

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica

**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea Magistrale

## **Definizione di procedure ed applicazioni di analisi dimensionali mediante CMM**



**Relatori**

Prof. Stefano Pastorelli

Prof. Luca Mastrogiacomo

**Co-relatore**

Dott. Floriano Ferro

**Candidato**  
Alessio Gibertini

Aprile 2020



## **Prefazione**

Questo elaborato di tesi, di carattere sia progettistico sia sperimentale, è stato svolto presso l'unità produttiva di Savona di Bitron S.p.a. L'obiettivo è stato quello di definire ed attuare delle procedure in merito alle operazioni di analisi dimensionali, utilizzando macchinari CMM ottici e a tastatore. Per fare ciò si è anche provveduto alla progettazione e creazione di hardware specifici per garantire semplicità e ripetibilità della misura. Una volta identificata la procedura, si è applicata ai casi studio, compiendo dei miglioramenti se ritenuti necessari. Una volta arrivati allo stadio definitivo della procedura si è passati all'acquisizione e all'analisi dei dati misurati. Per questa analisi si è usato il software statistico Minitab. Ogni caso studio si poneva obiettivi differenti che sono sviluppati nell'elaborato. Le suddette attività sono state svolte sotto la supervisione e collaborazione del dott. Floriano Ferro, Quality manager dello stabilimento, e dell'Ing Silvano Scognamiglio, Quality Engineer sempre presso Bitron S.p.a. di Savona.

## Sommario

Prefazione .....	II
Indice delle figure .....	V
Indice delle tabelle .....	VII
1. Storia di Bitron.....	1
1.1. Sito di Savona .....	1
2. Il concetto di qualità.....	3
2.1. Kaizen .....	4
2.2. Visual Management .....	5
2.3. PDCA.....	6
2.4. Poka-Yoke.....	7
2.5. Six Sigma.....	7
2.5.1. Define.....	9
2.5.2. Measure.....	9
2.5.3. Analyse .....	11
2.5.4. Improve .....	13
2.5.5. Control .....	13
2.6. Calibri fissi.....	14
2.6.1. Calibri passa non passa .....	15
3. Basi Statistiche.....	17
3.1. Precisione ed Accuratezza .....	17
3.2. Ripetibilità.....	17
3.3. Riproducibilità .....	18
3.4. Incertezza di misura .....	19
3.4.1. Errori sistematici.....	19
3.4.2. Errori casuali.....	19
3.5. Test d'ipotesi.....	20
3.6. Capacità di un processo.....	20
3.7. Parti per milione.....	21
3.8. Deviazione standard.....	21
3.9. Media .....	22
3.10. Mediana.....	22
3.11. Modello decisionale di Fetter.....	23

4.	Misure e macchinari di misura.....	27
4.1.	Macchinari CNC.....	27
4.1.1.	Unità di governo.....	27
4.1.2.	Macchine a misura di coordinate: caratteristiche e struttura.....	29
4.2.	Sistemi ottici.....	31
4.2.1.	Video camera.....	32
4.2.2.	Lenti.....	33
4.2.3.	Sistemi ad ampio campo visivo.....	34
4.3.	OGP – Sprint MVP 300.....	35
4.4.	ZEISS – Contura.....	37
5.	Fabbricazione additiva - Stampanti 3D.....	39
5.1.	Tecniche di Fabbricazione Additiva.....	42
5.2.	Tecnica FDM.....	42
6.	Prodotti studiati.....	44
6.1.	HSS.....	44
6.2.	BLSS.....	45
7.	Creazione dei supporti fisici.....	47
7.1.	Cornice.....	47
7.2.	Portapezzi.....	51
8.	Fasi operative: analisi e sviluppo.....	55
8.1.	Connettore HSS.....	55
8.2.	Accoppiamento Corpo-Boccola HSS.....	66
8.2.1.	Corpo.....	67
8.2.2.	Boccola.....	70
8.2.3.	Analisi accoppiamento Corpo-Boccola.....	72
8.3.	Pistone BLSS.....	75
	Conclusioni.....	79
	Bibliografia.....	80

## Indice delle figure

Figura 1.1: logo Bitron.....	1
Figura 1.2: certificazioni di Bitron S.p.a.....	2
Figura 1.3: parametri economici Bitron S.p.a.....	2
Figura 2.1: Kaizen etimologia.....	4
Figura 2.2: PDCA .....	6
Figura 2.3: Poka-Yoke.....	7
Figura 2.4: Six Sigma .....	8
Figura 2.5: Lean Six Sigma .....	8
Figura 2.6: carta di controllo.....	10
Figura 2.7: Cp e Cpk.....	11
Figura 2.8: Kaizen - Mura, Muri, Muda .....	12
Figura 2.9: Calibro passa non passa esempio 1.....	15
Figura 2.10: Calibro passa non passa esempio 2.....	16
Figura 3.1: Precisione ed accuratezza .....	17
Figura 3.2: test d'ipotesi, errori di I e II tipo.....	20
Figura 3.3: LSL USL .....	21
Figura 3.4: deviazione standard .....	22
Figura 3.5: mediana media moda.....	23
Figura 3.6: esempio metodo di Fetter .....	24
Figura 4.1: hardware unità di governo.....	28
Figura 4.2: struttura macchina CNC .....	29
Figura 4.3: gruppo bancale .....	30
Figura 4.4: montate con testa operatrice .....	31
Figura 4.5: sistema ottico OGP .....	32
Figura 4.6: OGP - Sprint MVP300 .....	35
Figura 4.7: scheda tecnica OGP .....	36
Figura 4.8: Zeiss Contura.....	37
Figura 4.9: scheda tecnica Zeiss Contura.....	38
Figura 5.1: Flow Chart stampa 3D.....	39
Figura 5.2: Rappresentazione prototipo e supporti .....	40
Figura 5.3: Slicing.....	40
Figura 5.4: Tecniche di Fabbricazione Additiva.....	42
Figura 5.5: tecnica FDM .....	42
Figura 5.6: Ultimaker 2 con cappa d'aspirazione .....	43
Figura 6.1: connettore HSS.....	44
Figura 6.2: corpo HSS.....	44
Figura 6.3: boccia HSS .....	44
Figura 6.4: Pistone BLSS.....	45
Figura 6.5: quota +.....	46
Figura 7.1: Primo prototipo cornice.....	47
Figura 7.2: portapezzo appoggiato sulla cornice .....	48
Figura 7.3: portapezzo fissato su cornice.....	48
Figura 7.4: cornice versione definitiva .....	49

