



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA GESTIONALE

***TARATURA DI UN DISPOSITIVO LASER SCANNER PER IL
CONTROLLO QUALITÀ' NEL MONDO DELL'AUTOMOTIVE E
GESTIONE DEL PROCESSO DI PRE-PRODUZIONE***

***CALIBRATION OF A LASER SCANNER DEVICE FOR QUALITY
CONTROL IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY AND PROJECT
MANAGEMENT OF THE PRE-PRODUCTION***

Relatore

Prof. Nicola Paone

Laureando

Alessio Morosini

Anno accademico 2020-2021

A Morosh, Скатуна, el Gringo del latino gang

Eyes on the prize, не пизди, keep grinding!

Elenco delle figure

Figura 1 Gap&Flush.....	12
Figura 2 Utilizzo di G3F.....	13
Figura 3 Hardware e funzionamento di G3F.....	14
Figura 4 Funzionamento laser scanner.....	15
Figura 5 Rappresentazione banco di taratura.....	17
Figura 6 Banco di taratura G3F laser rosso (punto di vista laterale)	18
Figura 7 Banco di taratura prototipo con laser rosso.....	18
Figura 8 Banco di taratura G3f con laser blu (punto di vista laterale)	19
Figura 9 Banco di taratura prototipo con laser blu.....	19
Figura 10 Artefatto 1 (punto di vista frontale)	21
Figura 11 Artefatto 1 (punto di vista laterale)	22
Figura 12 Artefatto 2 (punto di vista frontale)	23
Figura 13 Artefatto 2 (punto di vista laterale)	23
Figura 14 Artefatto 2 con supporto metallico	24
Figura 15 Artefatto 3	25
Figura 16 Diagramma di flusso del software di taratura.....	27
Figura 17 Diagramma di flusso software di verifica di taratura.....	29
Figura 18 Definizione parametri.....	30
Figura 19 Immagine prototipo G3F laser rosso distanza 1mm(sinistra) e distanza 6mm(destra).....	31
Figura 20 Lettura superfici di taratura.....	31
Figura 21 Acquisizione dei punti dall'immagine campione.....	32
Figura 22 Confronto tra profilo reale e ideale.....	32
Figura 23 Confronto tra profilo ideale e profilo reale (grafico).....	33
Figura 24 Calcolo deviazione standard.....	33
Figura 25 Confronto con la deviazione standard massima.....	34
Figura 26 Diagramma di flusso software per il calcolo del gap and flush.....	35
Figura 27 Immagine taratura.....	37
Figura 28 Piani di taratura prototipo laser blu la figura a sinistra mostra la posizione x_{mm} in funzione delle coordinate in pixel sul sensore, la figura a destra mostra la posizione YY (legata alla distanza z) sempre in funzione delle coordinate in pixel.....	38

Figura 29 Piani di taratura prototipo laser rosso (target 1.5mm)	39
Figura 30 Piani di taratura prototipo laser rosso (target 4mm)	39
Figura 31 Deviazione standard prototipo laser blu con step 1mm.....	40
Figura 32 Deviazione standard prototipo laser blu con step 0.5mm.....	40
Figura 33 Deviazione standard prototipo con laser rosso step 1mm target da 1.5mm.....	41
Figura 34 Deviazione standard prototipo con laser rosso step 0.5mm target da 1.5mm.....	42
Figura 35 Deviazione standard prototipo con laser rosso step 1mm target da 4mm.....	42
Figura 36 Foto prototipo con il laser blu Gap 2.20mm e flush 1.37mm.....	44
Figura 37 Immagine Gap and Flush Prototipo laser rosso.....	45
Figura 38 Immagine Gap&Flush rumorosa piano colore blu.....	45
Figura 39 Misura del Gap&Flush medio.....	46
Figura 40 Diagramma di Gantt con attività vincolate.....	48
Figura 41 Diagramma di Gantt con risorse assegnate.....	49
Figura 42 Gantt del G3F (parte 1)	50
Figura 43 Gantt del G3F (parte 2).....	51
Figura 44 Gantt del G3F (parte 3).....	52

Indice

Introduzione	7
1. Zero Defect Manufacturing	8
1.1 Il progetto GOODMAN	8
1.2 Multi-Stage Manufacturing	9
2. Componenti Hardware per la taratura e la verifica di taratura	11
2.1 Strumento per la misura del gap&flush.....	11
2.1.1 Funzionamento del laser scanner	13
2.2 Taratura laser scanner.....	14
2.3 Banco di taratura.....	16
2.4 Artefatto.....	20
2.4.1 Primo artefatto.....	21
2.4.2 Secondo artefatto.....	22
2.4.3 Terzo artefatto.....	25
3. Software di taratura, verifica di taratura e di calcolo Gap and Flush	26
3.1 Diagramma di flusso software di taratura.....	26
3.2 Diagramma di flusso software di verifica di taratura.....	28
3.3 Analisi del software in codice Matlab di verifica di taratura.....	30
3.4 Diagramma di flusso software per il calcolo del gap and flush.....	34
4. Raccolta ed analisi dei dati della taratura del G3F, della sua verifica e del calcolo del Gap and Flush	37
4.1 Analisi delle superfici di taratura.....	37
4.2 Analisi della deviazione standard nella verifica di taratura.....	39
4.3 Calcolo del Gap e del flush.....	43
5. Gestione dei processi per la produzione in serie del G3F	47
5.1 Microsoft Project.....	47
5.1.1 Diagramma di Gantt.....	47

5.2 Analisi del Gantt della produzione in serie del G3f.....	50
Conclusione.....	54
Bibliografia e sitografia.....	56
<i>Ringraziamenti.....</i>	57

Introduzione

Il presente elaborato ha come scopo l'analisi dei dati raccolti nella taratura di uno strumento di misura per il controllo qualità in linea di produzione nel settore automotive e del suo processo produttivo pre-serie.

La raccolta dei dati è avvenuta in laboratorio, dunque prima ancora che gli strumenti fossero consegnati ai partners coinvolti, in modo da accertarsi che essi riuscissero a garantire una misurazione efficiente ed efficace. L'obiettivo del progetto generale è quello di fornire alle stazioni più o meno automatizzate uno strumento per minimizzare costi e tempi e massimizzare la produttività dell'azienda, cercando di concretizzare il paradigma Industry 4.0 attraverso una produzione multi-stadi con assenza di difetti.

La tesi è articolata in cinque capitoli. Nel primo capitolo si contestualizza lo sviluppo delle stazioni per il controllo qualità, illustrando dettagliatamente il Progetto GOODMAN e l'adozione di una strategia Zero Defect Manufacturing applicata a sistemi di produzione a più stadi, in un'ottica di innovazione aziendale.

Nel secondo capitolo si descrive la componentistica dei due prototipi, l'hardware utilizzato per la taratura e la sua successiva verifica, oltre che gli artefatti utilizzati ed il banco di taratura. La destinazione del sensore è una stazione di controllo sviluppata per Volkswagen Autoeuropa dove il dispositivo, costituito dall'assemblaggio di diversi componenti e sensori ottici, verrà utilizzato per la misurazione di gap&flush nella carrozzeria delle automobili.

Nel terzo capitolo vengono descritti i diagrammi di flusso dei 3 software utilizzati per la taratura, verifica di taratura e calcolo del gap&flush, soffermandosi nell'analisi del codice del programma di verifica di taratura.

Nel quarto capitolo vengono analizzati i dati raccolti nelle tre operazioni svolte e si mettono a confronto le prestazioni dei due prototipi utilizzati.

Infine, nell'ultimo capitolo si analizza il software utilizzato per la gestione del processo produttivo ed il Gantt che descrive l'intero sviluppo: dalla scelta delle componenti ottiche e meccaniche alla fase di brevetto e test della pre-serie, passando per la taratura e la progettazione del software.

1. Zero Defect Manufacturing

La strategia Zero defect manufacturing (ZDM), sviluppata nell'ambito del progetto GOODMAN, viene applicata ai sistemi Multi-Stage Manufacturing. Questa prevede una produzione con il minor numero di difetti, vicini allo zero, così da avere una qualità del prodotto elevata, una riduzione degli scarti e un'ottimizzazione nell'impiego delle risorse; cioè una minimizzazione dei costi e una massimizzazione della produttività.

Una possibile soluzione tecnologica utile ad implementare una strategia ZDM consiste nell'impiego di sistemi multi-agente. Gli agenti sono pacchetti software che conferiscono autonomia e capacità di comunicazione alla risorsa ad essi associata. Un sistema multi-agente permette quindi di implementare una infrastruttura informatica a rete, e l'analisi e lo scambio di dati permette di identificare in tempo reale eventuali deviazioni e tendenze dei singoli processi e le correlazioni tra processi di una linea di produzione multistadio. Il controllo qualità in linea consente di acquisire dati ed effettuare la diagnosi. Inoltre, l'utilizzo delle informazioni complessive consentirà l'acquisizione di conoscenze estremamente rilevanti per l'ottimizzazione dei processi secondo le politiche di qualità.

Tuttavia, la qualità è inversamente proporzionale alla variabilità, ragione per cui è necessario trovare un giusto compromesso per massimizzare l'efficienza produttiva dell'azienda senza trascurare le esigenze del cliente.

1.1 Il progetto GOODMAN

GOODMAN-Agent Oriented Zero Defect Multi-Stage Manufacturing (Horizon 2020) nasce dall'esigenza di supportare le imprese nella concretizzazione del paradigma Industry 4.0.

Nel corso degli anni, gli obiettivi aziendali hanno subito un'evoluzione e – conseguentemente – sono cambiati anche i mezzi per perseguirli. Attualmente, i pilastri principali della fabbrica del futuro sono: zero difetti in linea di produzione, massima efficienza produttiva, altissima qualità della produzione, attenzione al cliente attraverso la mass customization ed un approccio customer-oriented.

Con gli approcci tradizionali non è possibile arrivare a questi obiettivi: la grande quantità di dati generati o utilizzati nel sistema di produzione necessita di essere elaborata in modo efficiente.

La strategia proposta dal progetto GOODMAN si propone di gestire la produzione in modo avanzato integrando il controllo di processo e il controllo qualità attraverso tecnologie multi-utente e sistemi di misura “smart” in modo da compiere l’analisi in tempo reale delle varie attività e l’individuazione tempestiva di errori con lo scopo di limitare la generazione di difetti. Per fare ciò è necessario comprendere, sin dalla fase iniziale della progettazione di processo, gli obiettivi aziendali: per poter concretizzare la mass customization, la quale comprende la produzione di prodotti fortemente personalizzati ma creati attraverso tecniche di produzione di massa, sono necessari processi flessibili che riescano ad adattarsi ai cambiamenti delle esigenze del mercato.

1.2 Multi-Stage Manufacturing

Un sistema Multi-Stage Manufacturing (a più stadi) si riferisce ad un processo costituito da più componenti, stazioni, stadi o operazioni necessarie per completare il prodotto o servizio finale. Le caratteristiche principali sono: più stadi e strutture ibride con configurazioni miste sequenziali e parallele; le uscite di uno stadio costituiscono l’input di altri stadi; i tipi di dati scambiati sono diversi e derivano da più processi.

Questo sistema è ampiamente utilizzato nell’industria moderna in quanto offre numerose opportunità per migliorare l’efficienza del controllo qualità con positive ripercussioni sulla produttività. Nelle aziende manifatturiere la qualità di un prodotto è data dalla conformità a determinati standard che dovranno essere rispettati anche in fase di produzione. In questo, determinante è il Process Quality Improvement (IPQI), la cui implementazione permette l’estrazione delle attività in modo da ottenere una diagnosi automatica delle problematiche, il controllo automatico on line e la prevenzione dei difetti. Ciò risulta fondamentale per un’azienda che adotta un sistema a più stadi, in quanto la sua architettura comporta l’accumulo e la propagazione degli errori del processo lungo tutte le

fasi del ciclo di vita del prodotto.

Gli obiettivi dell'IPQI sono perseguibili attraverso due diversi percorsi:

1.2.1 Progettazione dei parametri di processo: consiste nel regolare i dati di processo per migliorarne la robustezza e migliorare la qualità del prodotto;

1.2.2 Progettazione della strategia di ispezione qualità: consiste nell'assegnazione di strumenti per il controllo qualità.

Quest'ultima strategia è classificata in due diversi approcci: il primo regola i parametri d'ispezione in modo da minimizzare i costi; il secondo invece si occupa dello studio del sistema per capire la migliore distribuzione e allocazione del sensore, analizzando la necessità di controllare o meno un prodotto finito o semifinito.

2 Componenti Hardware

Al progetto GOODMAN hanno partecipato diversi partner tra cui Volkswagen Autoeuropa. Per questi sono state sviluppate stazioni di controllo qualità in linea che rappresentano una strategia chiave per la concretizzazione della “fabbrica del futuro”. Queste stazioni sono progettate per eseguire misure finalizzate al controllo della conformità di alcune grandezze significative per il processo. Hanno la particolarità di analizzare e mantenere l’incertezza di misura sotto controllo anche in caso di variazioni del processo, in modo da massimizzare il livello di sicurezza degli output derivanti dai sensori.

Lo strumento utilizzato è un sensore ottico che permette un controllo qualità senza contatto del gap & flush, riducendo al minimo l’intrusione nel processo e massimizzando la velocità di misura.

2.1 Strumento per la misura del gap&flush

Questo sistema è stato sviluppato per Volkswagen Autoeuropa e permette un’ispezione in linea di assemblaggio veloce ed efficiente. In questo caso particolare, si verifica l’allineamento delle portiere e dei fari nell’assemblaggio della carrozzeria delle auto.

Come mostrato in figura 4, si considerano due pannelli adiacenti: il gap è la distanza tra i profili paralleli alla superficie mentre il flush quantifica la distanza tra i profili ortogonali alla superficie.

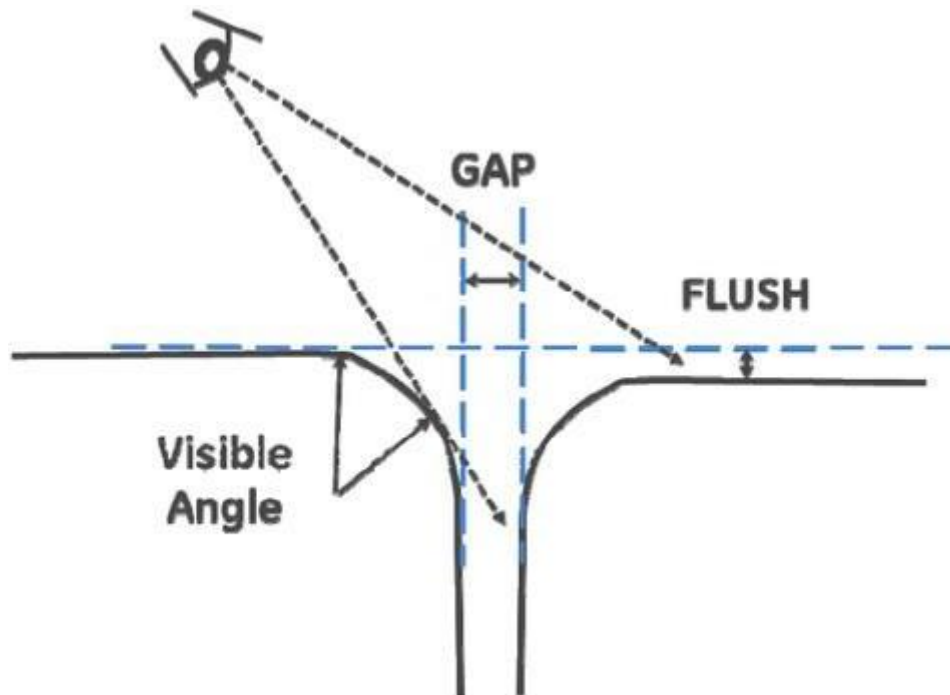


Figura 1 Gap&flush

Attualmente, nella maggior parte delle linee di montaggio, questa ispezione viene eseguita dall'operatore utilizzando uno spessimetro per il gap ed effettuando una misura qualitativa del flush. Il principale problema di tale metodo di controllo qualità è la mancata registrazione dei dati relativi alla conformità dei prodotti e quindi una difficile analisi della qualità dei prodotti e dei processi di produzione. La soluzione proposta comprende un sistema di triangolazione laser senza contatto montato su un supporto portatile.

Tuttavia, trattandosi di una misura ottica, risulta importante considerare l'elevata sensibilità ai disturbi: potrebbero esservi problemi relativi al controllo di superfici trasparenti e alla presenza di polveri. Inoltre, il sensore viene utilizzato manualmente dall'operatore che può commettere errori nel posizionamento del sistema di misura: egli deve posizionarsi perfettamente nel punto indicato e con una direzione il più possibile ortogonale alla superficie.



Figura 2 Utilizzo di G3F

2.2.1 Funzionamento del laser scanner

Il controllo qualità inizia nel momento in cui l'operatore punta l'apparecchio nel punto desiderato, quindi questo proietta una linea laser rossa sulla superficie e viene scattata una immagine del pezzo da ispezionare attraverso una telecamera montata rispetto ad esso con un angolo di 30° . Inoltre, occorre ottimizzare il tempo di esposizione della telecamera per garantire il miglior risultato d'immagine in quanto materiali e colori diversi si comportano in modo diverso rispetto alla lunghezza d'onda del laser. Per eseguire questa operazione in modo automatico, il sistema deve dapprima riconoscere il punto di misura e le sue caratteristiche, per poi impostare il miglior tempo di esposizione della telecamera.

