno al monitoraggio o al controllo di un'entità fisica con software. IBM è stata la prima ad annunciare un computer creato esclusivamente per le attività di acquisizione dei dati chiamato IBM 7700 Data Acquisition System. Questi dispositivi sono in grado di acquisire dati da un sistema reale e archiviarli in un formato facilmente recuperabile per ulteriori revisioni ingegneristiche o scientifiche. I sistemi DAQ sono portatili o possono essere gestiti in remoto. I sistemi DAQ portatili sono utili quando è necessario acquisire letture di un campione con cui è possibile interagire fisicamente. Le misurazioni DAQ remote vengono eseguite laddove la presenza umana è incompatibile. Un sistema DAQ di base è costituito da quattro parti:

- SENSORI: sensori oi trasduttori interagiscono con il soggetto misurato, direttamente o indirettamente (contatto o non contatto). Trasformano i valori fisici in segnali elettrici. Il tipo di sensori utilizzati in un sistema DAQ varia in base alla natura della sua applicazione.

- TRASMISSIONE : I segnali elettrici provenienti dai sensori non possono essere utilizzati direttamente, poiché devono essere modificati. Questa modifica è necessaria perché i segnali spesso contengono rumore o potrebbero essere deboli a un punto in cui il sistema DAQ non è in grado di misurarlo.

- HARDWARE : DAQ L'hardware DAQ è l'entità hardware collegata tra il computer e i sensori. L'hardware DAQ è collegato al computer tramite le porte USB o tramite gli slot PCI-Express sulla scheda madre.

  L'hardware DAQ rileva i segnali analogici dai sensori e li converte in segnali digitali leggibili dai computer. Ma questa è solo una delle funzioni dell'hardware DAQ.

- COMPUTER : L'estremità della catena DAQ è un computer che raccoglie tutti i dati provenienti dall'hardware DAQ per ulteriori analisi. Tuttavia, il collegamento dell'hardware DAQ a un computer non è sufficiente per dare un senso ai dati.

  Richiede un software DAQ che utilizza i dati dall'hardware DAQ per creare risultati leggibili e significativi. In altre parole, il software DAQ funge da layer tra l'utente e l'hardware DAQ. I computer sono fondamentali per eseguire calcoli di ordine superiore con i dati raccolti dal DAQ.

Figura 3.8: Scheda d'acquisizione

Capitolo 4

Descrizione del progetto

Il software realizzato con LabVIEW permette il salvataggio delle informazioni ottenute dall'analizzatore di spettro ottico nel sistema sopra presentato. LabVIEW è così suddiviso:

- Inizializzazione periferiche
- Creazione strutture dati
- Esecuzione scansione
- Salvataggio scansione

L'inizializzazione delle periferiche è la prima cosa da fare: all'avvio del software avviene la configurazione del piezo E-517 mediante l'opportuno utilizzo dei VI forniti dal produttore che, ovviamente, bisogna configurare con i settaggi corretti, avendo cura soprattutto di scegliere correttamente la porta di comunicazione e il Baud Rate. Essi sono inseriti nella parte iniziale del programma ed è la prima cosa che viene eseguita dal programma, prima di qualsiasi altra operazione. Una volta avvenuta la corretta comunicazione con il piezo (in caso di comunicazione fallita il programma non prosegue segnalando un errore, che darà informazioni sulla natura del problema), sarà possibile utilizzare i VI necessari alla lettura e alla movimentazione lungo i 3 assi. A questo punto, si inizializzerà il nostro analizzatore di spettro ottico. Il collegamento avviene tramite dei VI forniti dall'azienda costruttrice ed avviene tramite una porta USB mediante l'API VISA I/O, ottimamente supportata da LabVIEW. I VI utilizzati sono quelli per l'inizializzazione, per la configurazione del tempo di integrazione e per il calcolo della lunghezza d'onda, oltre a quello della lettura degli spettri. Il primo stabilisce la connessione del programma con lo strumento, il secondo configura il tempo di integrazione dello spettrometro e il terzo calcola la lunghezza d'onda di ogni pixel. Il tempo di integrazione, espresso in ms, è la quantità di tempo in cui l'OSA raccoglie il