Figura 7.5: piastrina forata.....	49
Figura 7.6: montaggio step 1 .....	50
Figura 7.7: montaggio step 2 .....	50
Figura 7.8: montaggio step 3 .....	50
Figura 7.9: portapezzo prima versione.....	52
Figura 7.10: portapezzo seconda versione, profilo sagomato .....	53
Figura 7.11: portapezzo seconda versione fissato su Zeiss Contura .....	53
Figura 7.12: campione su portapezzo in posizione 1 .....	53
Figura 7.13: campione su portapezzo in posizione 2 .....	54
Figura 8.1: portapezzo connettore HSS .....	55
Figura 8.2: portapezzo connettore HSS con 8 connettori .....	56
Figura 8.3: quote considerate del connettore .....	56
Figura 8.4: capability connettore 8 posizioni.....	57
Figura 8.5: gage R&R connettore .....	60
Figura 8.6: portapezzo connettore HSS con un connettore.....	61
Figura 8.7: capability connettore, 1 posizione .....	62
Figura 8.8: connettore con placchetta .....	63
Figura 8.9: boxplot connettore , 1 posizione.....	64
Figura 8.10: boxplot connettore, simulazione post intervento stampo .....	65
Figura 8.11: Dim 1 corpo.....	66
Figura 8.12: Dim 6 boccola .....	66
Figura 8.13: portapezzo corpo HSS .....	67
Figura 8.14: capability corpo Zeiss.....	68
Figura 8.15: capability corpo OGP .....	68
Figura 8.16: capability corpo Zeiss ante modifica .....	69
Figura 8.17: capability corpo post modifica .....	70
Figura 8.18: boxplot corpo post modifica.....	70
Figura 8.19: portapezzo boccola HSS.....	71
Figura 8.20: capability boccola.....	72
Figura 8.21: boxplot boccola .....	72
Figura 8.22: capability corpo post modifica quota.....	74
Figura 8.23: capability boccola post modifica quota .....	74
Figura 8.24: SCC pistone BLSS .....	75
Figura 8.25: pistone BLSS, quote degli step 5, 7, 12.....	76
Figura 8.26: portapezzo pistone BLSS .....	76

## **Indice delle tabelle**

Tabella 1: vantaggi e svantaggi della fabbricazione additiva .....	41
Tabella 2: vantaggi e svantaggi tecniche FDM.....	43
Tabella 3: dati accoppiamento corpo boccola.....	73
Tabella 4: accoppiamento corpo-boccola ante e post modifica .....	74
Tabella 5: dati metodo di Fetter .....	77
Tabella 6: risultati metodo di Fetter.....	77
Tabella 7: vantaggi e svantaggi calibri passa/non passa ed OGP .....	79

## 1. Storia di Bitron

L'azienda viene fondata nel 1955 da Giovanni ed Enrico Bianco per fornire riparazione e assistenza per motori elettrici. Successivamente entra pure il fratello Carlo a dare man forte ai familiari aiutando l'espansione della loro impresa. Vengono quindi acquisite e fondate diverse aziende che permettono al gruppo di espandersi verso i settori dell'elettronica e degli elettrodomestici. Tutto ciò fino al 1992-94, quando nasce Bitron Industrie Spa, holding che detiene le azioni di tutte le aziende della galassia imprenditoriale Bitron. Tutte queste imprese, anche se sotto un unico tetto, vengono trattate come vere e proprie aziende indipendenti per strutture, trasporti e conto economico. Bitron, già presente in Spagna e Brasile, si espande con stabilimenti in Polonia, Cina, Turchia e Messico, diventando di fatto una vera e propria multinazionale [1].



Figura 1.1: logo Bitron

### 1.1.Sito di Savona

Lo stabilimento è nato nel 1984 per la produzione di componenti per auto e moto. Oggi in questo plant si producono pressostati, pedali acceleratori, manopole acceleratore e gruppi di aspirazione carburante, forniti ai leader del mercato automotive a livello globale. A livello di tecnologie lo stabilimento lo stabilimento è dotato di: Micro-winding / Laser, Ultrasonic, Roto-friction, Welding / Plastic molding, Overmolding, Metal blanking / Computer controlled automatic assembly and testing [1]. Lo stabilimento è certificato ISO9001:2015, ISO14001:2015, IATF 16949:2019 e OHSAS 18001:2007, come mostrato in Figura 1.2.

STABILIMENTI	QUALITÀ	AMBIENTE	SICUREZZA
ALATRI	ISO 9001:2015 IATF 16949:2016	ISO 14001:2015	OHSAS 18001:2007
CORMANO	ISO 9001:2015		OHSAS 18001:2007
DRONERO	ISO 9001:2015	ISO 14001:2015	OHSAS 18001:2007
GRUGLIASCO	ISO 9001:2015 IATF 16949:2016	ISO 14001:2015	OHSAS 18001:2007
ROSSANA	ISO 9001:2015 IATF 16949:2016	ISO 14001:2015	OHSAS 18001:2007
SAVONA	ISO 9001:2015 IATF 16949:2016	ISO 14001:2015	OHSAS 18001:2007

Figura 1.2: certificazioni di Bitron S.p.a.