Il tutto è integrato in un telaio di supporto che permette l'allineamento e la stabilità meccanica. Inoltre è presente una all'interno delle componenti elettroniche che permettono il collegamento alla rete wi-fi della struttura, la quale garantisce lo scambio dei dati per implementare gli algoritmi necessari all'individuazione del gap and flush che viene dato in output sul display integrato al dispositivo.

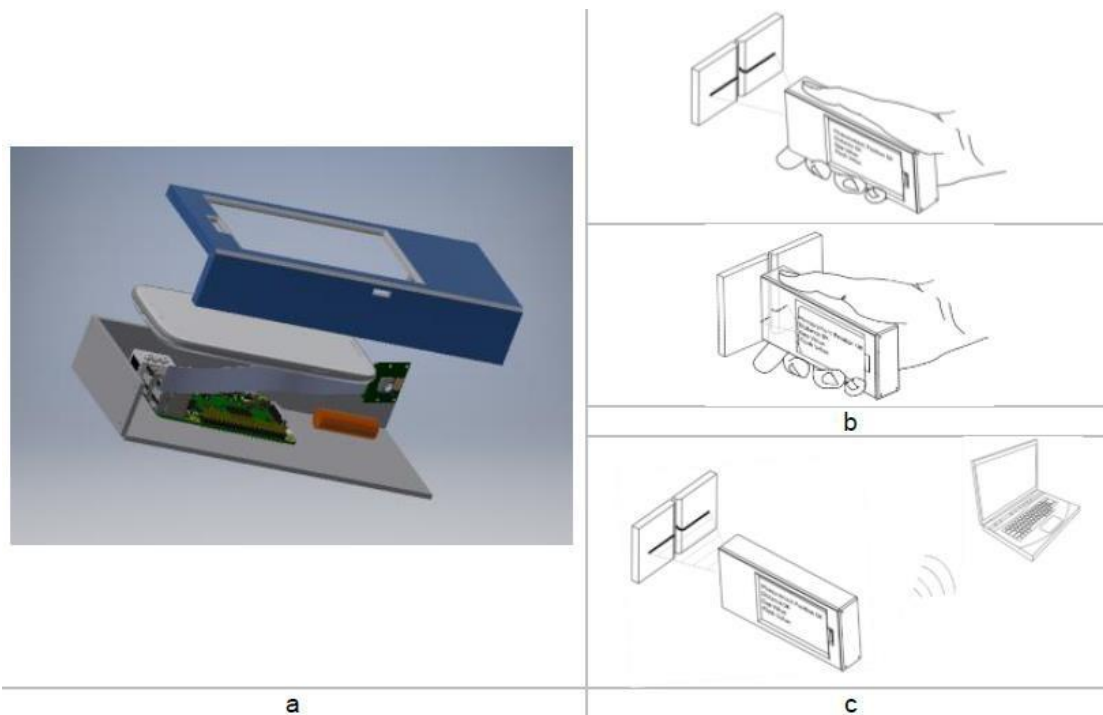


Figura 3 Hardware e funzionamento di G3F

2.2 Taratura laser scanner

Il Laser scanner basa il suo funzionamento su principi di triangolazione ottica, la taratura di questi strumenti è stabilita dalle VDI/VDE che sono delle norme dell'associazione degli ingegneri tedeschi che danno delle linee guida standard per svolgere queste operazioni.

Per capire la procedura di taratura è necessario conoscere il funzionamento dei laser scanner. In tutti i dispositivi c'è un laser che genera una lama di luce (o scansione laser) che si allarga con una speciale lente a cilindro o uno specchio oscillante, generando un piano di luce, che proiettato su una superficie forma una linea luminosa. Successivamente algoritmi di elaborazione delle immagini vengono utilizzati per determinare la posizione della linea luminosa, diffusamente riflessa dall'oggetto di prova. La figura 4 mostra un esempio di sezione

di luce laser utile per capire la progettazione del sensore.

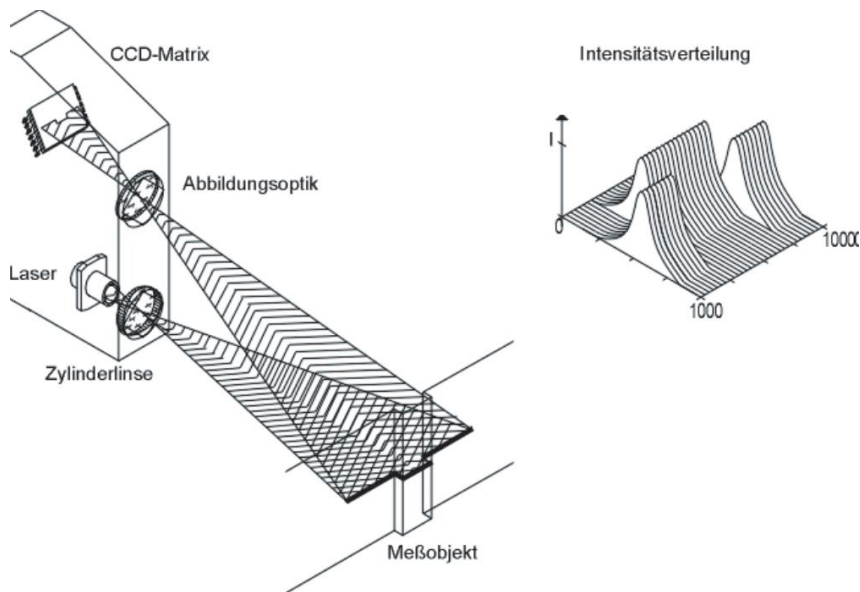


Figura 4 Funzionamento laser scanner

La procedura dettata dalla VDI/VDE 2617 si caratterizza in 3 punti:

1. Il sensore viene messo in direzione perpendicolare rispetto al target e una volta eseguite le misurazioni si sposta il target di una distanza nota. Per sensori a una o due dimensioni è sufficiente questa operazione. Sono invece necessarie ulteriori movimenti descritti dalla VDI/VDE 2617 per estendere la loro funzionalità a tre dimensioni.
2. Procedere come descritto al punto 1, con modifica dell'orientamento del sensore per mezzo di un sistema articolato;
3. Il sensore rimane immobile durante la misurazione: i punti di misurazione sull'artefatto o su parti di esso sono raccolti con il sensore in posizione fissa (la misurazione si effettua sull'immagine).

Una volta valutate le linee guida, l'operazione effettuata per la taratura

del trasduttore che misura il gap ed il flush si struttura nelle seguenti azioni:

1. Portare a battuta l'artefatto ed il sensore definendo la posizione di partenza;
2. Individuare un range massimo di distanza dell'artefatto dal sensore, nel nostro caso simula la distanza massima che l'operatore può raggiungere nella misurazione del gap and flush nella linea di assemblaggio specifica;
3. Fornire un input alla slitta per muoversi di uno step noto dato dal rapporto tra il range ed il numero di posizioni;

Ad ogni posizione il sensore scatta un'immagine che verrà poi analizzata dal software di taratura e il numero di posizioni è equivalente al numero di immagini. Naturalmente, più immagini si scattano, maggiori saranno i punti analizzati per la taratura. Per analogia alla norma DIN EN ISO 10 360, risulteranno non meno di 25 posizioni di misura per la determinazione delle caratteristiche del sensore.

Nella parte di analisi dei dati si andrà a vedere nello specifico il confronto delle deviazioni standard utilizzando step diversi, ma – in linea generale – nel momento in cui la differenza tra le incertezze è bassa si tende a scegliere una procedura di taratura con il minor dispendio di risorse. In altre parole, si acquisisce un minore numero di immagini.

2.3 Banco di taratura

Il banco di taratura è il luogo dove avviene la taratura del sensore. L'allestimento del banco non è standard per tutti i sensori, ma va caratterizzato a seconda delle necessità del caso specifico.

Nella taratura del G3F sono stati utilizzati pochi componenti per la creazione del banco di taratura: un supporto fisso per tenere fermo il G3F, l'artefatto di taratura e una slitta micrometrica.

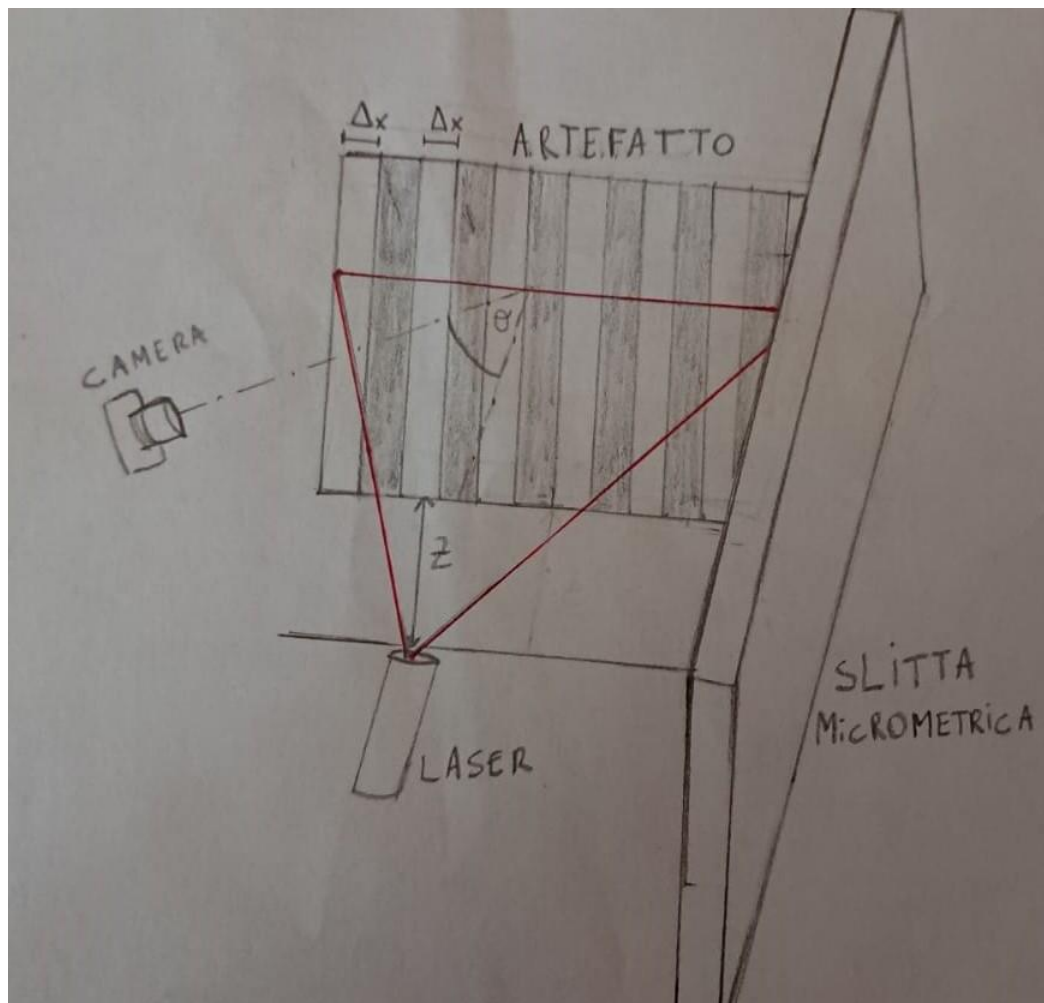


Figura 5 Rappresentazione banco di taratura

Sono stati tarati due prototipi di G3F diversi che si differenziano nell'angolo della scocca metallica, nella telecamera che scatta le immagini, nel colore del laser e nella lunghezza del sensore, sebbene la struttura del banco di taratura sia rimasta invariata poiché il funzionamento è il medesimo. Con buona sostanza, l'unica differenza nei due banchi è la distanza dall'artefatto della vite necessaria per bloccare il sensore. Garantire la stabilità del sensore è importante per avere spostamenti noti in quanto il trasduttore è fisso mentre a muoversi è soltanto la slitta in direzione z opposta al punto di partenza.

La slitta micrometrica è uno strumento molto preciso in grado di effettuare – con un'incertezza del micron – uno spostamento noto fondamentale per la taratura. Nel nostro caso è collegata

ad un controllore e attraverso una specifica stringa è possibile azionarla da remoto dello step voluto.

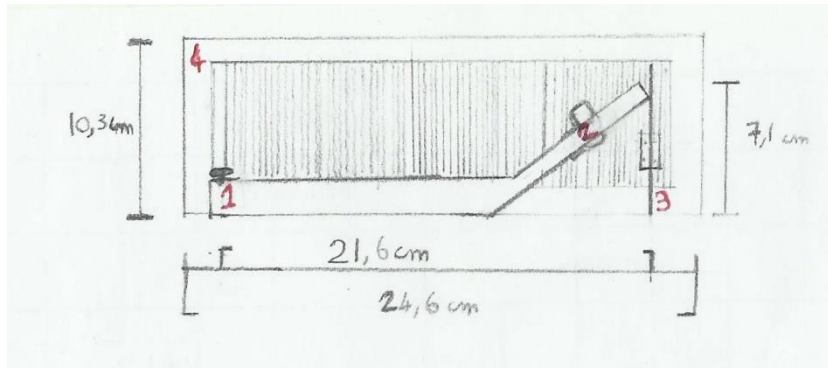


Figura 6 Banco di taratura G3F laser rosso (punto di vista laterale)

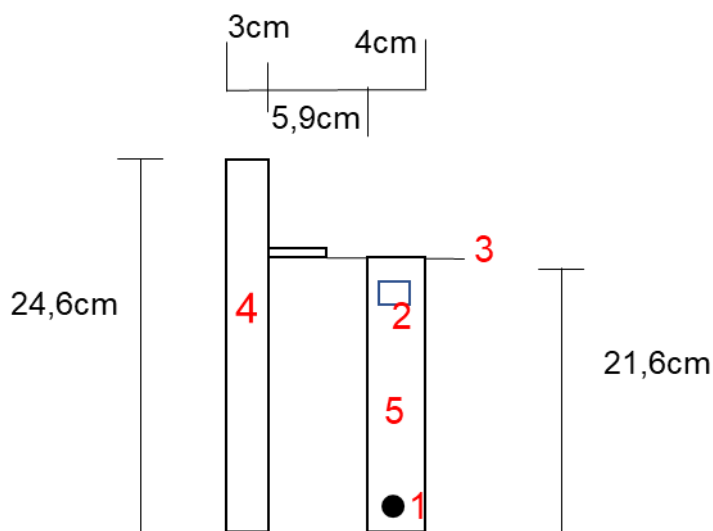


Figura 7 Banco di taratura prototipo con laser rosso

Il banco di taratura del prototipo con il laser di colore rosso è composto dalla slitta micrometrica (4), dal prototipo (5) e dall'artefatto (3). Il sensore è bloccato ad una distanza di circa 20cm da una vite (1) ed è composto dal telaio in metallo in cui sono assemblati una telecamera con collegamento USB ed un laser vicini tra loro (2).

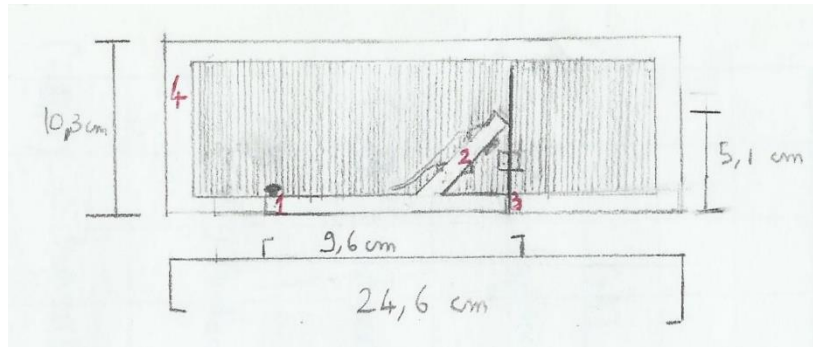


Figura 8 Banco di taratura G3f con laser blu (punto di vista laterale)

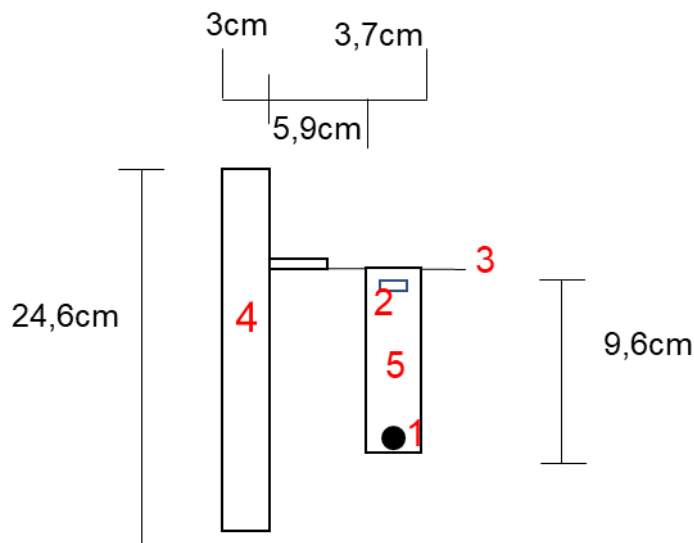


Figura 9 Banco di taratura prototipo con laser blu

Il banco di taratura del secondo prototipo è molto simile al primo, le uniche differenze sono la dimensione del telaio metallico e i componenti assemblati ad esso. Il laser è di colore blu e rispetto all'altro prototipo è più distante dalla telecamera di circa 2 cm. La telecamera ha anch'essa un collegamento USB, ma a differenza del precedente sensore, questa ha un grandangolo minore che le consente di catturare nell'immagine pochi denti o righe dell'artefatto, caratteristica che conduce a una minore quantità di punti acquisiti e a una taratura meno precisa. Inoltre, la messa a fuoco dell'immagine avviene solo ad una distanza di 1/1.5 cm, realizzando così una figura sfocata e rumorosa per gli step precedenti e successivi che causa una scarsa accuratezza nell'individuazione dei punti e quindi un errore nella taratura maggiore.