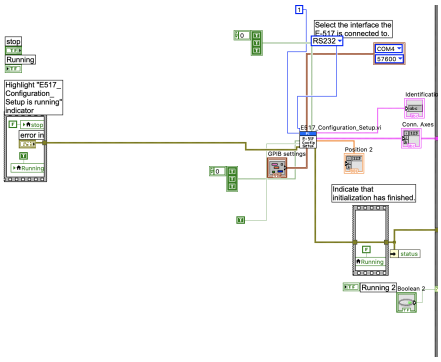


Figura 4.1: Configurazione del setup e-517

fascio prima della digitalizzazione e dell'invio tramite connessione USB al programma. Tale tempo è, nel nostro caso, di 6000ms. Il nostro OSA lo abbiamo configurato per analizzare lunghezze d'onda nell'intorno degli 850nm. Senza questi passaggi, il nostro programma non potrebbe comunicare con la strumentazione. I parametri da inserire per effettuare la scansione sono la dimensione dell'immagine che si vuole ottenere, la cui unità di misura è il micrometro, e il numero di punti in cui suddividere l'immagine . Effettuando una scansione di punti 512 $\times$ 512 e di dimensioni 50 lungo x e 50 lungo y, otteniamo che il piezo si dovrà spostare di una quantità x e finita la riga, di una quantità y, riposizionando la x all'inizio della riga. Possiamo anche decidere dove centrare la scansione. L'analizzatore di spettro ottico ci permette, tramite il VI Read Spectra.vi (fornito dall'azienda costruttrice), di ottenere gli spettri completi di ciascun punto. Il programma, quindi salva per ogni punto analizzato le informazioni complete sullo spettro in un unico file di testo .txt . Il programma si interrompe pe quando termina la scansione; ciò avviene quando viene effettuata con successo la scansione di ogni punto, il cui numero dipenderà dal numero di punti scelti nella faseiniziale del programma. Riassumiamo brevemente il funzionamento della procedura di scansione: ipotizziamo che la scansione avvenga posizionando il piezo nel punto iniziale P = (0, 0), il nostro programma fissa la coordinata y, esegue la scansione di tutta la riga fino al valore deciso prima di avviare la scansione, che nel nostro caso è 512. È consigliabile, comunque, non scegliere valori sotto i 256 $\times$ 256 per non avere immagini troppo poco definite. Bisogna porre attenzione anche alla dimensione della scansione da effettuare. Valori ottimali vanno dai 10 ai 100 . L'accensione del laser, da effettuare prima di lanciare la scansione, avviene mediante un software di terze parti poichè il produttore non ha rilasciato i .VI necessari all'interfacciamento con LabVIEW. Infatti nella prima parte del progetto abbiamo la configurazione dell'E-517 dove passaimo i parametri richiesti. Una volta configurato , bisogna fare in modo che il piezo si sposti , di conseguenza devo settare la posizione iniziale definendo la posizione lungo l'asse x,y,z, gli indici , la dimensione: Una volta settata la posizione del piezo , attraverso

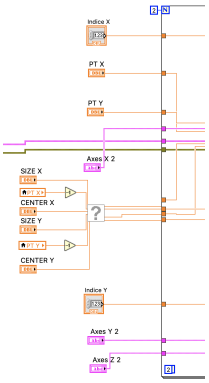


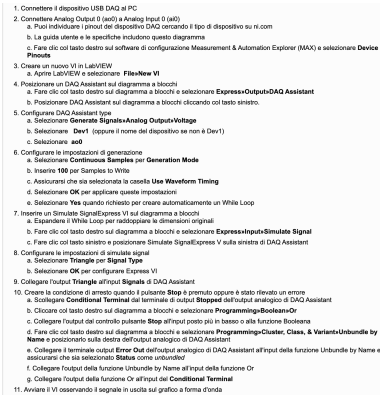
Figura 4.2: setup della posizione

un **VI** chimato **MOV** il dispositivo si sposterà lungo gli assi di una quantità Δ che mi darà la posizione che andrò ad acquisire.