Inoltre, Bitron si avvale della certificazione derivante dalla norma FAO ISPM 15 sulla salvaguardia della biodiversità specifica di ogni habitat locale e riguardante i materiali da imballaggio in legno nel commercio internazionale. A questo proposito, Bitron si impegna ad acquistare ed utilizzare unicamente pallet certificato dal Forest Stewardship Council (FSC), che garantisce la rintracciabilità dei materiali provenienti da foreste certificate FSC secondo criteri finalizzati alla gestione responsabile di foreste e piantagioni. A livello globale, in Figura 1.3 sono mostrati i numeri economici del gruppo [1].



Figura 1.3: parametri economici Bitron S.p.a.

## 2. Il concetto di qualità

Per qualità, nell'ingegneria della produzione, si intende la misura di una caratteristica o di una proprietà di una particolare entità (persona, prodotto, processo o progetto) confrontata rispetto a quanto è atteso a livello ideale, di progetto. In ambito industriale si definisce altresì “prodotto di qualità” quello che soddisfa pienamente le caratteristiche richieste dal cliente, indipendentemente dalla sua complessità. A livello storico, a partire dagli anni '20 fino ai giorni nostri, questo concetto ha subito un'evoluzione molto importante, descrivibile mediante le seguenti fasi:

- anni '20-'30: ispezione prodotti finiti
- anni '30-'40: controllo di produzione
- anni '40-'50: controllo statistico della qualità
- anni '50-'60: affidabilità
- anni '60-'70: assicurazione della qualità
- anni '70-'80: qualità totale
- anni '80-'90: campagne nazionali per la qualità.

Inizialmente, infatti, tale concetto riguardava principalmente il prodotto finito, disinteressandosi del processo di produzione e di progettazione. Tuttavia col passare del tempo è nata la necessità di coinvolgere in tale definizione sia personale, processi, documentazione dell'attività generando un ambiente ed un atteggiamento volto al miglioramento continuo, sia in ambito di processo, prodotto e progettazione. Sono quindi nate delle norme per quanto riguarda la gestione della qualità. L'organo Internazionale per la Normazione (ISO - International Organization for Standardization) ha redatto delle norme, la serie ISO 9000, atte proprio a definire dei requisiti per quanto riguarda la conduzione dei processi aziendali, l'efficacia e l'efficienza della realizzazione di un prodotto/servizio e a ottenere soddisfazione da parte del cliente. Successivamente sono state redatte delle revisioni di tale normativa, le ISO9001. Nella sua ultima versione la ISO9001:2015 adotta lo schema ISO High Level Structure (HLS) in 10 capitoli nella seguente suddivisione [2]:

1. Scopo e campo di applicazione
2. Riferimenti normativi
3. Termini e definizioni
4. Contesto dell'organizzazione
5. Leadership
6. Pianificazione
7. Supporto
8. Attività operative
9. Valutazione delle prestazioni
10. Miglioramento.

L'HLS si pone l'obiettivo di definire una struttura univoca per tutte le norme ISO, il tutto a causa della crescente proliferazione di “standard di Management” con differenti strutture e anche di utilizzo di definizioni differenti per le stesse terminologie, che talvolta generavano contraddizioni. Altri concetti legati alla qualità sono il Kaizen e l'approccio Six Sigma.

## 2.1. Kaizen



Figura 2.1: Kaizen etimologia

Con Kaizen viene esemplificato il concetto di miglioramento continuo. La parola è composta dal kanji KAI, cambiamento, e da ZEN, migliore [3]. Un'altra possibile definizione è la seguente: processo per risolvere i problemi, che è un'attitudine propria dell'ingegnere, il quale raccoglie ed analizza i dati, comprende il problema e passa alla formulazione di una soluzione. Questo termine è stato coniato da Masaaki Imai e descrive la filosofia aziendale su cui si basava l'industria nipponica, in particolare Toyota. Se tale approccio è applicato ai Sistemi per la gestione della qualità, esso risulta molto affine ai seguenti concetti:

- il Lean manufacturing (produzione snella)
- il Total Quality Management (TQM - Gestione della qualità totale)
- il Just in time (JIT - abbattimento delle scorte)
- il Kanban (metodo per la reintegrazione costante delle materie prime e dei semilavorati)
- la Riprogettazione dei processi aziendali
- lo Statistical process control (controllo statistico dei processi).

Il kaizen visto come attività aziendale è un processo quotidiano, e si pone l'obiettivo di migliorare l'efficienza produttiva attraverso un'umanizzazione del posto di lavoro, in altre parole ponendo il lavoratore al centro del processo produttivo. Solo così, infatti, si creeranno le condizioni ideali ed un benessere tale che porterà i prodotti ad essere "prodotti di qualità". Tali pratiche sono riassumibili in:

- Creazione di linee produttive e di processi in modo tale che seguano le esigenze del lavoratore
- L'eliminazione progressiva di lavori ripetitivi ed usuranti, facendo ricorso all'automazione
- Effettuare un'ingente e continua formazione sulla forza lavoro
- Addestrare il personale per eliminare gli sprechi ("muda")
- Coinvolgere e collocare il personale nella Visione Aziendale.