2.4 Artefatto

Un artefatto è un oggetto la cui geometria può essere presa come riferimento noto. La sua utilizzazione è destinata solo ad eseguire tarature di strumenti di misura e data la sua importanza per rendere la misura veritiera, sono controllati e caratterizzati in modo più preciso rispetto agli oggetti che lo strumento andrà a misurare.

Secondo DIN EN ISO 10 360-2, l'artefatto deve essere misurato lungo quattro diagonali del corpo e altri tre orientamenti scelti dall'utente. In ogni posizione devono essere misurate cinque lunghezze di prova tre volte ciascuno, la lunghezza di prova più breve non deve essere più lunga di 30 mm, il più lungo deve coprire almeno 66 % della diagonale corporea del volume di misura. Le restanti lunghezze di prova devono essere scelte in modo da coprire la lunghezza della linea di misura in step approssimativamente equidistanti.

L'artefatto è fondamentale per la taratura di un sensore perché definisce i vari ingressi noti i quali verranno poi confrontati con le uscite del trasduttore. Successivamente vengono trovate le relazioni tra ingresso e uscite e la deviazione standard del sensore. Inoltre anche l'artefatto ha un'incertezza che deve essere almeno un ordine di grandezza minore del trasduttore affinché si possa eseguire una taratura corretta.

Nel nostro caso l'incertezza del G3F è nell'ordine del decimo di millimetro, quindi l'incertezza dell'artefatto dovrà essere almeno del centesimo di millimetro per avere degli ingressi noti attendibili per la taratura del sensore.

Nella taratura del G3F sono stati utilizzati 3 diversi artefatti due di materiale plastico caratterizzati da una dentiera con dimensioni note sia del dente sia dello spazio che intercorre tra quest'ultimi e un artefatto composto da un foglio di carta con righe bianche e nere di larghezza nota.

2.4.1 Primo artefatto

Il primo artefatto è di colore nero e di materiale plastico, è stato prodotto tramite una stampa 3D in cui l'errore di misura è dell'ordine del decimo di millimetro.

Range	Altezza Dente	Larghezza Dente	Step	Profondità Dente	Altezza Basamento
68mm	10mm	4mm	3.5mm	9.5mm	1.9mm

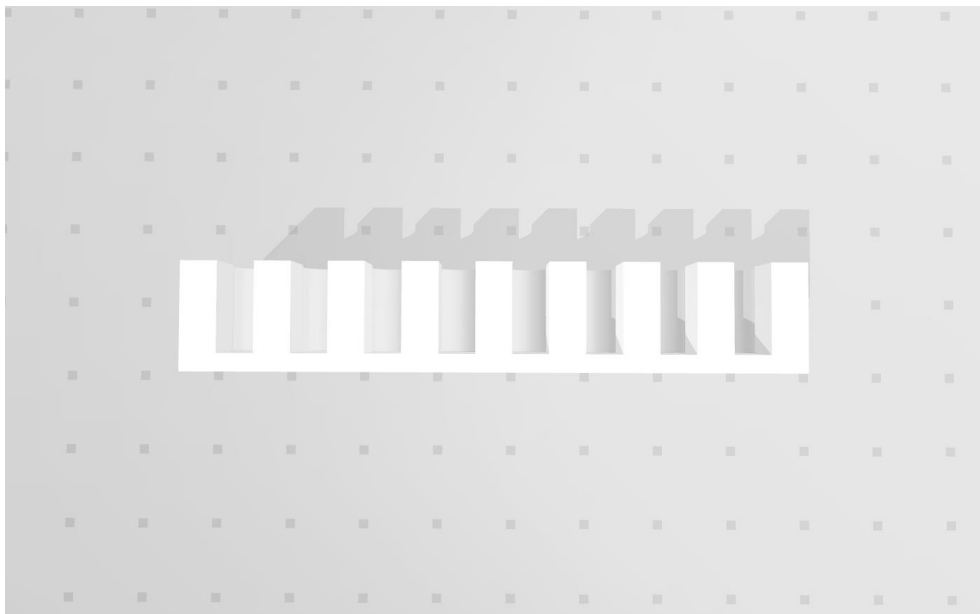


Figura 10 Artefatto 1 (punto di vista frontale)

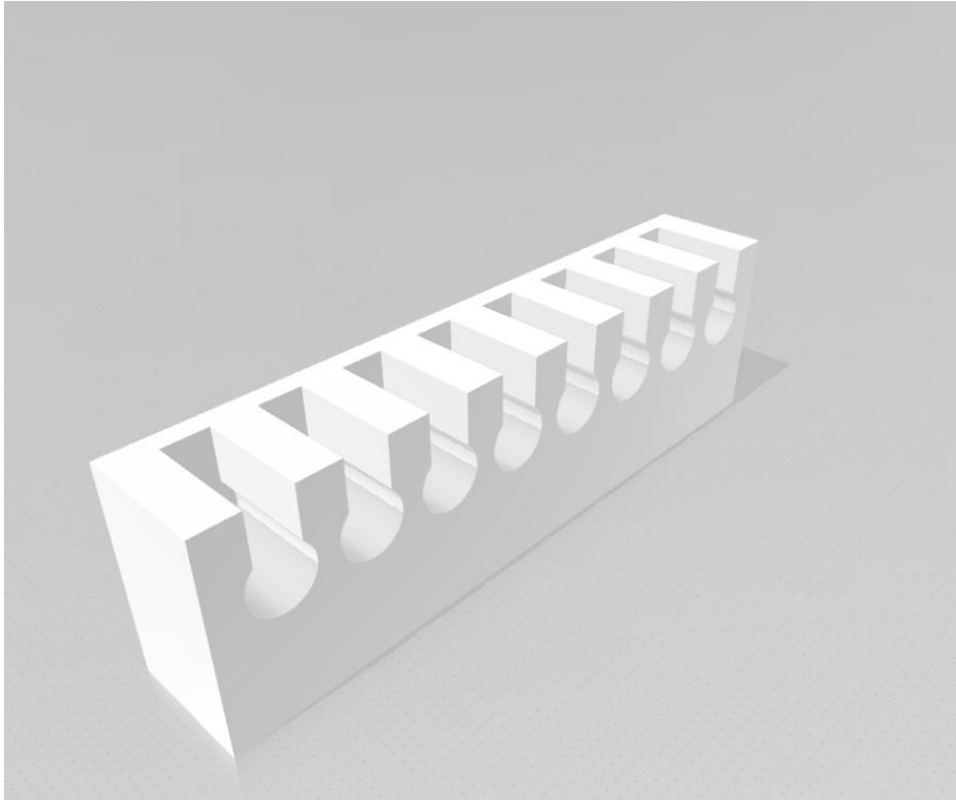


Figura 11 Artefatto 1 (punto di vista laterale)

I denti dell'artefatto sono stati colorati di bianco con un correttore a penna perché il colore dell'oggetto è nero e non riflette la luce del laser. Questa operazione è fondamentale perché si rendono riconoscibili i denti dell'artefatto dalla fotocamera che cattura l'immagine. La problematica che è emersa è collegata con la stesura poco uniforme del colore che rende l'acquisizione dei punti di inizio e fine dente da parte del software molto meno precisa. Inoltre la dimensione di ciascun dente era eccessiva e nel software di taratura si riuscivano ad acquisire solo pochi punti ad ogni immagine causando una taratura errata.

2.4.2 Secondo artefatto

Il secondo artefatto è di colore grigio chiaro e di materiale plastico, è stato prodotto anche questo tramite una stampa 3D in cui l'errore di misura è dell'ordine del decimo di millimetro.

Range	Altezza Dente	Larghezza Dente	Step	Profondità Dente	Altezza Basamento
29mm	9.8mm	1mm	1.2mm	3.5mm	5mm

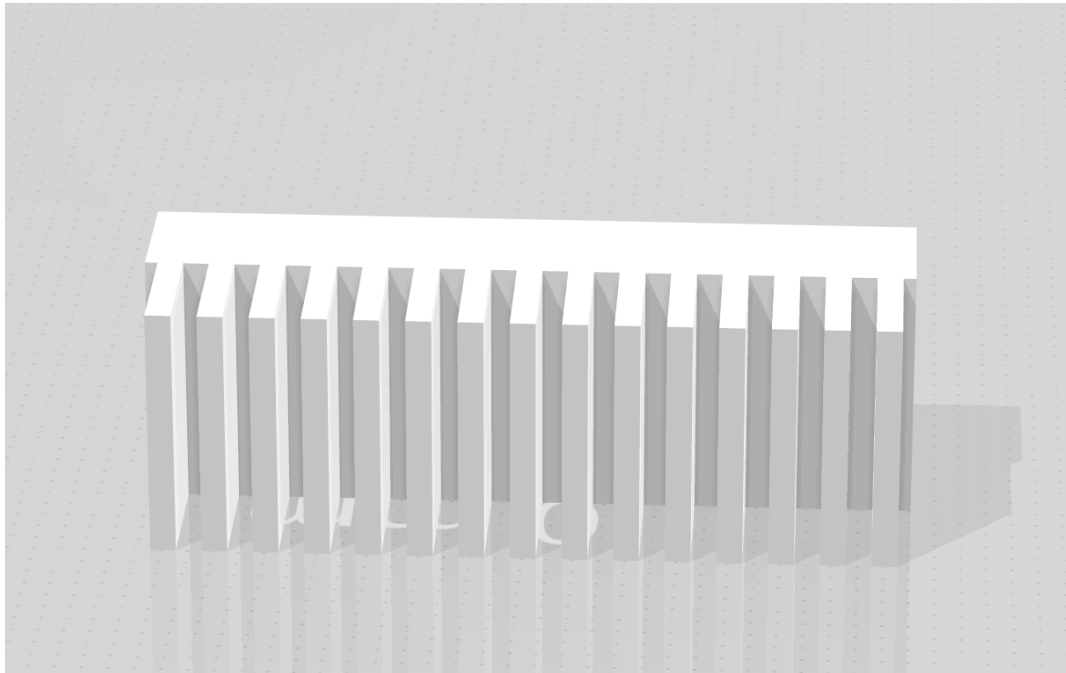


Figura 12 Artefatto 2 (punto di vista frontale)

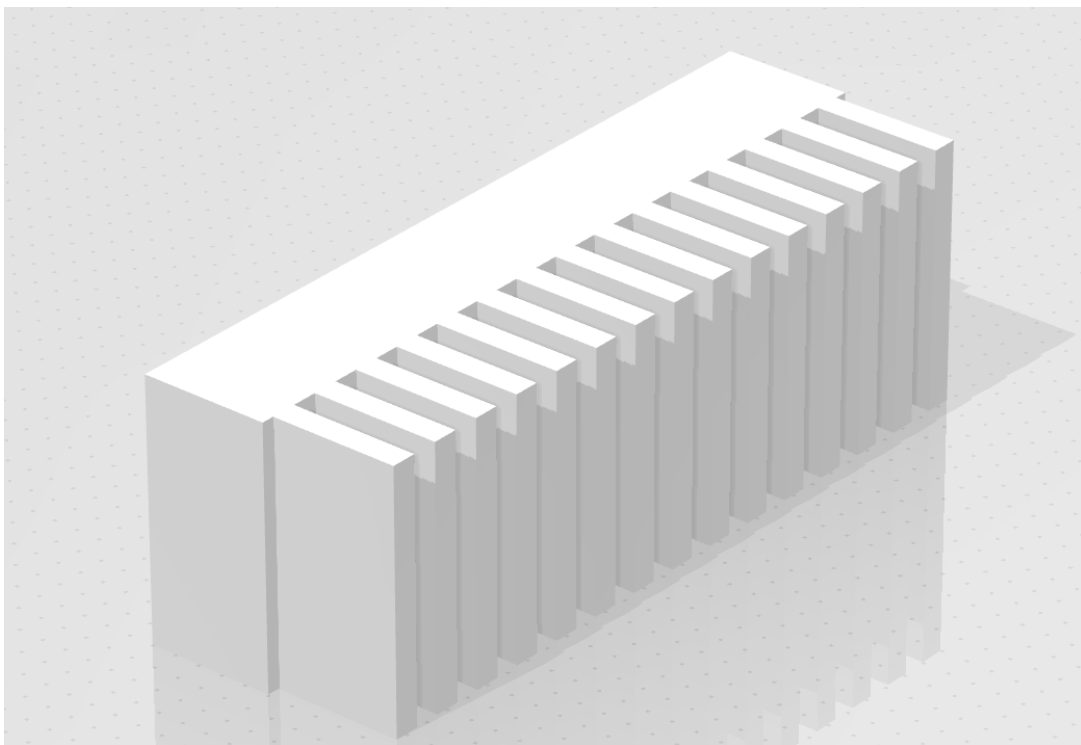


Figura 13 Artefatto 2 (punto di vista laterale)

Il secondo artefatto è di dimensioni minori, la disposizione è orizzontale come si osserva dalle figure poiché in verticale la telecamera acquisiva anche una porzione di basamento dell'artefatto e quindi la taratura risultava errata. Per questo motivo la base dell'artefatto è stata incollata con il biadesivo ad un sostegno metallico che permetteva una maggiore stabilità perché ad ogni spostamento noto il campione di taratura ruotava attorno al suo asse z solo se sottoposto ad una coppia elevata.

Una volta data stabilità, il problema consisteva nella riflessione della luce del laser, infatti con questa nuova disposizione dell'artefatto la luce che non illuminava i denti veniva riflessa dalla base chiara della dentiera e quindi creava del rumore dannoso per l'acquisizione delle immagini.

L'errore della stampante 3D, come per il primo artefatto, è troppo grande per questo entrambe i prototipi non sono adeguati alla taratura di un sensore che ha un range di tolleranza di $\pm 0.5\text{mm}$.

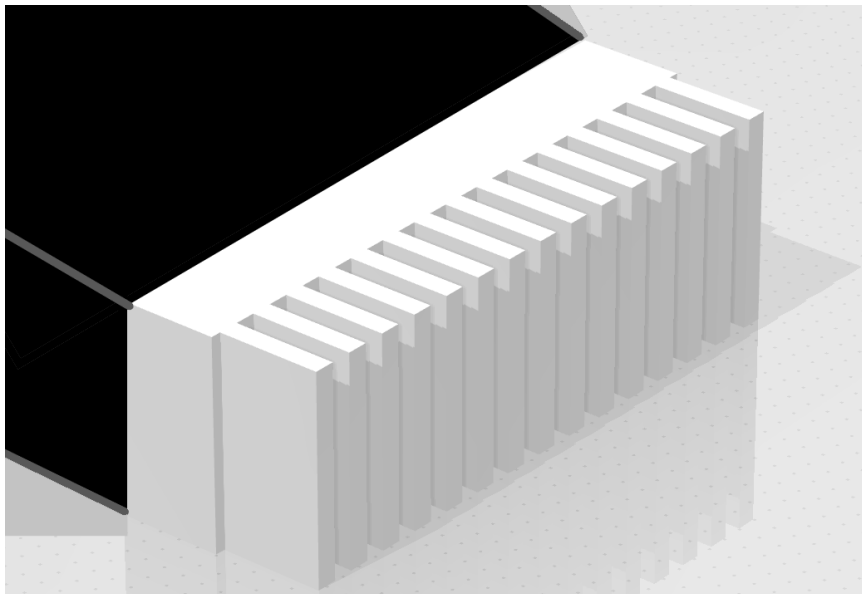


Figura 14 Artefatto 2 con supporto metallico

2.4.3 Terzo artefatto

Il terzo artefatto è un artefatto piano, non tridimensionale. È di materiale cartaceo ricavato dalla stampa di un foglio di carta che ha un errore di misura dell'ordine del centesimo di millimetro che permette a questo target di essere ideale per la taratura del Gap and Flush.

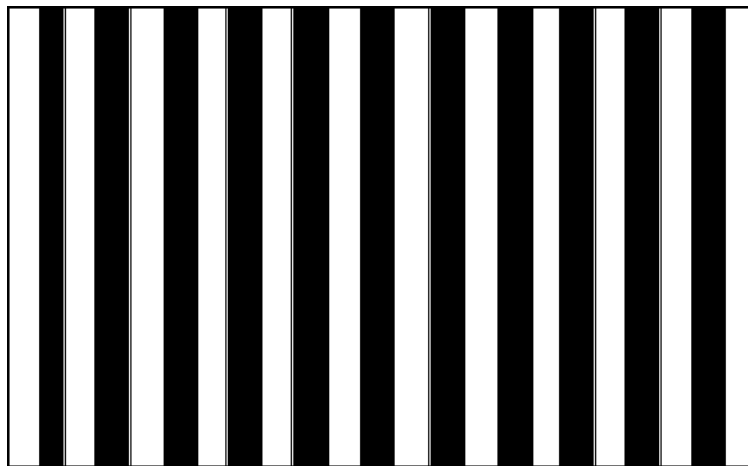


Figura 15 Artefatto 3

Range	Altezza Dente	Larghezza Dente	Step
110mm	60mm	1.5mm	1.5mm

L'artefatto è stato incollato con il biadesivo ad un supporto piano in plastica rigida che è stato agganciato alla slitta attraverso una cerniera metallica. Il fascio di luce illumina la parte bianca del foglio mentre la parte nera non riflette luce e quindi non si crea del rumore che ostacola l'acquisizione degli ingressi noti. Dato quindi un costo pressoché nullo, un errore di un ordine di grandezza più basso del G3F e una grande funzionalità per il processo di taratura, quest'ultimo artefatto è stato utilizzato come target per la taratura del prototipo con il laser blu, mentre per il prototipo con il laser rosso si è utilizzato un target simile con larghezza dente e step di 4mm perché avendo un grandangolo maggiore si riesce ad acquisire un numero adeguato di punti e allo stesso tempo non si sovraccarica il software con un numero di punti eccessivo che può portare ad una taratura meno precisa.