4.1 Generazione del segnale analogico

In questa sezione mostreremo come generare un segnale di tipo analogico in particolare un segnale di **Tensione** che ci aiuterà a pilotare lo spettrometro OSA. La scheda di acquisizione DAQ **PCI-6132**. svolge un ruolo fondementale nel progetto in quanto generatrice di segnale di tipo analogico che ci ssrvirà per azionare il trigger dell'OSA , in modo tale da avviare la scansione del piezoelettrico.

- Connettere il dispositivo USB DAQ al PC
- Connettere Analog Output 0 (ao0) a Analog Input 0 (ai0)
- Creare un nuovo VI in **LabVIEW**
- Posizionare un DAQ Assistant sul diagramma a blocchi
- Fare clic col tasto destro sul diagramma a blocchi e selezionare Express»Output»DAQ Assistant
- Posizionare DAQ Assistant sul diagramma a blocchi cliccando col tasto sinistro.
- Configurare DAQ Assistant type
- Selezionare Generate Signals»Analog Output»Voltage
- Selezionare ao0
- Selezionare Dev1 (oppure il nome del dispositivo se non è Dev1)



1. Connettere il dispositivo USB DAQ al PC
2. Connettere Analog Output 0 (ao0) a Analog Input 0 (ai0)
   a. Puoi individuare i pinout del dispositivo DAQ cercando il tipo di dispositivo su ni.com
   b. La guida utente e le specifiche includono questo diagramma
   c. Fare clic col tasto destro sul software di configurazione Measurement & Automation Explorer (MAX) e selezionare **Device Pinouts**
3. Creare un nuovo VI in LabVIEW
   a. Aprire LabVIEW e selezionare **File»New VI**
4. Posizionare un DAQ Assistant sul diagramma a blocchi
   a. Fare clic col tasto destro sul diagramma a blocchi e selezionare **Express»Output»DAQ Assistant**
   b. Posizionare DAQ Assistant sul diagramma a blocchi cliccando col tasto sinistro.
5. Configurare DAQ Assistant type
   a. Selezionare **Generate Signals»Analog Output»Voltage**
   b. Selezionare **Dev1** (oppure il nome del dispositivo se non è Dev1)
   c. Selezionare **ao0**
6. Configurare le impostazioni di generazione
   a. Selezionare **Continuous Samples** per **Generation Mode**
   b. Inserire **100** per Samples to Write
   c. Assicurarsi che sia selezionata la casella **Use Waveform Timing**
   d. Selezionare **OK** per applicare queste impostazioni
   e. Selezionare **Yes** quando richiesto per creare automaticamente un While Loop
7. Inserire un Simulate SignalExpress VI sul diagramma a blocchi
   a. Espandere il While Loop per raddoppiare le dimensioni originali
   b. Fare clic col tasto destro sul diagramma a blocchi e selezionare **Express»Input»Simulate Signal**
   c. Fare clic col tasto sinistro e posizionare Simulate SignalExpress V sulla sinistra di DAQ Assistant
8. Configurare le impostazioni di simulate signal
   a. Selezionare **Triangle** per **Signal Type**
   b. Selezionare **OK** per configurare Express VI
9. Collegare l'output **Triangle** all'input **Signals** di DAQ Assistant
10. Creare la condizione di arresto quando il pulsante **Stop** è premuto oppure è stato rilevato un errore
   a. Scollegare **Conditional Terminal** dal terminale di output **Stopped** dell'output analogico di DAQ Assistant
   b. Cliccare col tasto destro sul diagramma a blocchi e selezionare **Programming»Boolean»Or**
   c. Collegare l'output del controllo pulsante **Stop** all'input posto più in basso o alla funzione Booleana
   d. Fare clic col tasto destro sul diagramma a blocchi e selezionare **Programming»Cluster, Class, & Variant»Unbundle by Name** e posizionarlo sulla destra dell'output analogico di DAQ Assistant
   e. Collegare il terminale output **Error Out** dell'output analogico di DAQ Assistant all'input della funzione Unbundle by Name e assicurarsi che sia selezionato **Status** come *unbundled*
   f. Collegare l'output della funzione Unbundle by Name all'input della funzione Or
   g. Collegare l'output della funzione Or all'input del **Conditional Terminal**
11. Avviare il VI osservando il segnale in uscita sul grafico a forma d'onda