Questo concetto va esteso non solo agli operai ma anche ai dirigenti, gli impiegati e se possibile anche Clienti e fornitori per creare tale clima virtuoso. Un altro concetto collegato col kaizen sono le "5S" che sintetizzano i cinque passi che danno il ritmo alla metodologia:

- Seiri (separare) separa ciò che ti serve da ciò che non è funzionale all'attività e quindi crea disturbo e disordine, quindi spreco di tempo o di risorse (muda); ovvero l'eliminazione del

superfluo (strumenti di lavoro inutili, istruzioni operative non necessarie, cartellonistica inessenziale, etc.), si deve classificare ciò che è essenziale in funzione delle priorità (sulla base dei cicli di utilizzo) e facilitazione di fruibilità.

- Seiton (riordinare) metti a posto tutto quello che è utile, il vecchio motto "ogni cosa al suo posto e un posto per ogni cosa"; presuppone l'identificazione degli spazi essenziali per la costruzione del posto di lavoro facilitando l'identificazione e la rintracciabilità degli strumenti.
- Seiso (pulire) tieni tale ordine costante e pulisci, un ambiente pulito ed ordinato è un ambiente che "non nasconde" le inefficienze (una logica molto in linea con il Total Quality Management); ovvero la pulizia del posto di lavoro e delle attrezzature, regolare manutenzione e ripristino dell'ordine dopo ogni turno di lavoro.
- Seiketsu (Sistematizzare) definisci delle metodologie ripetitive e canonizzate da utilizzare per continuare queste attività di razionalizzazione delle risorse e degli spazi lavorativi; presuppone che tutte le postazioni di lavoro riferibili ad un'identica funzione devono essere uguali ed intercambiabili, consentendo al lavoratore di orientarsi in ogni stazione soprattutto attraverso l'uniformità delle attività lavorative attraverso Istruzioni Operative standardizzate.
- Shitsuke (Sostenere) fa che questo modo di pensare ed agire sia pervasivo per tutte le attività aziendali; ovvero una volta stabilita una prassi, essa dev'essere mantenuta e nel caso migliorata, utilizzando come "standard" l'ultimo miglioramento e cercando via via di ottimizzare anche quest'ultimo al fine di creare nuove basi di partenza sempre più efficienti.

Altro concetto ricorrente è quello di kanban, in cui sono i processi a valle a "tirare" quelli a monte (logica pull) attraverso semplici sistemi di cartellini fisici che si muovono insieme alla merce e ai contenitori.

## 2.2. Visual Management

In azienda in particolare è adottato anche il Visual Management. Esso è un complesso di tecniche a rapido impatto visivo che, facendo uso di colori, schemi, fotografie, facilitano il passaggio e il recepimento di informazioni [4]:

- Mettere in rilievo gli sprechi, in modo che si possano eliminare e quindi impedire che si verificano in futuro
- Rendere noti gli standard operativi a tutti i dipendenti
- Migliorare l'efficienza nell'area di lavoro oggetto di riorganizzazione.

Per essere messo in pratica l'azienda deve:

- Seguire i concetti delle 5S precedentemente illustrati
- Assicurarsi che tutti gli standard di lavoro siano esposti nell'area di lavoro
- Controllare tutti i processi delle aree di lavoro, rilevare e bloccare gli errori, in modo che non si riverifichino.

Tutto ciò permette quindi di migliorare la qualità dei prodotti creando un ambiente in grado di prevenire e rilevare in modo rapido ed efficiente gli errori e i difetti sui prodotti. Tali tecniche si pongono anche l'obiettivo di migliorare la sicurezza della zona di lavoro e della salute degli operatori attraverso:

- L'eliminazione dei pericoli
- Il miglioramento della comunicazione mediante la condivisione delle informazioni in azienda

- La conformità con tutti gli standard di lavoro, la stesura di relazioni sugli scostamenti e la pronta risposta ai problemi.

Tutto ciò alla fine porta dei benefici perché con il miglioramento dell'efficienza si ottengono una maggiore soddisfazione del cliente e, soprattutto, una riduzione dei costi totali. Quindi, per mettere in atto questa pratica si devono eseguire le seguenti operazioni:

- Concentrarsi sulle attività a valore aggiunto, cercando di ridurre al minimo e se possibile eliminare tutte quelle attività che non danno valore al prodotto e che quindi sono solo fonte di costi (come i trasporti e le movimentazioni ad esempio)
- Effettuare una condivisione delle informazioni mirata e trasversale, per far sì che tutti gli interessati siano informati in modo chiaro e celere
- Attuare un esame delle risorse per scoprire eventuali fonti di errori che causano non conformità nei processi effettuati, quindi controllare la qualità dei materiali in entrata, l'usura degli attrezzi e dei macchinari e la metodologia di stoccaggio dei materiali
- Analizzare quantità e flussi di materiali per evitare gli sprechi ed utilizzare le giuste quantità di materiali ad ogni operazione
- Analizzare i processi operativi che possono causare un rischio per la sicurezza dei lavoratori minimizzando l'esposizione a tali fattori di rischio.

### 2.3. PDCA

Il PDCA è un metodo di gestione di tipo iterativo utilizzato per il controllo ed il miglioramento continuo di processi, prodotti e/o servizi [5].