3 Software di taratura, verifica di taratura e calcolo Gap and Flush

Una volta fissata la procedura di taratura, allestito il banco di taratura e scelto l'artefatto più funzionale, occorre codificare un software in grado di individuare singoli punti a partire dalle immagini scattate e ricavare da questi tutte le misure in millimetri. Tali punti permettono di definire i piani di taratura poiché il sensore effettua la misurazione sia del gap che del flush ed essendo queste, due differenti variabili, da esse non si ottiene la classica retta, bensì un piano.

Il linguaggio di programmazione scelto è matlab, un software matematico molto utilizzato per operazioni di questo genere. In questa circostanza, sono state installate diverse librerie necessarie per la gestione delle telecamere e della slitta micrometrica.

3.1 Diagramma di flusso software di taratura

Il software di taratura è stato codificato con l'intento di svolgere tutte le operazioni di taratura in modo automatizzato. Infatti, il programma acquisisce le immagini, sposta la slitta di uno step noto e successivamente procede con l'elaborazione dei punti rilevati. Così facendo l'operatore che svolge l'operazione di taratura al computer dovrà semplicemente premere un tasto ad ogni foto scattata. Il resto del lavoro viene realizzato in modo autonomo dai vari device collegati al sistema centrale.

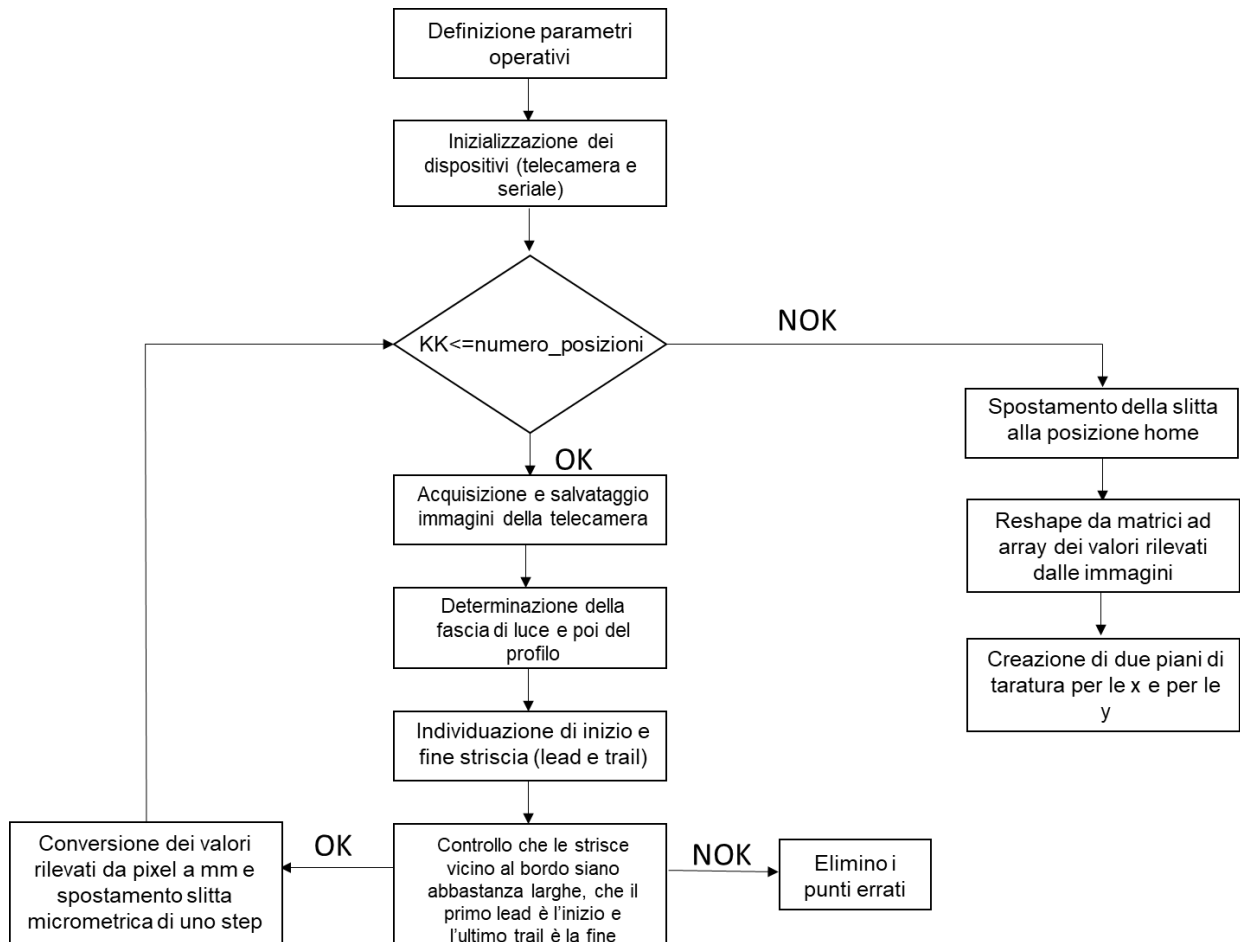


Figura 16 Diagramma di flusso del software di taratura

L'inizio del programma consiste nella definizione di parametri come il range delle misurazioni e il numero di posizioni dai quali si ricava automaticamente lo step da fare, dato che "step=range/numero_posizioni".

Successivamente, si inizializzano la telecamera e la seriale, ossia il collegamento al controllore al quale è collegata la slitta micrometrica.

Quindi si entra nel ciclo "for" definendo un indice KK che sia uguale ad 1 e che al massimo può assumere il valore corrispondente al numero di posizioni scelte. All'interno del ciclo avviene l'acquisizione delle immagini, il salvataggio e poi l'individuazione del profilo, ossia la porzione di immagine colpita dal fascio di luce intermittente del laser. Il profilo consisterà in un intervallarsi di bianco e nero: la luce segnalerà che il dente di lunghezza nota è stato colpito e, conseguentemente, illuminato dal laser.

La parte successiva del programma individua esattamente l'inizio e la fine delle

strisce di luce, per poi passare ad una serie di cicli “for” di controllo per eliminare i punti non conformi alle condizioni che imponiamo. Occorre, infatti, che le strisce di luce ai bordi siano abbastanza larghe affinché vengano considerate dal software perché l’allontanamento dell’artefatto dal sensore potrebbe determinare un’erronea cattura dell’immagine da cui risulta soltanto una porzione del dente. Nel momento in cui questa porzione non corrisponde esattamente alle dimensioni note è necessario eliminarla poiché la sua considerazione conduce ad un errore della taratura (dimensione non nota). Successivamente si controlla che il primo inizio sia effettivamente tale. Può accadere che non sia rilevato un inizio, bensì la fine della striscia di luce e se il primo punto rilevato è una fine, questa viene eliminata. La stessa logica si applica al controllo dell’ultimo punto rilevato: questo deve essere una fine pena la sua eliminazione.

Una volta controllati, i punti rilevati si convertono da pixel a mm, cui segue lo spostamento di uno step della slitta.

Terminato il ciclo “for” in modo automatico, la slitta torna alla posizione “home” e successivamente le matrici con i punti rilevati dalle immagini vengono riconfigurati e trasformati in array a loro volta ripuliti dai possibili errori e, in seguito, presi in considerazione per la creazione dei piani di taratura. Con la creazione e il salvataggio delle due superfici di taratura, il software di taratura giunge a terminazione.

3.2 Diagramma di flusso software di verifica di taratura

Una volta effettuata la taratura è necessario calcolare l’errore di misura al fine di verificare il grado di precisione della stessa, sapendo che gli ingressi sono noti. La funzione di questo software è quindi quella di prendere un’immagine campione e vederla con gli “occhi” del sensore e verificare lo scostamento tra la misurazione del G3F dalla misura reale.

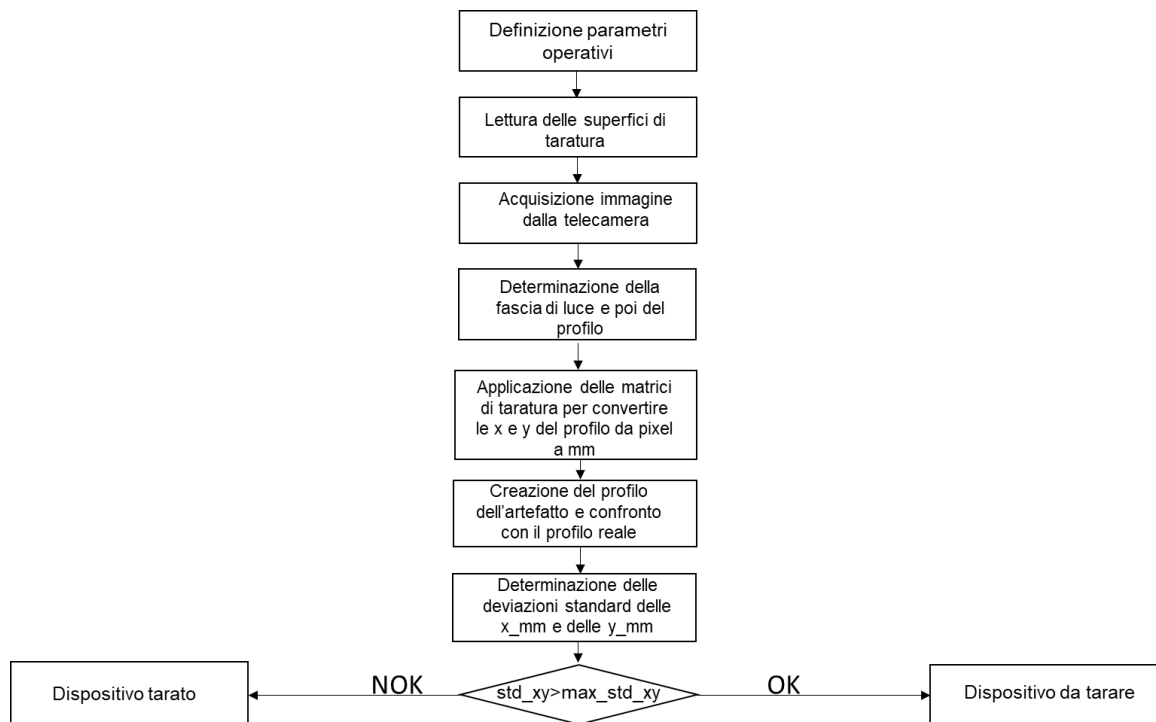


Figura 17 Diagramma di flusso software di verifica di taratura

All'inizio si definiscono i parametri come la lunghezza nominale del dente e la massima deviazione standard accettabile (max_std_xy) cui segue la lettura delle superfici di taratura salvate nel software.

Successivamente, si acquisisce l'immagine campione e da questa si individuano il profilo e le coordinate in pixel delle x e delle y.

Una volta determinati i punti si applicano le matrici di taratura per convertire le x e le y del profilo da pixel a millimetri, ovverosia si prendono le superfici di taratura per interpretare i punti rilevati dal punto di vista del sensore.

Per confrontare a livello visivo il profilo ideale a quello reale si crea una dentiera virtuale con le dimensioni nominali per poi confrontarla con il profilo risultante dal "plot" delle x_mm e y_mm .

Il passaggio seguente è il calcolo della deviazione standard sia delle x in millimetri che delle y in millimetri e poi la combinazione tra le due per avere la deviazione standard totale (std_xy). Se quest'ultima è maggiore del massimo consentito, il dispositivo è da tarare. Se, al contrario, std_xy è minore di detto massimo, allora il dispositivo è correttamente tarato.

3.3 Analisi del software in codice Matlab di verifica di taratura

Il diagramma di flusso sintetizza le operazioni del software codificato in linguaggio matlab. È proprio il codice l'argomento analizzato di seguito al fine di descrivere secondo una prospettiva informatica le operazioni viste in precedenza.

```
verifica_taratura1.m* x +
1 % verifica di taratura
2 clear all
3 close all
4 clc
5
6 %% Parametri
7 kk=1; %seleziono l'immagine
8 numero_images=10; %scegli il numero di immagini
9
10 numero_denti=7; %num righe del target
11 lead_iniziale=-6; %DA MODIFICARE lead e trail a seconda del caso
12 trail_iniziale=-4.5;
13 x_nom=1.5; %larghezza riga target
14 y_min=77; %DA MODIFICARE lead e trail a seconda del caso
15 y_max=80;
16 y_nom=46.9; % sarebbe y(z) che sarebbe uguale a i, i è la quota del laser che dipende dalla dist(
17 max_std_xy=0.5; %deviazione standard massima (nell'automotive è +-0.5)
18
19
20 soglia=0.3;
21 y_minimo=0; %se metto 1 prende tutti i valori da 2 compreso in poi
22 y_step=1;
23 y_mm=flip(1:numero_images)*y_step+y_minimo;
```

Figura 18 Definizione parametri

Nella definizione dei parametri, KK è l'indice che rappresenta il numero delle immagini campione, in questo caso 10 (numero_images), mentre il numero dei denti rappresenta il numero di strisce bianche e nere dell'immagine campione. Si definisce anche la lunghezza nominale del dente dell'artefatto catturato dall'immagine e il massimo della deviazione standard accettato per affermare che il sensore sia tarato. Le variabili di lead, trail, y_min e y_max sono utilizzate successivamente per creare una rappresentazione virtuale dell'artefatto e confrontare questa con il profilo reale dal punto di vista del sensore. Quindi i suoi valori devono essere cambiati ad ogni immagine in quanto il valore della quota reale y_mm varia al variare della distanza z del target dal sensore. Conseguentemente, per avere un confronto visivo funzionale occorre variare anche y_min e y_max. Inoltre, aumentando la distanza tra sensore e target, l'immagine risultante comprenderà più strisce, per cui bisogna variare anche il numero_denti, il lead e il trail iniziale che si è spostato più a sinistra.



Figura 19 Immagine prototipo G3F laser rosso distanza 1mm(sinistra) e distanza 6mm(destra)

Come si nota dalla figura 19 al variare di 5mm di z sono aumentate le strisce e il punto di inizio della prima striscia si è spostato. I parametri rimanenti vengono utilizzati successivamente per l'acquisizione dei punti dall'immagine campione selezionata.

```
%% Lettura delle superfici di taratura

%fitresult_Y
fy=open('fitresult_Y.mat');           % apro i risultati che ho salvato tramite Main_calib
fitresult_Y=fy.fitresult_Y;          %creo una nuova variabile e prendo il campo fy
%fitresult_X
fx=open('fitresult_X.mat');
fitresult_X=fx.fitresult_X;
```

Figura 20 Lettura superfici di taratura

Successivamente si prendono dal software di taratura le superfici (fitresult_X.mat, fitresult_Y.mat) e si assegnano i punti della superficie alle variabili fitresult_X e fitresult_Y che verranno utilizzate in seguito.

```

% STESSA PROCEDURA DI MAIN_CALIB MA VIENE FATTO PER UNA SOLA IMMAGINE

filename=['img' num2str(kk) '.jpg']; %'im'
I_c=imread(filename);
I=I_c(:,:,1);
righe=size(I,1);
colonne=size(I,2);

% Determino la fascia orizzontale in cui si trovo il piano, per fare crop

integra=sum(I,2)/max(sum(I,2));
[m_y_p]=max(integra); % Trova la posizione della riga in vertical per fare crop

[mini ini]=min(abs(integra(1:y_p)-0.1)); %considero soglia al 10% del picco
[mfin fin]=min(abs(integra(y_p:end)-0.1)); %considero soglia al 10% del picco
fin=fin+y_p-1;
span=(fin-ini)/2;
I_crop=I(ini:fin,:);

%Determino il profilo per determinare inizio e fine delle strisce

profile=sum(I_crop,1)/max(sum(I_crop,1));
% figure, plot(profile)
jj=0;
for ii=2: size(profile,2)
if(profile(ii)>soglia && profile(ii-1)<soglia)
jj=jj+1;
lead(jj)=ii;
end
end

```

Figura 21 Acquisizione dei punti dall'immagine campione

Una volta scelta l'immagine campione, essa viene letta, si individua dove si trova la fascia orizzontale di luce (integra) si effettua un crop dell'immagine sulla porzione posta intorno alla fascia di luce per poi ricavare il profilo dell'immagine.

Quindi, si determinano tutti i punti di lead e trail di ogni striscia. A ben vedere, il processo è uguale a quello utilizzato nel ciclo for del software di taratura, sebbene qui si ottengono solo i punti in pixel.

```

x_mm=fitresult_X(x,yy); %trasformo i risultati da pixel in millimetri
y_mm=fitresult_Y(x,yy);

figure, plot(x_mm,y_mm,'-x')
hold on

zz=0; %creo la curva rossa di riferimento
x_dente=0;
for q=1:numero_denti

xx_mm(zz+1)=lead_iniziale+x_dente; %ottengo xx_mm(1,2,3,4)
xx_mm(zz+2)=lead_iniziale+x_dente;
xx_mm(zz+3)=trail_iniziale+x_dente;
xx_mm(zz+4)=trail_iniziale+x_dente;

yy_mm(zz+1)=y_min; %ottengo yy_mm(1,2,3,4)
yy_mm(zz+2)=y_max;
yy_mm(zz+3)=y_max;
yy_mm(zz+4)=y_min;

x_dente=x_dente+1.5; %mi allargo lungo x della larghezza del dente
zz=zz+4; %alla prossima iterazione riparto da 5

end
plot(xx_mm,yy_mm,'-r*');

```

Figura 22 Confronto tra profilo reale e ideale

I punti che sono stati ricavati precedentemente vengono convertiti in millimetri grazie a fitresult_X e fitresult_Y e successivamente vengono uniti in un grafico (plot) che rappresenta il profilo elaborato dal sensore.