Figura 4.3: Schema per generare un segnale

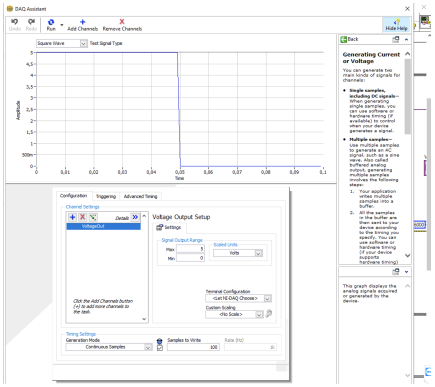


Figura 4.4: configurazione uscita PCI-6132

- Inserire un segnale Input Express
- Selezionare il tipo di segnale di ingresso
- collegare i due strumenti

Ricordiamo che il nostro obiettivo è ottenere un segnale che varia da un minimo ad un massimo , quindi nella configurazione bisogna esplicitare come valore minimo 0 Volt mentre 5 Volt il massimo , mediante un segnale **TTL**.

4.2 Sincronizzazione

L'obbiettivo è quello di fare in modo che l'OSA e lo spostamento del Piezo siano sincronizzati, cioè: supponiamo di acquisire un punto , una volta che il piezo si sposta lungo gli assi(x,y) si attiva l'OSA che andrà ad avviare la scansione del punto. Per fare ciò abbiamo bisongo di un connettore hardware il quale atteaverso un segnale esterno viene azionato e di conseguenza si avvia la scansione (**segnale di trigger**). Il segnale esterno (di tipo analogico) viene generato dalla **DAQ** la quale tramite dei **jumper** è

Figura 4.5: erogazione segnale

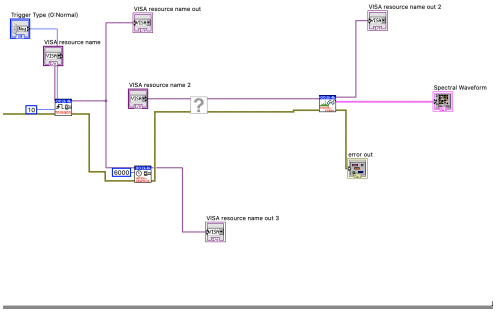


Figura 4.6: setup dell'OSA

collegata al connettore dell'OSA. in questa parte andremo ad inserire il codice relativo alla generazione del segnale con la DAQ PCI-6132

A tal proposito inserisco una struttura dove all'interno troviamo tutta la parte relativa all'OSA a partire dalla configurazione del TRIGGER, la configurazione dell'OSA e la parte relativa alla scansione. Il tutto è inserito in una struttura perchè bisogna fare in modo che una volta mosso il piezo ed arrivato alla posizione finale, l'OSA avvia la scansione , azionato dal TRIGGER. Per far in modo che questo avvenga abbiamo una DAQ che genera un segnale digitale in modo da azionare il dispositivo mediante **TRIGGERAGGIO**, avviando la scansione.