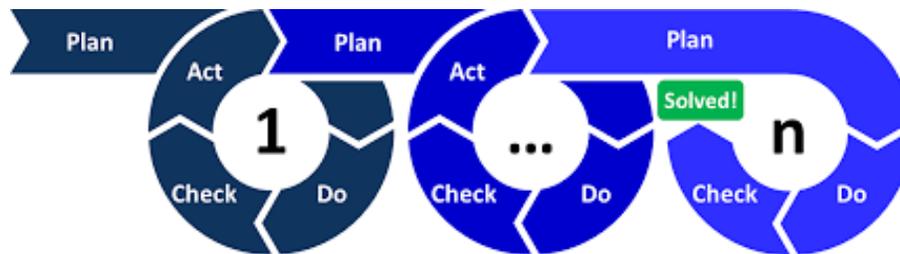


Figura 2.2: PDCA

I processi che lo compongono sono i seguenti: Plan, Do, Check, Act:

- Plan, pianificazione: stabilire degli obiettivi da perseguire e quindi organizzare dei processi adeguati per il loro raggiungimento
- Do, sperimentare: i processi pianificati, prima su piccola scala per affinarli e poi su scala maggiore

- Check, controllo: raccogliere dei dati ed effettuare un'analisi. Si devono confrontare con i risultati attesi dalla fase di Plan; cercare, se presenti, delle discordanze tra i dati anche mediante l'utilizzo di rappresentazioni grafiche
- Act, agire: effettuare delle azioni correttive per rendere definitivo il miglioramento e/o creazione del prodotto/processo. Non è necessario che esse siano la fine di questo processo, possono semplicemente essere le basi da cui ripartire per l'iterazione successiva.

## 2.4. Poka-Yoke

Con il termine giapponese Poka-Yoke si intende “progettazione a prova di errore” [6]. Sono quindi scelte progettuali che forzano l'utilizzatore ad adottare un comportamento controllato e definito. Un banale esempio di questo tipo di filosofia, molto diffusa nel settore informatico, sono le prese USB, infatti in esse l'inserimento della periferica è possibile solo in un verso prestabilito evitando, di fatto, una connessione errata. Esistono tre differenti tipologie di Poka-Yoke:

- Metodo del contatto: le caratteristiche fisiche, quindi di forma, dell'oggetto impediscono il posizionamento o la correzione in una posizione errata rispetto a quella corretta, prevenendo eventuali malfunzionamenti
- Metodo del valore fisso: controlla se è stato eseguito il numero di operazioni corrette. Ad esempio un led di notifica che si accende quando si è serrata una vite alla giusta coppia di serraggio
- Metodo delle fasi di lavoro: controlla se sono state eseguite nel corretto ordine tutte le fasi di un determinato processo, ad esempio mediante un sistema di cartellini o una checklist.

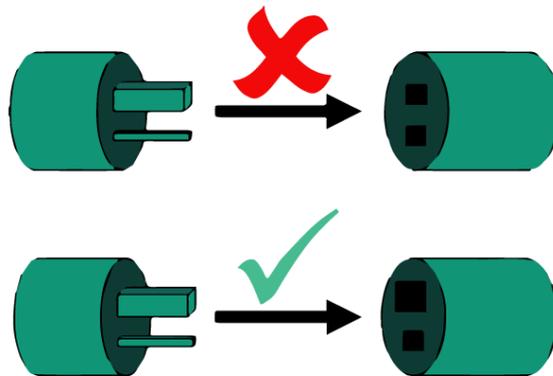


Figura 2.3: Poka-Yoke

## 2.5. Six Sigma

Il Six Sigma è un sistema di gestione qualità che si basa sul controllo dello scarto quadratico medio (sigma) con lo scopo di portare la qualità del prodotto/processo ad un determinato livello [7]. L'obiettivo

finale è quello di ottenere come scarto un quantitativo di 3.4 ppm, quindi una variabilità molto ristretta. Per cui tale metodologia non si basa tanto su come migliorare la prestazione media, ma su come eliminare difetti e sprechi.

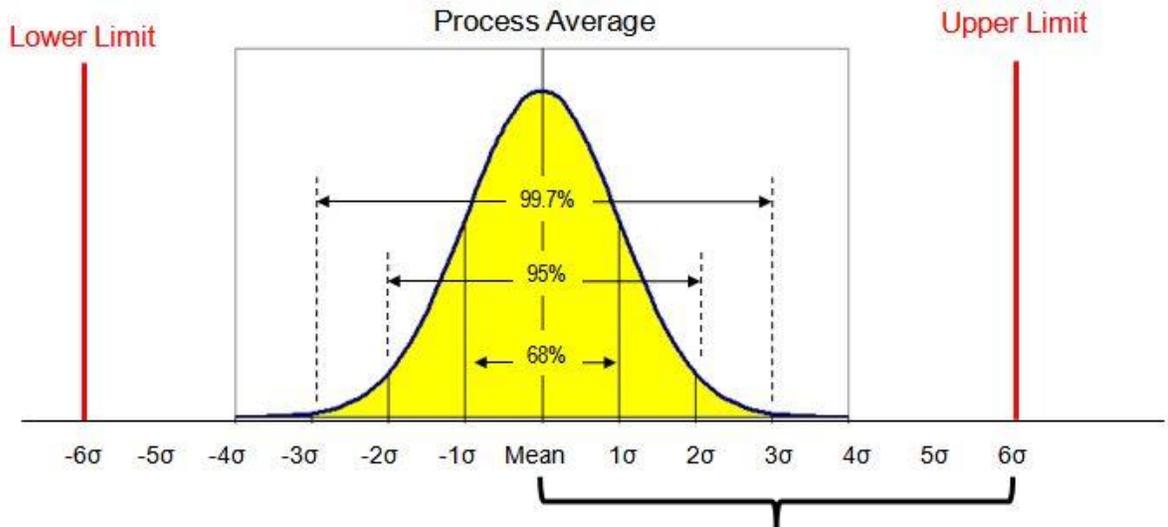


Figura 2.4: Six Sigma

Si deve ottenere che tra il limite superiore e il centro della produzione ci siano 6 deviazioni standard, con una parte al di fuori di 3.4 ppm. Stesso discorso per quanto riguarda il limite inferiore. La produzione, quindi, deve avere una deviazione standard non superiore alla larghezza delle specifiche divisa per 12.