Il ciclo for è fondamentale per la creazione del profilo di riferimento – la rappresentazione dell’artefatto – e, quindi, della reale misura senza errore.

Come si nota dalla Figura 23, in rosso è indicata la rappresentazione dell’artefatto, mentre in blu è rappresentato il profilo che il sensore rileva. È evidente la differenza tra le due curve che verrà calcolata in seguito.

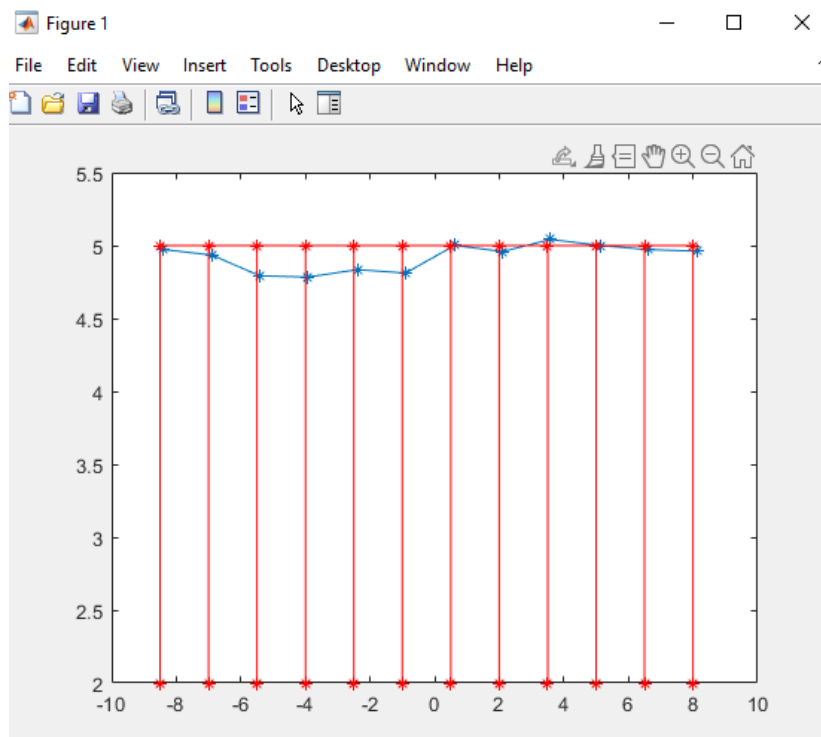


Figura 23 Confronto tra profilo ideale e profilo reale (grafico)

```

delta_x=x_mm(2:end)-x_mm(1:end-1);           %calcolo la larghezza della striscia reale
%std_nom_x=std(delta_x-x_nom);               %sto sottrendo un numero costante e poi faccio la dev standard, quindi
std_x=std(delta_x);

ave_y=mean(y_mm);                             %faccio la media delle y
std_y=std(y_mm);                               %faccio la dev standard perchè le y_mm idealmente sarebbero tutte ugua

%std_nom_y=std(y_mm-y_nom);                   %sto sottrendo un numero costante e poi faccio la dev standard, quindi

std_xy=sqrt(std_x^2+std_y^2);

```

Figura 24 Calcolo deviazione standard

Una volta convertiti i punti in millimetri si ricava il delta tra le x_{mm} che rappresenta la lunghezza effettiva della striscia dalla quale ricavo la deviazione standard delle x , si effettua analoga operazione per le y ed infine si calcola la deviazione standard totale che verrà confrontata a seguire.

```
%% Ottenere un numero che rappresenta la "distanza" o "errore" tra profilo_mm e dimensioni effettive
if(std_xy>max_std_xy)
    disp('strumento da tarare');
else
    disp('strumento tarato');
end
```

Figura 25 Confronto con la deviazione standard massima

La conclusione del software consiste nel confronto tra la std_{xy} con il valore massimo consentito: se si otterrà un valore maggiore al massimo, lo strumento è da tarare; se il valore risultante fosse inferiore a tale soglia, lo strumento è correttamente tarato e si può passare alla misura del Gap and Flush.

3.4 Diagramma di flusso software per il calcolo del Gap and Flush

Una volta tarato il G3F e verificata che la deviazione standard sia sufficientemente bassa, si effettua il calcolo vero e proprio del gap e del flush.

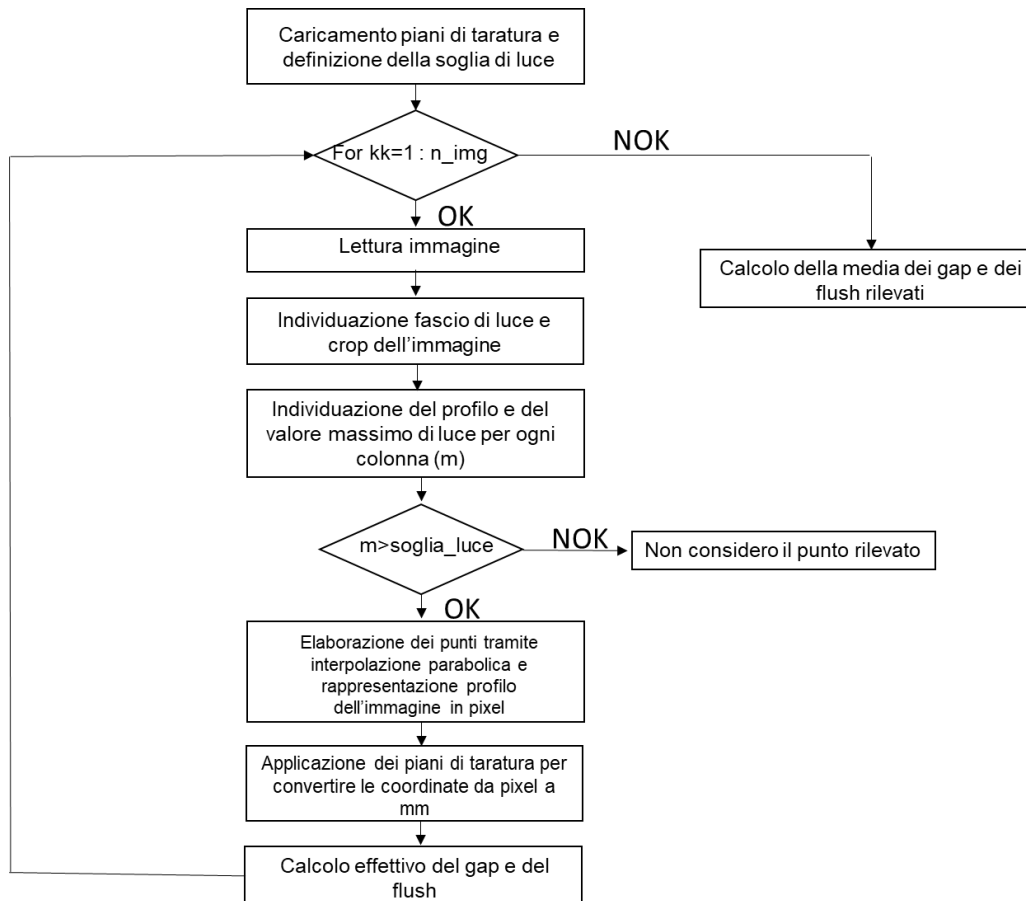


Figura 26 Diagramma di flusso software per il calcolo del gap and flush

Il software per il calcolo del gap e del flush inizia acquisendo i piani di taratura definiti precedentemente, per poi definire il valore delle immagini da processare ed il valore di soglia della luce.

Successivamente, si passa alla lettura delle immagini dalle quali si estrae il profilo e si definisce il valore massimo di luminosità m per ogni colonna. Se m è maggiore del valore di soglia allora quel punto è luminoso e rappresenta il profilo illuminato dal laser, quindi viene considerato e si procede con un'interpolazione parabolica dei punti in modo da rendere il profilo in pixel più preciso. Se il punto ha un valore di m basso significa che questo è un punto scuro che non appartiene al profilo dell'immagine. Nel momento in cui si manifestano dei disturbi luminosi, il valore di soglia si alza affinché soltanto i punti con un valore elevato di m vengano considerati, tralasciando gli altri punti con un m medio che potrebbero falsare la misurazione. Dopo aver trovato tutti i punti, si convertono le coordinate da pixel a millimetri utilizzando i piani di taratura per poi calcolare il gap ed il flush. Se vengono processate più foto con le medesime

condizioni di partenza, i valori vengono salvati in due array diversi, dopodiché si calcola la media dei valori rilevati al fine di rendere la misurazione ancora più precisa.

4 Raccolta ed analisi dei dati della taratura del G3F, della sua verifica e del calcolo del Gap and Flush

Ogni operazione effettuata e descritta nei capitoli precedenti restituisce dei dati che devono essere analizzati per determinare delle conclusioni o individuare delle problematiche.

Nella taratura si hanno come output le superfici di taratura, le quali devono essere osservate per individuare il numero di punti acquisiti durante l'operazione e per verificare la presenza di eventuali anomalie. Alla verifica di taratura, processo di controllo nel quale occorre tenere conto dei risultati della deviazione standard, segue il calcolo del gap and flush in cui si analizzano varie situazioni affinché in qualsiasi condizione si possano avere dei risultati.

4.1 Analisi delle superfici di taratura

Una volta tarato il G3F si ha come dato finale una superficie data dall'interpolazione dei punti acquisiti. Nel nostro caso, si è utilizzata funzione polinomiale interpolante di grado 5.

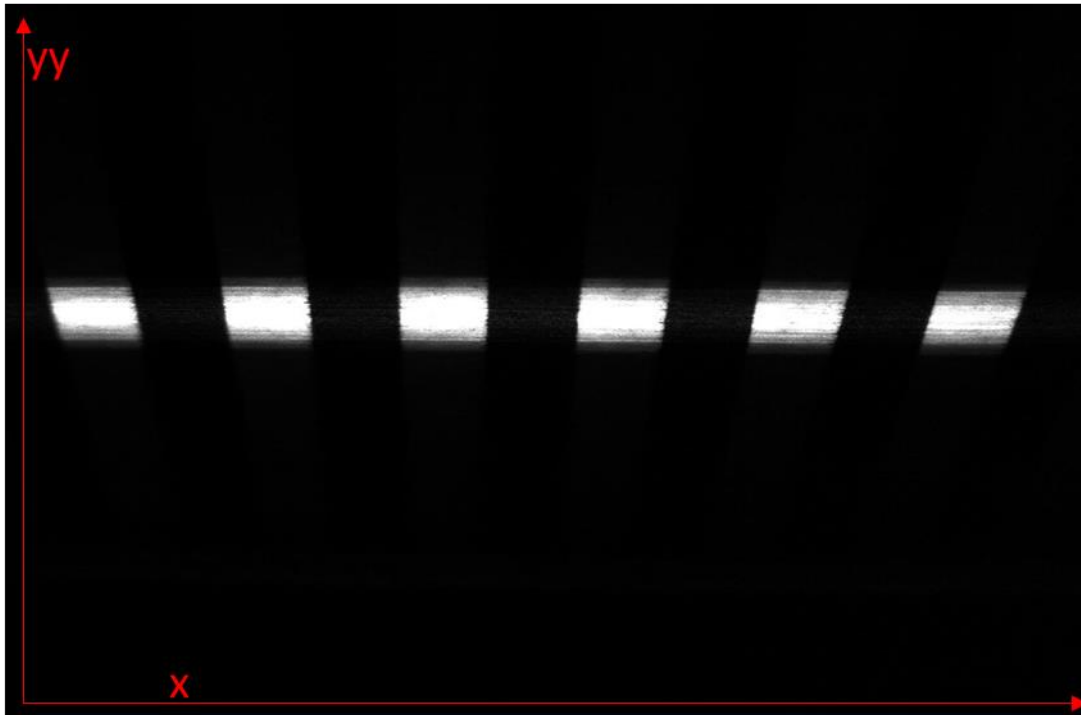


Figura 27 Immagine taratura

Il software acquisisce questa immagine e trova le coordinate in pixel x e yy dell'inizio striscia e del fine striscia (lead e trail), yy è in funzione della distanza nota z perché più il target si allontana e più yy va verso l'alto. Inoltre, il software determina anche i valori in millimetri di x e di yy che rappresentano i valori reali sui quali si calcolerà la deviazione standard.

Si creano poi due superfici di taratura che hanno sugli assi delle ascisse e ordinate xx e yy mentre sull'asse z ci saranno le x in millimetri per il primo grafico e le y in mm per il secondo grafico.

Si sono effettuate complessivamente 3 tarature diverse: la prima per il prototipo con il laser blu e le seconde due per il prototipo con il laser rosso cambiando però il target. Pertanto, si è sempre utilizzato l'artefatto cartaceo, ma con due step diversi (1.5mm e 4mm).

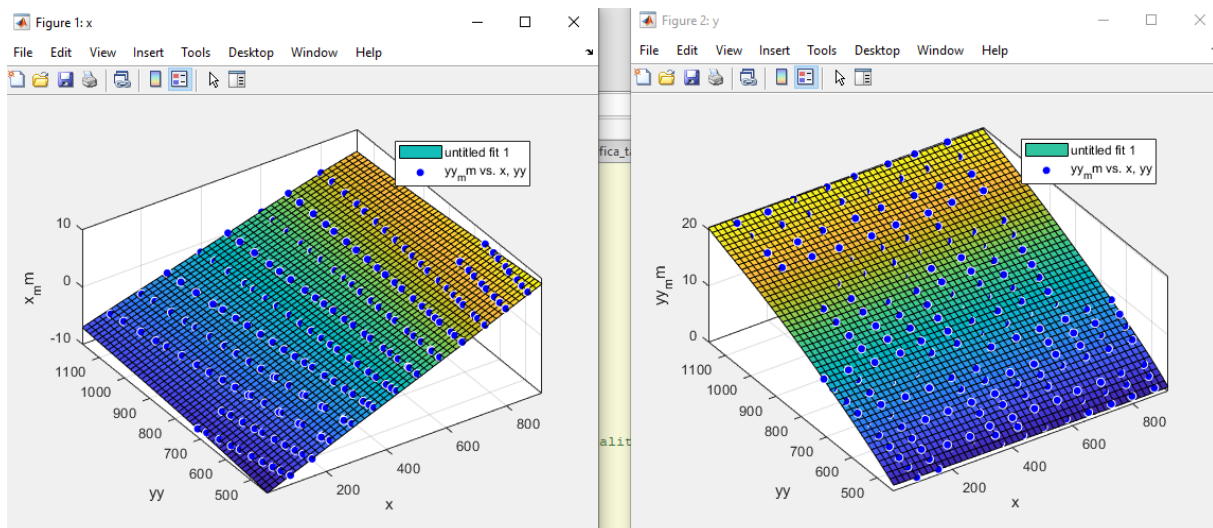


Figura 28 Piani di taratura prototipo laser blu: la figura a sinistra mostra la posizione x_{mm} in funzione delle coordinate in pixel sul sensore, la figura a destra mostra la posizione YY (legata alla distanza z) sempre in funzione delle coordinate in pixel.

I piani di taratura mostrati dalla figura 28 rappresentano i punti acquisiti dal laser blu con uno step di 1 millimetro ed un range di misure di 20 mm. La ridotta omogeneità di acquisizione dei punti è dovuta alla messa a fuoco che per step piccoli e step grandi è sfuocata, rendendo l'acquisizione più complessa. Ciononostante, come si osserverà nel paragrafo successivo, l'errore è molto basso.

Per quanto riguarda la taratura del prototipo con il laser rosso, qui si è proceduto con una duplice taratura: è infatti emerso che con un target di 1.5mm si sarebbero acquisiti troppi punti rendendo più imprecisa l'interpolazione. Con un target da 4mm si

individuano meno punti, ma l'interpolazione risulta più precisa come si vedrà successivamente analizzando le deviazioni standard.