Capitolo 5

Conclusione e Discussione

5.1 Discussione

Uno degli aspetti più importanti per l'accrescimento della mia conoscenza dei linguaggi di programmazione è stata la realizzazione del software di questa tesi con LabVIEW, un linguaggio di cui inizialmente ignoravo l'esistenza e che invece si è dimostrato subito essere estremamente versatile, intuitivo e potente. Senza dubbio, le numerose ore passate nella lettura della documentazione e all'implementazione del software mi hanno fornito un'esperienza incredibile. Inoltre, tutto questo lavoro mi ha permesso di apprezzare gli insegnamenti ottenuti dai corsi di Fisica 2 ed Elettromagnetismo per la Trasmissione dell'Informazione. . L'esperienza in Laboratorio mi ha inoltre insegnato ad essere organizzato e preciso nella programmazione così come nella creazione del setup al fine di ottenere sempre il miglior risultato possibile.

5.1.1 Conclusione

In questa tesi sono stati illustrati i principi dell'olografia, è stato introdotto LabVIEW ed è stato illustrato lo sviluppo del software, cercando di porre l'attenzione sugli aspetti implementativi più importanti. In particolare la **sincronizzazione** del Piezo e deel'OSA mediante un Trigger.

5.1.2 Ringraziamenti

Vorrei dedicare questo spazio a chi, con dedizione e pazienza, ha contribuito alla realizzazione di questo elaborato.

Un ringraziamento particolare va al mio relatore *dott.***DI DONATO ANDREA** che mi ha seguito, con la sua infinita disponibilità, in ogni step della realizzazione dell'elaborato, fin dalla scelta dell'argomento.

Ringrazio infinitamente mia madre e mio padre, senza i loro insegnamenti e senza il loro supporto, questo lavoro di tesi non esisterebbe nemmeno.

Grazie a tutti i miei colleghi di corso,i miei amici per avermi sempre incoraggiato fin dall'inizio del percorso universitario.

Bibliografia

[1] Gianni Albertini. *Appunti di elettromagnetismo, ottica e onde*. Pitagora Editrice Bologna, 2017.

[2] A. Di Donato and M. Farina. Synthetic holography based on scanning microcavity. *AIP Advances*, 5(11):117125, 2015.

[3] A. Di Donato, M. Tamagnone, L. Criante, L. Cavanini, D. Mencarelli, G. Ippoliti, L. Pierantoni, G. Orlando, A. Morini, and M. Farina. Synthetic optical holography for in-depth imaging of optical vortices in speckle patterns. *AIP Advances*, 9(1):015211, 2019.

[4] Andrea Di Donato, Antonio Morini, and Marco Farina. OPTICAL FIBER EXTRINSIC MICRO-CAVITY SCANNING MICROSCOPY. *Progress In Electromagnetics Research*, 133:347–366, 2013.

[5] External-Triggering.PDF. 2008.

[6] G. Fioravanti. Tecniche Microscopiche. `http://ing.univaq.it/fioravanti/chimica/Corso%20Chimica%20delle%20Superfici%20ed%20Interfasi/Lucidi%20Lezioni/13_Tecniche_Microscopiche_2017_18.pdf`. Online; verificato 18 Novembre 2019.

[7] D. Gabor. A New Microscopic Principle. *Nature*, 161(4098):777–778, May 1948.

[8] Manual Ocean-Optics-Inc. 2008.

[9] Olympus. Near-Field Scanning Optical Microscopy - Introduction. `https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/techniques/nearfield/nearfieldintro/`. Online; verificato 20 Novembre 2019.

[10] Omnidriver-Programming-Manual.PDF. 2008.

[11] Gabriel Popescu. *Quantitative Phase Imaging of Cells and Tissues*, chapter Holography. McGraw-Hill Education, New York, 2011.

[12] USB4000-Manual.PDF. 2008.

[13] Nicolas Verrier and Michael Atlan. Off-axis digital hologram reconstruction: some practical considerations. *Applied Optics*, 50(34):H136, December 2011. arXiv: 1111.4126 version: 1.

[14] Przemyslaw Wachulak, M. Marconi, Randy Bartels, Carmen Menoni, and J. Rocca. Holographic imaging with a nanometer resolution using compact table-top euv laser. *Opto-Electronics Review*, 18, 03 2009.