Figura 2.5: Lean Six Sigma

Il Lean Six Sigma è l'applicazione al six sigma dei concetti della lean production, ossia l'eliminazione dei muda (sprechi, difetti). Per farlo è stata definita una metodologia, denominata DMAIC che in seguito viene illustrata.

### **2.5.1.Define**

Definire il problema: obiettivo di questa fase è identificare il problema dell'eventuale progetto per risolverlo. Saranno identificate le figure responsabili del miglioramento e le caratteristiche critiche per il cliente. Inizialmente si deve identificare il cliente e le sue richieste, in altre parole la VOC (Voice Of Customer). Il cliente non è necessario sia il committente del prodotto, ma può essere ad esempio il reparto successivo alla lavorazione considerata; per cui possono essere sia "interni" sia "esterni". A questo punto sono identificate le CTCs ovvero le (Critical to Customer) le criticità del cliente. Esse non sono altro che una "quantificazione" delle aspettative del cliente. Poi si identificano le VOP (Voice of Process) ovvero le caratteristiche del processo. In seguito è quindi possibile costruire il QFD ovvero il Quality Function Deployment; essa è una tecnica di analisi che permette di collegare le richieste del cliente direttamente alle caratteristiche di un prodotto/processo dando delle indicazioni su quali aree hanno la priorità rispetto ad altre. Esso può essere realizzato mediante i seguenti step:

- Realizzazione di una matrice causa-effetto
- Identificazione delle richieste del cliente (CTCs), organizzate sulle righe e classificate con un punteggio in base alla loro priorità
- Definizione dei requisiti tecnici (CTQs) riportati sulle colonne
- Relazione tra righe e colonne mediante un metodo a punteggio che si basa sulla correlazione tra le due criticità.

In tale analisi si può anche includere sulle righe un'analisi di competitività rispetto alla concorrenza, se fosse richiesto.

Come output della matrice si ottengono dei punteggi, più sarà alto il punteggio più la relazione sarà forte e quindi un miglioramento di tali aree porterà a dei benefici più ampi.

### **2.5.2.Measure**

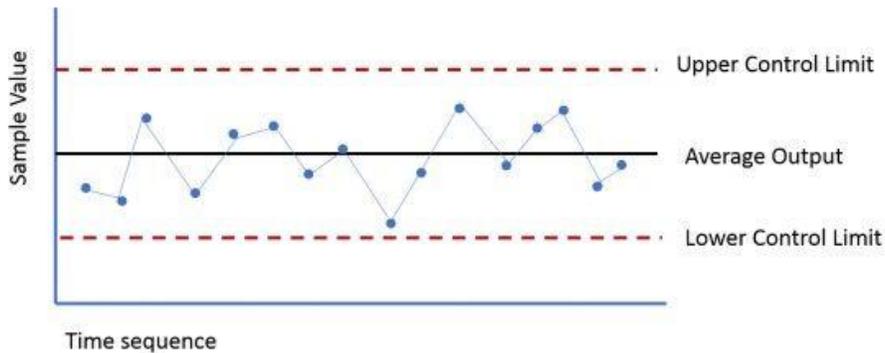
L'obiettivo è quello di focalizzare le azioni di miglioramento sulla raccolta e condivisione di dati ed informazioni riguardanti il processo di analisi. I dati e le informazioni sono la base per la risoluzione di problematiche e per ogni miglioramento. Per compiere una misura si devono seguire questi passi fondamentali:

- Identificazione della caratteristica qualitativa che permetta di valutare il sistema o il processo di interesse
- Definizione dei processi e delle attività coinvolte, comprendendo tutte le risorse in gioco
- Scelta dello strumento di misura ed analisi di affidabilità
- Misurazione e raccolta dati
- Analisi e valutazione capacità di processo.

Importante è il concetto di distribuzione di probabilità, un modello matematico che collega il valore della variabile alla probabilità che essa si trovi all'interno della popolazione. Permette quindi di descrivere, in modo qualitativo, mediante un insieme di punti, l'andamento qualitativo di un processo e di fornire, come prima approssimazione, il comportamento dei dati analizzati. In questa fase si possono utilizzare anche rappresentazioni grafiche come istogrammi, boxplot o diagramma di Pareto. Per quanto riguarda il campionamento si possono utilizzare diverse tipologie. Si possono selezionare solamente alcuni campioni in maniera casuale oppure in modo stratificato, selezionando ad esempio un determinato numero di pezzi

accomunati da aspetti di processo. Si rende necessaria la definizione di parametro; esso è quella quantità usata per descrivere la distribuzione di una popolazione relativa ad una caratteristica qualitativa di interesse. Essi dovrebbero definire dei valori “veri” di una distribuzione e vengono calcolati da misurazioni fatte su campioni (statistiche e distribuzioni campionarie). Si può quindi generalmente affermare che i parametri del processo produttivo siano ignoti e che quindi possano variare nel tempo, rendendo altresì necessaria l’introduzione di una procedura per stimare i parametri delle distribuzioni di probabilità.

Per studiare la stabilità di un processo vengono utilizzate le carte di controllo, uno strumento grafico che permette di identificare principalmente la stabilità di un sistema.



**Figura 2.6: carta di controllo**

In particolare se uno o più punti cadono fuori dai limiti di controllo è possibile stabilire i seguenti parametri:

- **Tendenza:** se sei o più punti sono consecutivamente crescenti o decrescenti
- **Periodicità:** se 14 punti consecutivi si alternano su e giù, oppure semplicemente si nota un chiaro andamento ciclico
- **Addensamento:** quando i punti si dispongono in prossimità di una linea (in genere quella centrale).