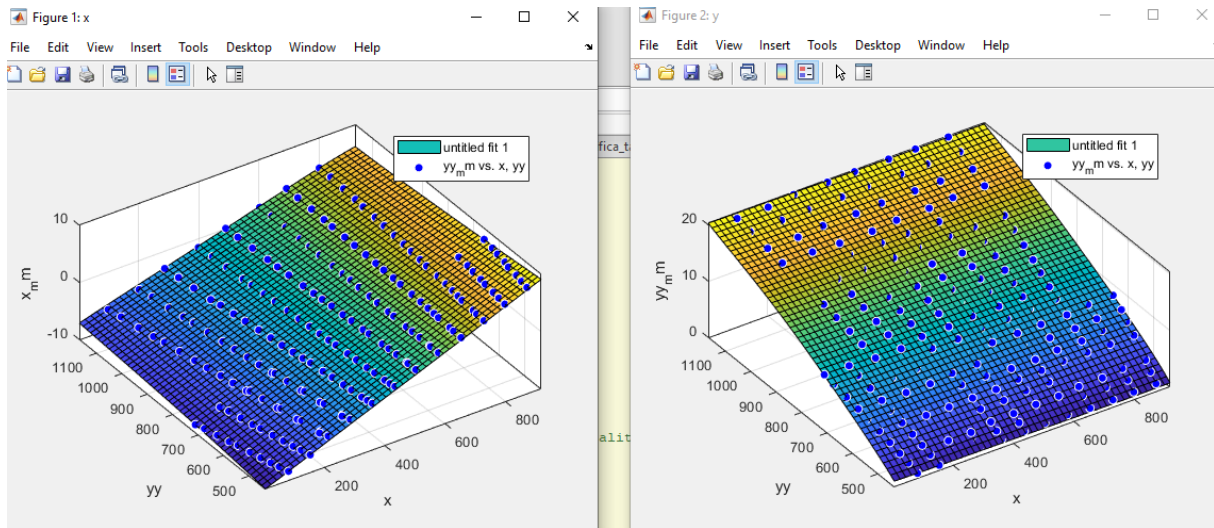


Figura 29 Piani di taratura prototipo laser rosso (target 1.5mm)

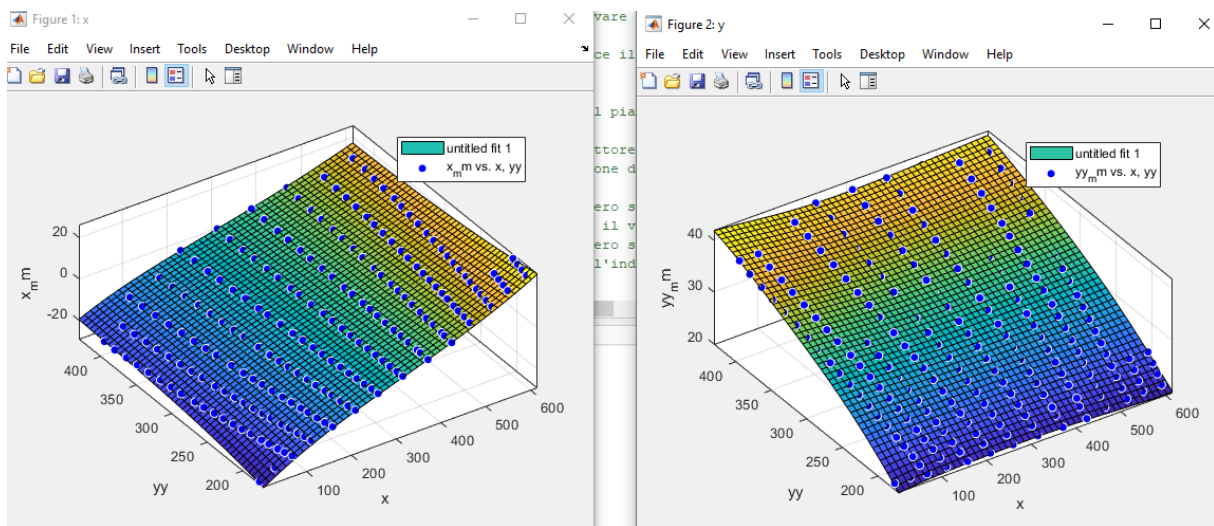


Figura 30 Piani di taratura prototipo laser rosso (target 4mm)

Come si nota dalle figure 29 e 30, il grafico delle x è più popolato nel target da 4mm nonostante vi sia un numero inferiore di ingressi noti, mentre per le y si individuano dei buchi dati dal fatto che i punti si trovano al di sotto la superficie colorata. A differenza delle superfici del prototipo blu, questi piani sono curvi perché la camera ha un obiettivo grandangolare che tende ad incurvare l'immagine quindi anche i punti individuati non si collocano sulla stessa retta, ma avranno un andamento curvilineo.

4.2 Analisi della deviazione standard nella verifica di taratura

Una volta tarato il G3F è fondamentale controllare se le misurazioni di quest'ultimo siano corrette. Il software di verifica di taratura calcola a tal fine la deviazione standard, cioè l'errore di misura dello strumento che, nel caso del G3F, deve essere minore del valore soglia di 0.5mm.

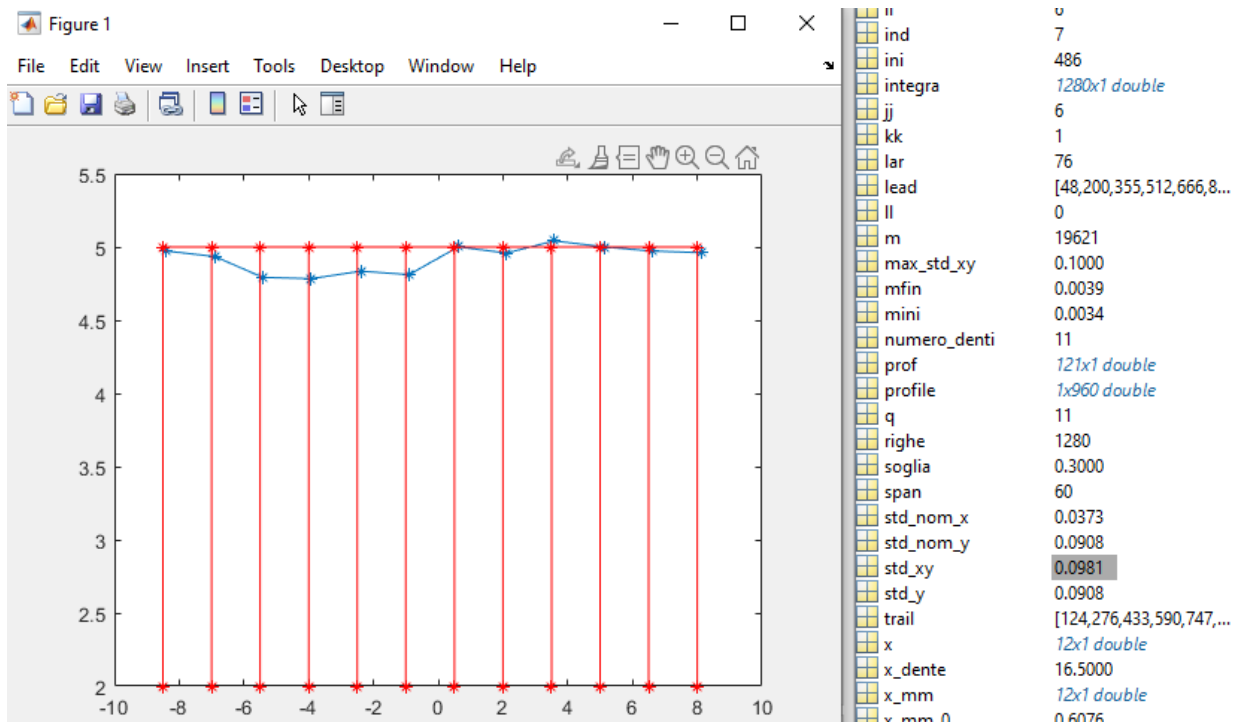


Figura 31 Deviazione standard prototipo laser blu con step 1mm

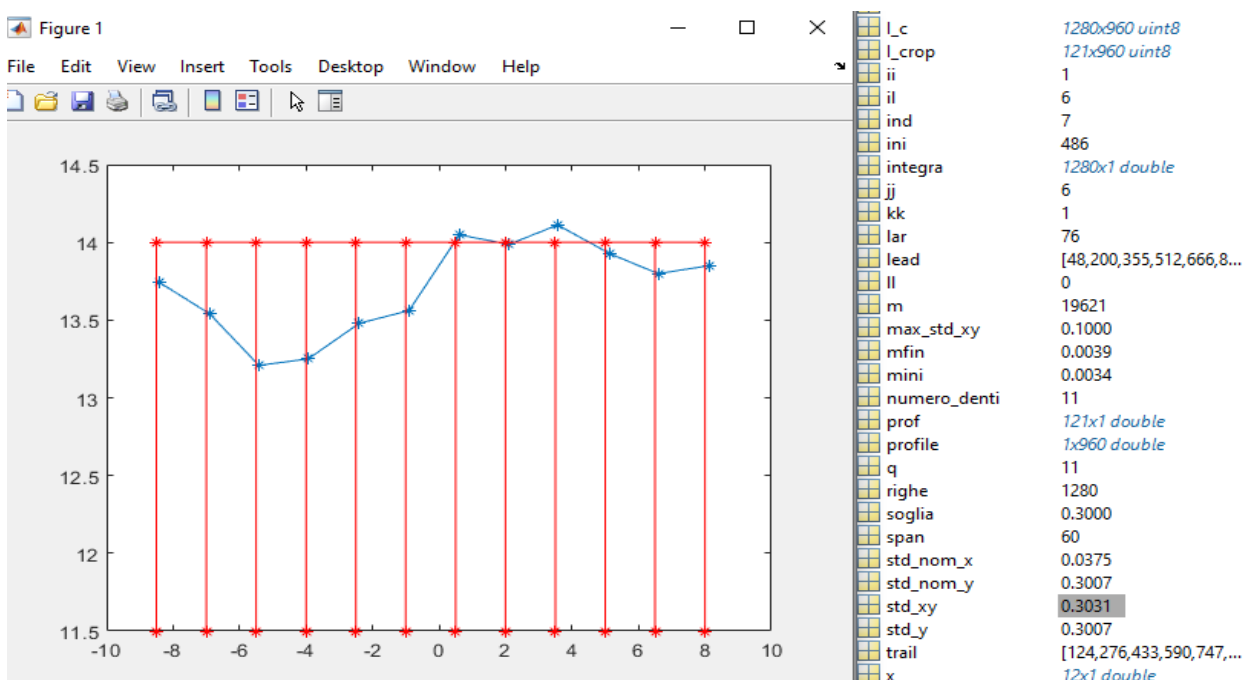


Figura 32 Deviazione standard prototipo laser blu con step 0.5mm

Le figure 31 e 32 sono le rappresentazioni del profilo ideale (rosso) e del profilo reale (blu) ricavato da una stessa foto campione distante 16mm dal prototipo, acquisita dal software di verifica di taratura utilizzando due piani di taratura diversi.

Nonostante fosse lo stesso prototipo ad acquisire l'immagine, la deviazione standard risulta diversa poiché sono diversi i piani di taratura: il primo grafico è dato da uno step tra un'immagine e l'altra di 1mm, mentre il secondo grafico da uno step di 0.5mm che teoricamente dovrebbe essere più preciso visto che si acquisisce un numero maggiore di punti.

Partendo dal presupposto che sono due errori accettabili nell'intervallo soglia, il discorso fatto precedentemente per il laser rosso si conferma anche per il laser blu: acquisire più punti non è sempre sintomo di maggiore precisione, ma superato un certo limite il software non lavora più perfettamente e da ciò derivano maggiori errori.

Guardando la Figura 31, la std_{xy} , cioè la deviazione standard totale, è un valore dell'ordine del centesimo di millimetro cui corrisponde un livello di incertezza molto basso anche se – a prima vista – dalla figura ciò non sembra emergere, vista la sovrapposizione non perfetta dei due profili. Tuttavia, è bene specificare che sulle ordinate ogni segmento misura 0.5mm e il profilo blu al massimo ha un valore di circa 0.25mm minore del profilo ideale: questo dimostra l'alta precisione dei piani di taratura.

Per quanto riguarda la Figura 32, la std_{xy} ha un valore più alto perché le y reali variano al massimo di quasi 1mm e questo porta ad un errore più alto, anche se bisogna sottolineare una deviazione standard delle x (std_{nom_x}) di poco più bassa di quella rilevata nella Figura 31. Si può concludere dicendo che aumentando gli step, aumentano i punti e c'è un maggiore possibilità di errore nelle y che fanno, in tal modo, aumentare la std_{xy} .

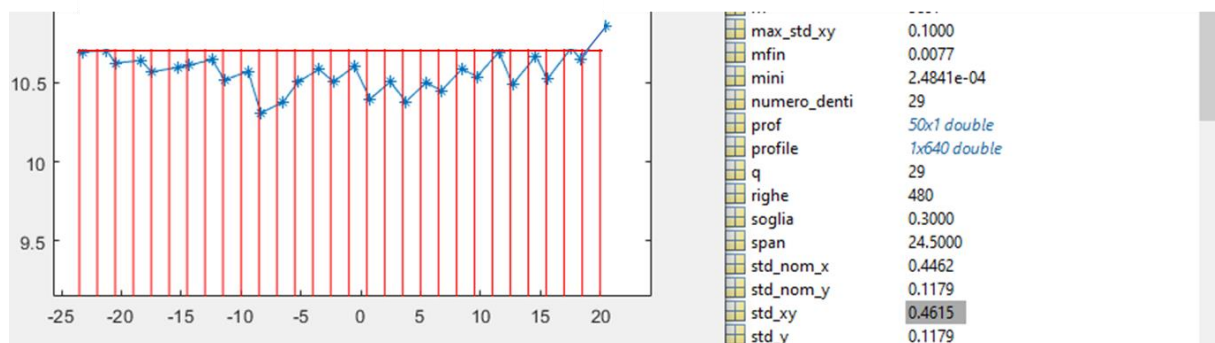


Figura 33 Deviazione standard prototipo con laser rosso step 1mm target da 1.5mm

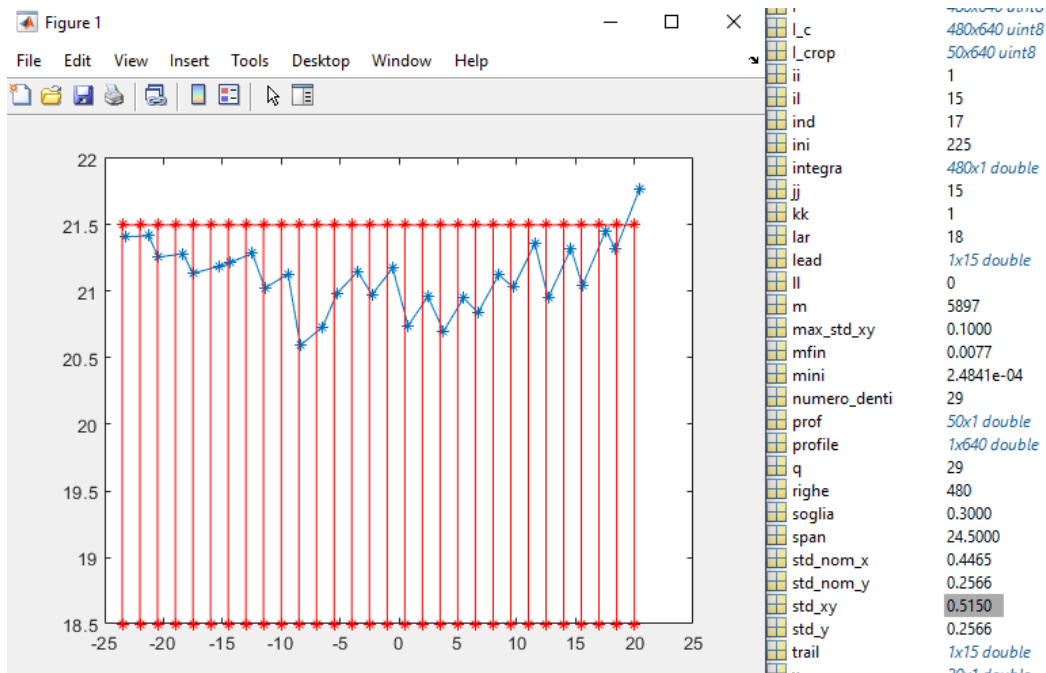


Figura 34 Deviazione standard prototipo con laser rosso step 0.5mm target da 1.5mm

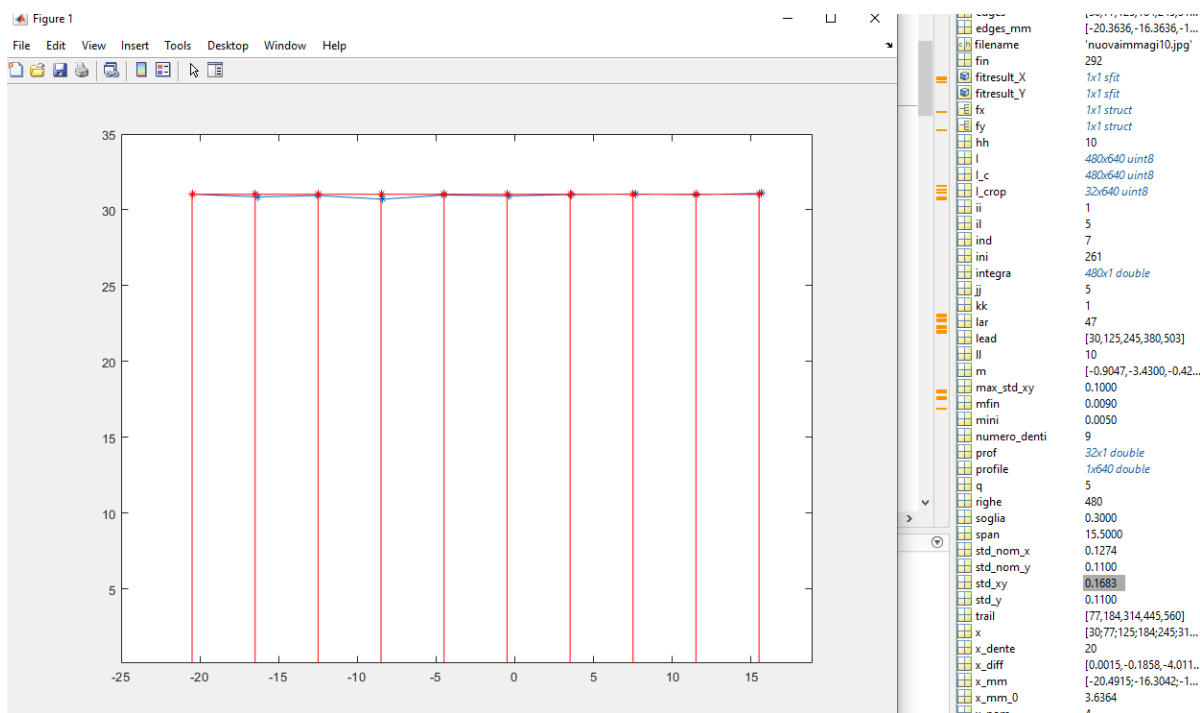


Figura 35 Deviazione standard prototipo con laser rosso step 1mm target da 4mm

Le figure 33, 34 e 35 rappresentano le deviazioni standard del prototipo con il laser rosso che acquisisce un'immagine alla stessa distanza di 10mm, ma nel caso della Figura 35 si ha un target diverso con una larghezza del dente di 4mm, target utilizzato sia per la taratura che per la verifica di taratura.

Se si analizzano le Figure 33 e 34 si nota che la deviazione standard è elevata e nel caso dello step di 0.5mm supera il valore soglia. Tuttavia, se nel laser blu a variare è la y, nel laser rosso – diminuendo lo step – è la x che ha un errore maggiore: con un target che ha una larghezza dente di 1.5mm e un obiettivo che riesce ad acquisire molte righe ad ogni immagine, il software riesce ad individuare molti punti che portano ad un aumento dell'errore che, a sua volta, si amplifica se si riduce lo step e quindi si aumentano le immagini acquisite nel range di 20mm. Per questo si è scelto di cambiare target e la Figura 35 dimostra che questa scelta è stata corretta. Infatti, ad una medesima distanza dal prototipo, questo riesce ad avere una std_xy di 0.16mm che è un valore paragonabile al prototipo con il laser blu.

A prima vista la Figura 35 sembra molto più precisa della Figura 31, si tratta però di un mero effetto visivo dato dalla variazione della lunghezza del segmento delle ordinate: nel primo caso è 1mm e nel secondo è 0.5mm. In conclusione, si conferma che anche per il laser rosso un aumento di punti acquisiti è sinonimo di un errore maggiore soprattutto per le x, ragione per cui si tende ad avere uno step sufficientemente ampio ed un target di dimensioni maggiori per garantire un numero adeguato di punti per l'interpolazione e la creazione di piani di taratura accurati.

4.3 Calcolo del Gap e del flush

Una volta scelti i piani di taratura migliori per ogni prototipo si passa al calcolo effettivo del gap e del flush e si sceglie quale tra i due prototipi è il migliore per svolgere questa operazione.

Il prototipo con il laser blu ha come vantaggio la possibilità di settare il tempo di esposizione per avere una foto più scura qualora risultasse un rumore luminoso molto alto. Allo stesso modo, il laser ha un fascio di luce troppo spesso ed è molto difficile scattare una foto con un rumore ridotto. Inoltre, la corretta messa a fuoco dell'immagine è possibile solamente ad una distanza di circa 1cm: in caso di misure minori o maggiori l'immagine risulta sfuocata. Queste problematiche di partenza rendono la misura scarsamente flessibile dato che è possibile misurare solo una distanza fissa e non randomica.



Figura 36 Foto prototipo con il laser blu Gap 2.20mm e flush 1.37mm

La Figura 36 rappresenta un'immagine acquisita dal prototipo ad una distanza di circa 1cm e si può notare come la fascia luminosa sia sì molto spessa, ma anche molto nitida nonostante il rumore luminoso nella fascia di destra. L'immagine inserita nel software di calcolo dà ottimi risultati per il gap, ma ha un errore di circa 4mm per il flush dovuto al disturbo che però può essere superato aumentando la soglia di luce. La mancanza di flessibilità nell'acquisizione ha condotto a un utilizzo ridotto di questo prototipo, optando per il prototipo con il laser rosso, nonostante la sua deviazione standard fosse leggermente maggiore.

Il problema riscontrato con il secondo prototipo è rappresentato dall'eccessivo disturbo luminoso. Come si nota dalla Figura 37, la luce della stanza è stata spenta. Eppure, ciò non è stato sufficiente a ridurre il rumore, tanto da falsare totalmente la misura. Tale problema può essere risolto prendendo un piano colore tra i 3.



Figura 37 Immagine Gap and Flush Prototipo laser rosso

Captando il piano blu dell'immagine, questa risulta meno rumorosa, come si nota dalla Figura 38. Dal ramo di destra parte un disturbo luminoso verticale che non viene considerato alzando la soglia_luce.

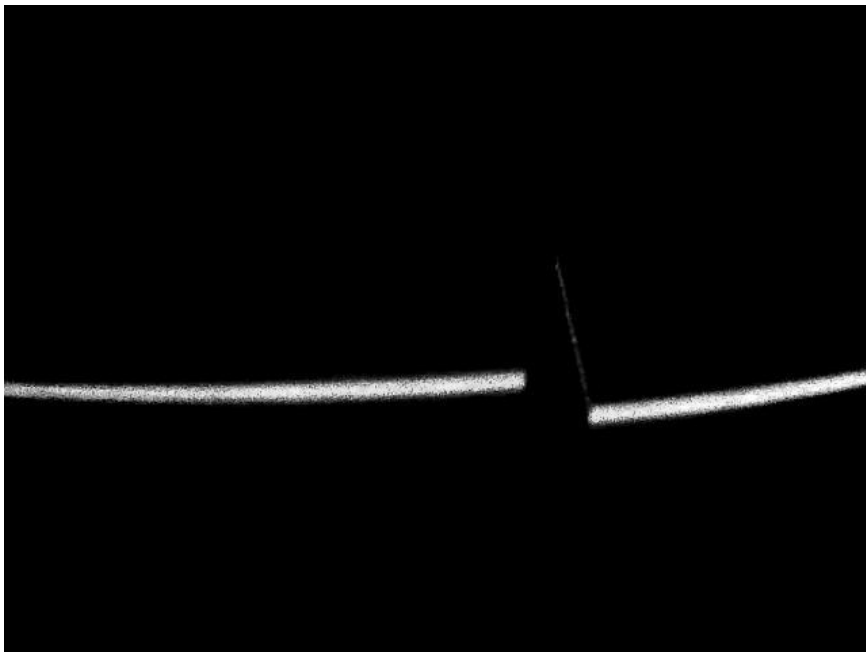


Figura 38 Immagine Gap&Flush rumorosa piano colore blu

I risultati della misura sono decisamente buoni. Pertanto, sono state processate 5 foto che ritraevano lo stesso gap e lo stesso flush. Sulla base di queste, si è successivamente calcolata la misura per ciascuna immagine, da cui si è infine ricavato il valore medio.

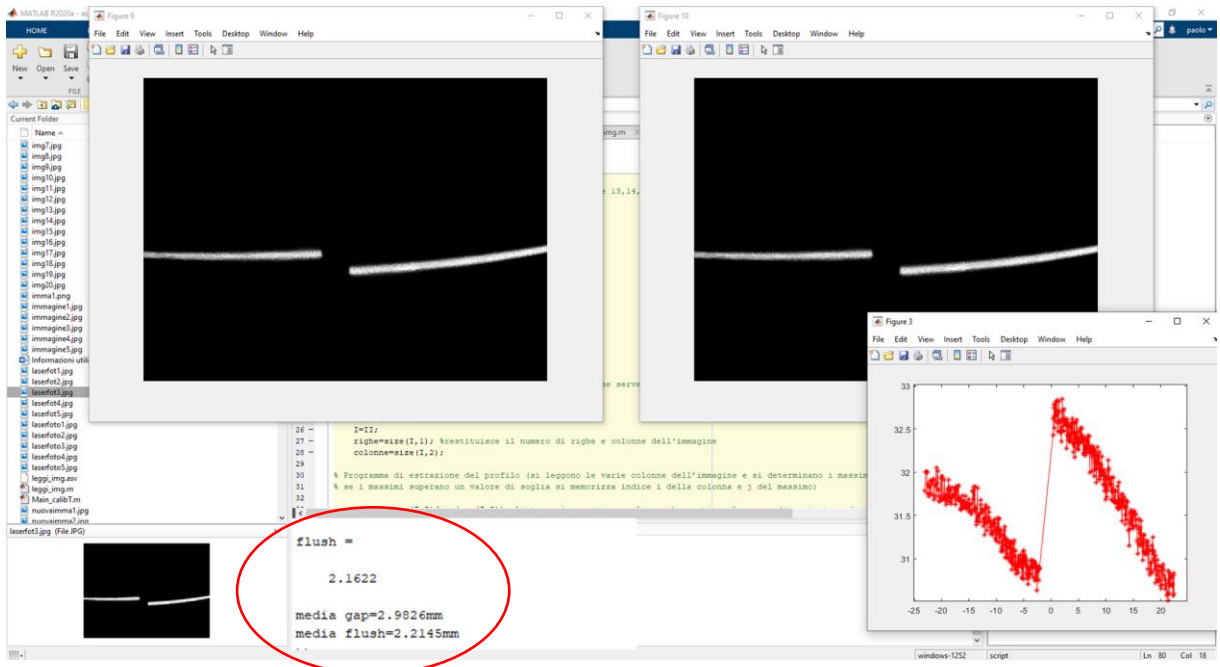


Figura 39 Misura del Gap&Flush medio

Il valore misurato precedentemente con il calibro era 2.9mm per il gap e circa 2mm per il flush. Osservando la parte bassa della Figura 39, il valore più in alto è il flush misurato nell'ultima foto, cui seguono i valori medi del gap e del flush.

È evidente che l'errore di misura è molto basso, per cui si ha la conferma che il dispositivo è correttamente tarato e misura in modo molto preciso.

5 Gestione dei processi per la produzione in serie del G3F

5.1 Microsoft Project

Microsoft Project è un ausilio informatico per la progettazione, permettendo di organizzare tutti i dati – prodotti tanto all'interno dell'azienda quanto all'esterno – e le fasi che andranno a costituire l'intero progetto.

Grazie a Microsoft Project è infatti possibile organizzare il progetto in macro attività, segmentandole in elementi basilari che comprendono anche i costi e le relative quantità.

Questo programma permette di “smontare” l'attività nelle sue specifiche componenti: partendo dall'identificazione dei diversi elementi necessari al progetto, si può proseguire per la stima del tempo necessario e la definizione dei costi.

Inoltre, con lo strumento di Microsoft è possibile ordinare le diverse attività in base alla loro priorità o propedeuticità, realizzando una deadline precisa frutto di una pianificazione impeccabile.

In sostanza, Microsoft Project si occupa di organizzare:

1. Attività
2. Risorse
3. Tempi
4. Costi

Collocandosi nella branca del project management, questo software permette di posizionare e coordinare le risorse disponibili, aiutare a rispettare le scadenze e i costi del progetto, ma anche supervisionare il progetto su più livelli, al fine di concludere l'opera entro la data di fine dei lavori prefissata, senza sorprese sul budget a disposizione.

Questo utile strumento per la gestione dei progetti di lavoro consente al fruitore di avvalersi di modelli predefiniti, ottimizzando il progetto di lavoro.

Dopo aver impostato la data di inizio e fine dei lavori, il tool di Microsoft aiuta a delineare tutte le macro attività da svolgere, per poi scomporle prima in micro attività, ed infine arrivare ai singoli elementi necessari alle varie fasi di lavoro.

In seguito a questo processo di “semplificazione”, anche noto come WBS – Work Breakdown Structure – si può proseguire con l'organizzazione delle diverse attività di lavoro.

Sintetizzando, Microsoft Project aiuta il project manager a trovare gli elementi necessari alle attività più importanti che consentiranno poi il progredire del lavoro, supportandolo in due modi:

1. Fornendo una griglia organizzativa in cui inserire tutti i dati riguardanti il progetto;
2. Restituendo la realizzazione di un diagramma di Gantt, ovvero una rappresentazione grafica dell'intero progetto.

5.1.1 Diagramma di Gantt

Henry Laurence Gantt è stato un ingegnere meccanico e consulente di management statunitense che nel 1917 ideò un diagramma con l'obiettivo di poter confrontare in modo semplice il lavoro svolto rispetto al lavoro previsto.

L'obiettivo del diagramma di Gantt è mettere in relazione le attività con il tempo, creando uno strumento utile per:

1. Pianificare (il progetto)
2. Verificare (i risultati attesi)
3. Coordinare (le attività)
4. Tracciare (lo stato di avanzamento)

Il diagramma è costituito da una tabella in cui le colonne indicano un intervallo temporale suddiviso in unità di tempo uguali e le righe rappresentano le diverse attività. Le barre orizzontali tracciate attraverso gli intervalli di tempo rappresentano sia la quantità di tempo dedicata all'attività sia il lavoro da svolgere in quel lasso di tempo. Una diversa colorazione delle barre può essere usata per evidenziare la differenza tra lavoro previsto e lavoro effettivamente svolto.

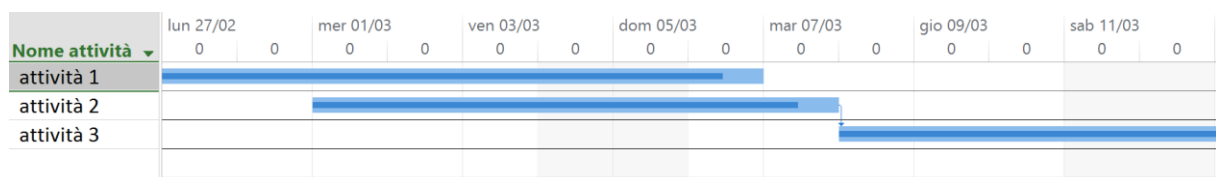


Figura 40 Diagramma di Gantt con attività vincolate

È possibile specificare vincoli temporali per l'inizio o il termine delle attività, indicare ordini di precedenza per l'esecuzione delle attività, specificare dei punti cardine

(milestone) che rappresentano momenti di particolare importanza nel corso del progetto e definire le risorse e stabilire il piano della loro assegnazione alle attività.

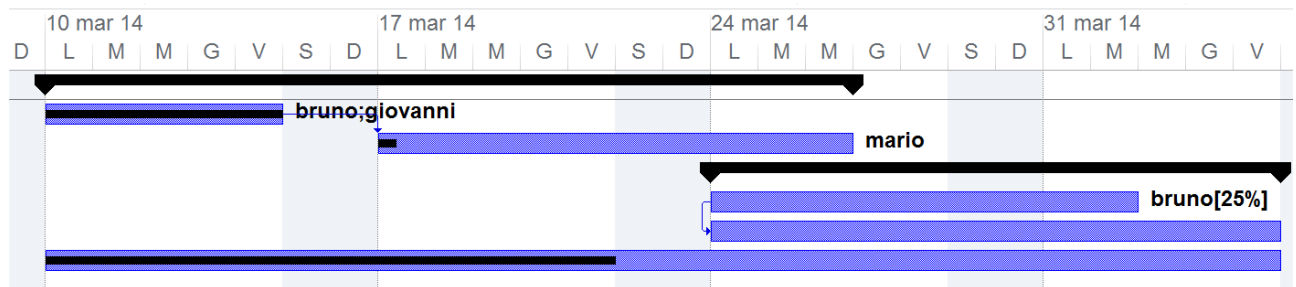


Figura 41 Diagramma di Gantt con risorse assegnate

Uno dei principali vantaggi del diagramma è l'immediata visualizzazione della parallelizzazione delle attività, tenendo sotto controllo lo stato di avanzamento delle attività e facilitando l'individuazione delle attività critiche, ossia quelle che non possono essere posticipate senza un conseguente allungamento dei tempi del progetto.

La definizione del diagramma di Gantt avviene solitamente secondo i seguenti passi:

1. Si determinano tutte le attività necessarie per il raggiungimento degli obiettivi
2. Si stabiliscono budget e limite temporale del progetto
3. Si identificano le risorse disponibili con i relativi costi unitari
4. Si verificano le relazioni di dipendenza ed i vincoli delle attività

Durante l'evoluzione del progetto si tiene traccia delle modifiche intervenute:

1. Date effettive di inizio delle attività
2. Tempo effettivamente impiegato per ciascuna attività
3. Modifiche nell'impiego delle risorse

Periodicamente si verifica lo stato di avanzamento del progetto attraverso l'identificazione delle attività in ritardo o in anticipo rispetto al piano programmato, alla risoluzione dei problemi di sovra-locazione delle risorse ed effettuando una ripianificazione delle attività.

5.2 Analisi del Gantt della produzione in serie del G3F

La produzione in serie del G3F è l'ultimo passaggio di un percorso molto più lungo che prende le mosse con l'ideazione del prototipo, cui seguono l'acquisto dei materiali, la programmazione di un software specifico fino ad arrivare alla taratura dei prototipi e al brevetto finale.

Il processo di ricerca e sviluppo intrapreso dalla startup U_Sense inizia a dicembre 2020 e secondo proiezioni ipotetiche si dovrebbe avere una produzione in serie per il primo trimestre del 2022.

Il software utilizzato per la creazione del Gantt è Microsoft Project, dove sono state inserite tutte le attività, le risorse, i costi per ogni operazione svolta ed aggiornati alla data del 15 maggio 2021.