Occorre tuttavia specificare che un processo “sotto controllo” non implica che esso sia all’interno dei propri limiti di specifica.

### **2.5.2.1. Process Capability**

Data una caratteristica di qualità rilevante per un determinato processo produttivo, con i propri limiti superiore ed inferiore, l’indicatore di capacità  $C_p$  è definito come l’intervallo di tolleranza da disegno rispetto a 6 volte sigma. Per potersi definire come soddisfacente un prodotto/processo deve avere un  $C_p \geq 2$ . Il  $C_{pk}$  invece per essere ritenuto soddisfacente deve essere  $C_{pk} \geq 1.67$ . Mediante tali parametri è inoltre possibile calcolare un altro indicatore che sono i ppm, ovvero gli scarti dati in parti per milione.  $C_p$  indica quanto è stretta la distribuzione considerata, mentre  $C_{pk}$  indica quanto la distribuzione è distante dal valore centrale dei limiti di tolleranza. In genere tale analisi viene applicata a distribuzioni di tipo normale, ma mediante opportune modifiche è possibile applicarla a qualunque tipologia di distribuzione.

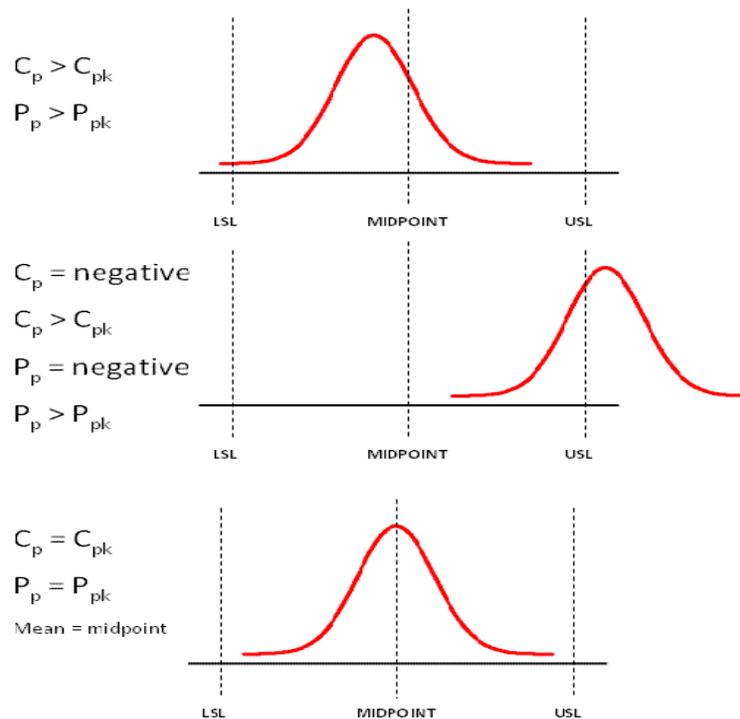


Figura 2.7: Cp e Cpk

### 2.5.3. Analyse

L'obiettivo è di identificare le sorgenti delle cause del problema in analisi studiandolo attraverso un metodo di analisi strutturato. Per fare tale analisi si seguono i seguenti step:

- Identificazione delle problematiche
- Organizzazione delle informazioni e dei dati raccolti
- Attività di brainstorming di gruppo
- Applicazione di strumenti capaci di identificare le cause
- Individuazione delle soluzioni ed analisi di affidabilità
- Analisi ricorsiva per ulteriori soluzioni
- Action log, pianificazione delle azioni di miglioramento, delle tempistiche e delle responsabilità.

Per procedere con questa analisi è importante essere a conoscenza dei cinque principi chiave della Lean Production o produzione snella:

- Definire e specificare che cosa sia il valore (Value) dal punto di vista del cliente
- Identificare la catena di attività (flusso di valore) che arrecano valore dal punto di vista del cliente (value stream)
- Far scorrere il flusso del valore (flow)
- Fare ciò che è richiesto (pulled) dal cliente
- Ambire alla perfezione (perfection) rimuovendo continuamente gli sprechi.

Per valore si intende le attività ed i processi che sono strettamente necessari alla creazione della soddisfazione dell'aspettativa del cliente [8]. Perciò si deve cercare di ridurre o ancor meglio eliminare tutte le attività che rappresentano un costo per l'azienda e non aggiungono valore. Tali attività sono divisibili in tre gruppi:

1. Mura: indica le fluttuazioni, variazione, irregolarità del carico del lavoro. È il principale tipo di spreco
2. Muri: Esprime l'eccesso, il sovraccarico di persone o risorse. È dovuto alle dimensioni eccessive dei lotti
3. Muda: tutto ciò che assorbe risorse e non crea valore per il cliente; sono di 7 tipologie diverse:
  - 3.1. Di sovrapproduzione: fa aumentare i costi di energia materiali e genera un buffer di materiale fermo, che è un costo
  - 3.2. Di scorta: le scorte sono capitale immobilizzato per cui sono un costo, si devono avere solo se strettamente necessarie
  - 3.3. Di riparazione degli scarti: si deve evitare di lavorare un componente che è in partenza difettoso, si devono identificare precedentemente gli scarti
  - 3.4. Di movimento: riferito ai macchinari o al personale, la movimentazione non aggiunge valore;
  - 3.5. Di lavorazione: se una tecnologia è inadeguata o mal utilizzata
  - 3.6. Di attesa: quando l'operatore è in ozio a causa di uno sbilanciamento/instabilità della linea, oppure i colli di bottiglia
  - 3.7. Di trasporto: i pezzi movimentare si possono danneggiare, occorre quindi ridurre al minimo spostamenti e movimentazioni.