ID	Modalità attività	Nome attività	Durata	Inizio	Fine	Predecessori	Nomi risorse
1		attività					
2							
3		Prototyping @ U-Sense.IT					
4		Progettazione e deployment ottico	135 g	mar 01/12/20	lun 07/06/21		
5		Scelta laser	6 g	mar 01/12/20	mar 08/12/20		luigi montalto
6		Acquisto laser (campione)	13 g	mar 01/12/20	gio 17/12/20		Laser[1]
7		Scelta telecamera	16 g	mar 01/12/20	mar 22/12/20		luigi montalto
8		Acquisto telecamera (campione)	46 g	mar 08/12/20	mar 09/02/21		
9		Scelta ottiche (lenti, filtri, prismi)	6 g	mar 01/12/20	mar 08/12/20		luigi montalto
10		Acquisto ottiche (lenti, filtri, prismi)	26 g	lun 03/05/21	lun 07/06/21		
11		Condivisione dati tecnici telecamera/laser con AM	6 g	lun 01/02/21	lun 08/02/21		
12		Finalizzazione progetto Ottico (Montalto)	0 g	sab 15/05/21	sab 15/05/21		luigi montalto
13		Finalizzazione progetto Ottico (Chiariotti)					Chiariotti
14							
15		Progettazione e deployment meccanico	118 g	mer 16/12/20	dom 30/05/21		
16		Progettazione componenti interne (Fitti)	34 g	mer 16/12/20	dom 31/01/21		Fitti
17		Progettazione componenti interne (Castellini)					Paolo Castellini
18		Progettazione involucro (Fitti)	108 g	mer 16/12/20	ven 14/05/21		Fitti
19		Progettazione involucro (Castellini)					Paolo Castellini
20		Finalizzazione progetto meccanico	0 g	sab 15/05/21	sab 15/05/21		
21		Realizzazione 5 componenti interni dei prototipi	16 g	lun 03/05/21	sab 22/05/21		
22		Definizione tastiera (Chiariotti)	26 g	lun 01/02/21	dom 07/03/21		Chiariotti
23		Definizione tastiera (Castellini)					Paolo Castellini
24		Realizzazione 10 tastiere					
25		Realizzazione 5 prototipi involucro	19 g	mer 05/05/21	dom 30/05/21		
26							
27		Progettazione e deployment software	101 g?	lun 01/02/21	lun 21/06/21		
28		Togliere riferimenti VW da SW G3F	41 g	lun 01/02/21	sab 27/03/21		Chiariotti
29		Preparazione specifiche per SW misura --> AM (Chiariotti)	86 g	lun 01/02/21	dom 30/05/21		Chiariotti
30		Preparazione specifiche per SW misura --> AM (Violini)					Violini
31		Sviluppo SW per calcolo G&F (Chiariotti)	86 g	lun 01/02/21	dom 30/05/21		Chiariotti
32		Sviluppo SW per calcolo G&F (Violini)					Violini
33		Mascheratura Deep Learning	21 g	lun 15/02/21	lun 15/03/21		Chiariotti
34		Finalizzazione SW gestione prototipo	0 g	dom 20/06/21	dom 20/06/21		
35							
36		Impostazione portale di configurazione	62 g	mer 01/09/20	gio 25/11/21		
37		impostazione portale di configurazione	62 g	mer 01/09/20	gio 25/11/21		Nuova risorsa

Figura 42 Gantt del G3F (parte 1)

La Figura 42 mostra le attività preliminari cioè le operazioni di ricerca dei materiali, progettazione e assemblaggio delle varie componenti del prototipo. Una volta costruita la parte fisica sia interna che esterna, l'attenzione è stata rivolta verso la parte software di calcolo del Gap&Flush compiuta sempre da risorse interne di U_Sense.

La gran parte di queste attività si è conclusa i primi mesi del 2021, mentre altre saranno concluse entro la fine di giugno.

39			Taratura e verifica	120 g	lun 08/02/21 ven 23/07/21	
40			Attrezzaggio laboratorio per banco taratura	11 g	lun 01/03/21 lun 15/03/21	Paolo Castellini
41			SW di taratura	55 g	lun 01/03/21 ven 14/05/21	Nuova risorsa
42			Realizzazione artefatto per verifica (analisi normative)	11 g	lun 08/02/21 lun 22/02/21	Paolo Castellini
43			Banco taratura pronto	0 g	lun 31/05/21 lun 31/05/21	
44			Integrazione e verifica finale	13 g	mar 22/06/21 gio 08/07/21	25;27;52 Paolo Castellini
45			Taratura Prototipi	11 g	ven 09/07/21 ven 23/07/21	44 Nuova risorsa
46						
47			Prototyping @ AM Microsystems	285 g	mar 01/12/21 mar 04/01/22	
48			Test preliminari dei componenti HW	23 g	mar 01/12/21 gio 31/12/20	Fornitore AM
49			progettazione HW	87 g	dom 06/12/21 lun 05/04/21	Fornitore AM
50			Realizzazione elettronica prototipi	21 g	sab 01/05/21 ven 28/05/21	Fornitore AM
51			Sviluppo Firmware e SW	44 g	mar 01/06/21 ven 30/07/21	Fornitore AM
52			Consegna prototipi	0 g	lun 14/06/21 lun 14/06/21	
53			Caratterizzazione batteria	11 g	gio 01/07/21 gio 15/07/21	Fornitore AM
54						
55			HW design review	21 g	lun 01/11/21 lun 29/11/21	Fornitore AM
56			Modifiche FW e SW	21 g	lun 01/11/21 lun 29/11/21	Fornitore AM
57			Hardening	21 g	lun 01/11/21 lun 29/11/21	Fornitore AM
58			Certificazione	14 g	gio 30/09/21 mar 19/10/21	Ente certificatore
59			Realizzazione pre-serie	24 g	mer 01/12/21 lun 03/01/22	58 Fornitore AM
60			Consegna pre-serie	0 g	mar 04/01/21 mar 04/01/22	59
61			Progettazione elettronica	150 g	mer 01/09/21 mar 29/03/22	
62			Test in campo prototipi (Chiariotti)	21 g	mer 01/09/21 mer 29/09/21	Chiariotti
63			Test in campo prototipi (Cristalli)			Cristalli
64			Test di conformità (Chiariotti)	14 g	gio 04/11/21 mar 23/11/21	58 Chiariotti
65			Test di conformità (Cristalli)			Cristalli
66			Test in campo pre-serie (Chiariotti)	11 g	mar 18/01/21 mar 01/02/22	60 Chiariotti
67			Test in campo pre-serie (Cristalli)			Cristalli
68						
69			Brevetto			

Figura 43 Gantt del G3F (parte 2)

Una volta ultimate le componenti hardware e software, inizia la parte di taratura descritta nei capitoli precedenti. I prototipi definiti si avvarranno anche di una parte software delegata ad una azienda marchigiana hi-tech, la AM Microsystems, che sarà in consegna per metà luglio. Successivamente, i prototipi saranno tarati e sottoposti a diversi test tra cui quello di conformità. Il superamento dei test conduce alla vera e propria produzione pre-serie e poi in serie.

Ovviamente le date dei vari test sulla pre-serie possono essere modificate nel

momento in cui si dovessero presentare ritardi di consegna o non conformità da parte dei prototipi nei test precedenti, quindi indicativamente la produzione in serie del G3F si concentrerà nel 2022, sebbene la data effettiva ancora non sia stata fissata con certezza.

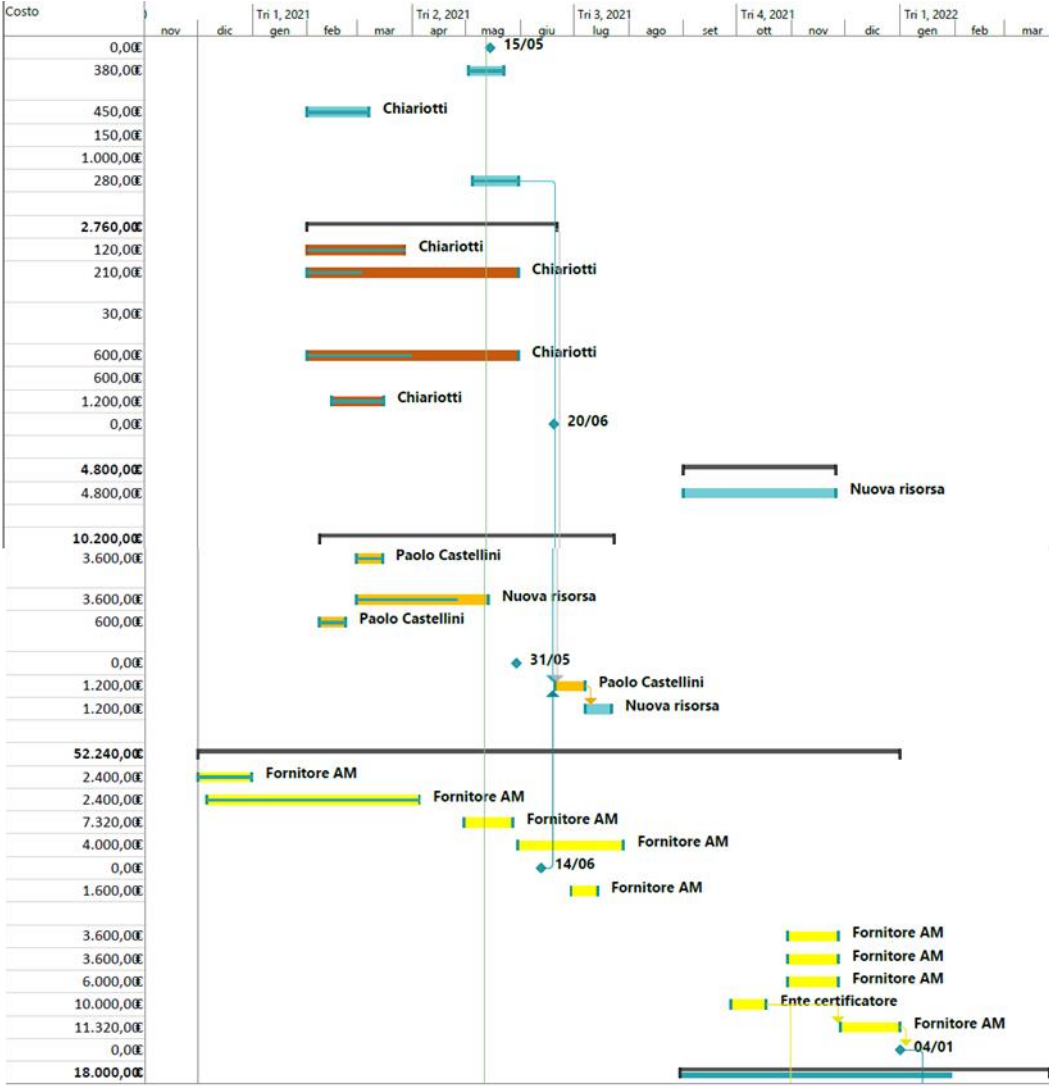


Figura 44 Gantt del G3F (parte 3)

La figura 44 rappresenta il Gantt descritto precedentemente e rappresenta nel dettaglio una parte di attività di progettazione della componente meccanica, le operazioni di taratura e verifica e il lavoro che dovrà svolgere AM Microsystems.

Sono state individuate diverse milestone che rappresentano i punti chiave relativi alla finalizzazione del progetto meccanico, del banco di taratura, del software di calcolo, della consegna dei prototipi e della pre-serie.

Naturalmente, alcune di queste operazioni sono state già completate e alcune attività

sono vincolate da altre. Infatti, per poter procedere con l'integrazione finale (attività alla riga 44) è necessario che i prototipi vengono consegnati, che essi abbiano un software pronto e che sia realizzato un involucro esterno per le varie componenti. Ad ogni attività è stato creato un collegamento ipertestuale alla propria cartella di riferimento che contiene i data sheet, i progetti grafici e le ricevute.

Sulla destra della Figura 44 vengono analizzati i costi per ogni attività, sempre considerando che le date espresse nelle Figure 42 e 43 sono indicative del tempo che è stato impiegato alla conclusione dell'attività, senza rappresentare il tempo effettivo di lavoro. Per ogni risorsa è stata calcolata una stima individuale e si è moltiplicato un costo medio orario di 30€ per ogni risorsa interna ad U_Sense, mentre per i costi delle aziende esterne e dei materiali si sono considerati i costi effettivi. Il costo totale stimato è di poco superiore a 100.000€, cifra che può ovviamente aumentare nel momento in cui si verificassero problemi nei materiali o nel software, situazione che condurrebbe a un aumento del tempo impiegato da parte delle risorse oltre al costo da sostenere per le nuove componenti.

Conclusione

Al termine dello studio dei dati raccolti si deve porre l'attenzione sui risultati non conformi delle varie tarature effettuate, in modo tale da cercare le cause di eventuali disturbi o errori nella procedura, allungando ulteriormente i tempi di lavoro.

Per risultati non conformi si intendono quei piani ricavati dall'interpolazione dei punti che avevano un'alta deviazione standard, cui si associa una forte variazione delle misure del gap e del flush rispetto a quanto misurato col calibro.

L'incertezza relativa all'artefatto ha avuto origini dalla mancata analisi dell'indice di riflessione luminosa del materiale che lo componeva o, ancora, nel momento in cui sono state trascurate le caratteristiche della telecamera utilizzata.

Infatti, analizzando i dati della taratura e della sua verifica, risulta determinante conoscere le caratteristiche della telecamera scelta perché queste determinano la dimensione dell'artefatto ideale per la calibrazione ed il range di utilizzo. Ad esempio, se si opta per una telecamera con un grandangolo piccolo è necessario un artefatto con una larghezza dente proporzionalmente ridotta; al contrario, se si ha un grandangolo elevato è necessario utilizzare un artefatto con una larghezza dente sufficientemente grande per evitare un'eccessiva acquisizione di punti, fenomeno all'origine di una taratura poco accurata.

Conoscere il range di utilizzo è importante per una corretta interpretazione dei dati: se si ha una messa a fuoco ideale ad una distanza di 1cm, ciò significa che allontanandosi o avvicinandosi al target si avranno misure meno precise e la deviazione standard nella verifica di taratura cresce; se invece è possibile regolare manualmente la messa a fuoco, si possono superare le difficoltà incontrate e acquisendo immagini nitide.

Inoltre, è determinante regolare il tempo di esposizione per avere una immagine abbastanza scura da evitare disturbi e se è necessario ricavare un piano di colore.

Tutte queste caratteristiche sono poi applicabili alla misura effettiva del gap e del flush, per la quale è necessaria una telecamera in cui è regolabile il tempo di esposizione, la messa a fuoco e con un grandangolo sufficientemente ampio in modo da avere un minor numero di disturbi possibile che renda il calcolo maggiormente accurato.

Dal punto di vista gestionale, una adeguata conoscenza delle caratteristiche riduce i tempi di lavorazione perché l'operatore ha acquisito tutte le informazioni necessarie

per non fare errori nella scelta del target, del range di utilizzo e della procedura. Così facendo, si limitano i trials and errors che non generano valore aggiunto e che ritardano le operazioni successive.

In conclusione, come suggerito da una filosofia Just in time, un utilizzo consono delle skills e delle conoscenze delle risorse umane rende l'ambiente di lavoro migliore perché i dipendenti risultano maggiormente soddisfatti, non solo dal punto di vista psicologico, ma anche sotto un'ottica di stretta praticità visto che una corretta comunicazione della propria esperienza e competenza ha un impatto sulla riduzione dei tempi di lavoro che può comportare un anticipo della uscita della pre-serie da fine marzo 2022 a fine febbraio 2022.

Bibliografia e Sitografia

www.beamex.com/

VDI/VDE 2617

CRISTALLI, ANGIONE, LO DUCA, PAONE CHIARIOTTI, CASTELLINI –
*“GOODMAN apre le porte alla fabbrica del futuro: zero difetti in linea
di produzione, massima efficienza produttiva, sostenibilità e altissima
qualità della produzione”*

MINNETTI, CASTELLINI, CHIARIOTTI, FITTI, GARCIA, VICENTE, PAONE –
“A smart portable laser scanner for Gap&Flush

measurement” “GOODMAN Deliverable 1.2”

“GOODMAN Deliverable D3”

Ringraziamenti

Vorrei per prima cosa ringraziare il mio relatore, Prof. Nicola Paone, il quale mi ha fatto appassionare in poco tempo alla sua materia e mi ha permesso di scrivere questa tesi.

In seguito vorrei ringraziare il Prof. Liberato Cardellini che mi ha fatto capire in che modo affrontare il percorso universitario, il Prof. Orsi che mi ha messo 29 per voler essere ricordato e per questo ho piacere di ringraziarlo ed il Prof. Moglie che mi ha trasmesso la sua passione per gli argomenti trattati.

Devo ringraziare i miei compagni di corso del gruppo Bubilus in particolare Giuseppe con cui ho condiviso parecchi esami e avventure, Riccardo che mi ha ospitato molte volte a pranzo e a dormire a casa sua, dove scaricavamo lo stress con battute e gran mangiate, il coach perché mi ha fatto vincere la prima scommessa universitaria puntando su di lui nel primo anno.

Ringrazio Rice, il quadrupede, belli capelli, Lll'amico, il corriere, il buon Bruni e Stories che mi hanno sempre strappato un sorriso a loro insaputa quasi sempre.

Ringrazio il Sig. Puma, che per chi non lo ha ancora capito è l'artefice insieme a Baffo Acerbo del nostro gruppo per i progetti, che nel tempo è diventato uno dei migliori gruppi del corso portando a casa voti importanti.

Ringrazio il presidente Fabrizio che è stato spesso la mia spalla per le idee innovative e compagno di discorsi fluidi e lunghi.

Ringrazio Serena per passarmi gli appunti e per essere una compagna su cui fare affidamento perché è garanzia di efficienza, professionalità e di rifregate.

Ringrazio tutte le persone che mi hanno aiutato a sorridere e che non ho nominato perché un giorno senza sorriso è un giorno perso e sarete ringraziati alla prossima laurea.

Infine ringrazio la mia famiglia che mi ha pagato le tasse e mi ha permesso di studiare e ringrazio la fortuna di avermi aiutato poco in questi 3 anni almeno ho la consapevolezza che tutto quello che ho ricevuto è perché me lo sono guadagnato.