## KAIZEN - MUDA MURA MURI POWERPOINT TEMPLATE



Figura 2.8: Kaizen - Mura, Muri, Muda

#### 2.5.4.Improve

Miglioramento, quindi sviluppare ed implementare possibili soluzioni al problema ed usare i dati per verificare quale delle possibili soluzioni sia la migliore. Esso è direttamente collegato alla fase di analisi, la priorità' di tali interventi è definita dalle CTQs. Ogni attività' deve essere valutata in termini d'impatto economico, temporale, strutturale e produttivo.

#### 2.5.5.Control

Mantenere i risultati ottenuti attraverso la standardizzazione e anticipare eventuali problemi futuri. Ha anche come obiettivo quello di redigere un piano di controllo. Come primo step si deve utilizzare un sistema di misura affidabile. Per fare ciò si utilizza l'MSA (Measurement System Analysis). È uno strumento che permette di valutare quanto la performance di un sistema di misura influisca sul risultato finale. Ogniqualevolta si realizza una misurazione nel risultato è incluso anche il "comportamento" degli strumenti di controllo, i quali possono influire notevolmente sulla veridicità delle informazioni raccolte. La variabilità' che viene complessivamente misurata è composta da due componenti: quella legata al processo produttivo, le cui cause sono imputabili alla realtà manifatturiera e quella dovuta alla variabilità' di misurazione, definita dall'affidabilità degli strumenti impiegati. Essa si rappresenta con l'equazione (1):

$$\sigma_{totale}^2 = \sigma_{processo}^2 + \sigma_{misurazione}^2 \quad (1)$$

La variabilità' di misurazione può' a sua volta essere suddivisa in due parti come illustrato nell'equazione (2):

$$\sigma_{misurazione}^2 = \sigma_{ripetibilità}^2 + \sigma_{riproducibilità}^2 \quad (2)$$

La  $\sigma_{ripetibilità}$  indica la variazione del sistema di misurazione in presenza delle medesime condizioni, mentre la  $\sigma_{riproducibilità}$  rappresenta la variazione dovuta al mutamento delle caratteristiche del sistema. Per poterlo applicare si devono applicare le seguenti regole

1. Identificare dell'area in cui è necessario implementare l'MSA, creando una prioritizzazione degli interventi e definendo un operatore
2. Definire se il test sia o no distruttivo. In caso affermativo il test utilizzerà pezzi diversi, per cui la variabilità' misurata sarà' data sia dal contributo dell'operatore sia a quello dei prodotti misurati
3. Si deve considerare la stabilità del sistema, i campioni possono subire modificazioni col passare del tempo, si deve quindi cercare di mantenere costante il tempo fra produzione e misurazione; inoltre, effettuare queste ultime sempre alle stesse condizioni.
4. Determinare quanti operatori sono necessari, quanti strumenti di misura e quanti campioni
5. Definire se sono misurazioni di tipo quantitativo o qualitativo (pass/fail)
6. Determinare il numero di parti e le ripetizioni richieste in modo tale che  $numero_{operatori} * numero_{parti} > 20$  e  $numero_{ripetizioni} > 3$ .

Tale analisi può essere svolta con dati divisi per variabili o divisi per attributi. Nel primo caso possono essere utilizzati i metodi Xbar-R o l'analisi ANOVA. In generale è possibile utilizzare diversi indici di valutazione:

- Uno che tiene conto del rapporto tra la deviazione standard del sistema di misura e quella totale, detto livello di precisione sulla variabilità totale (P/TV)
- Un altro, il livello di precisione sulla tolleranza (P/T), tiene conto del prodotto tra deviazione standard del sistema di misura moltiplicata per 6, rapportata alla tolleranza imposta. Esso rappresenta la percentuale di tolleranza sottratta dall'errore di misurazione. La costante 6 indica il numero di sigma necessario per coprire il 99% dei dati. Esso risulta ottimale se è inferiore al 10%, accettabile se inferiore al 30%. È il più utilizzato e fornisce stime affidabili quando il sistema di misura è utilizzato solo per classificare campioni di produzione
- Un altro è il contributo di variabilità del sistema di misura, definito dal rapporto tra la varianza del sistema di misura e quella totale

Il coefficiente %R&R rappresenta la percentuale della variazione totale relativa all'errore di misurazione.

$$\%R\&R = \frac{\sigma_{MS}^2}{\sigma_{totale}^2} * 100 \quad (3)$$

Quest'ultimo comprende sia la ripetibilità sia la riproducibilità. Come valore obiettivo deve essere inferiore al 30%. Di seguito viene illustrato come viene eseguita la procedura di gage R&R. Innanzitutto si deve scegliere se procedere con uno o più operatori, in tal caso sceglierne da 2 a 4. Successivamente si passa a scegliere il numero di campioni, la loro quantità deve essere tale per cui  $numero_{campioni} * numero_{operatori} >$ . Nel caso di più operatori si utilizza il metodo crossed, qui ogni operatore misura ogni parte ed ogni parte è misurata più volte ed il numero di misurazioni per ciascuna parte è il medesimo. Invece se si tratta di un singolo operatore oppure di prove distruttive si utilizza il metodo Nested, il quale però non è bilanciato.

## 2.6. Calibri fissi

Un altro strumento che sovente viene utilizzato per il controllo dimensionale sono i calibri fissi. La loro principale caratteristica è quella di definire se una determinata quota risulta o meno in tolleranza come da disegno. Essi quindi non misurano la quota e poi indirettamente si deduce se è o no in tolleranza, ma confrontano la dimensione con quelle limite. Hanno due principali caratteristiche ovvero:

- Una forma
- Una dimensione nominale determinata.

Per poter eseguire la loro mansione devono essere costruiti con una precisione ed accuratezza maggiore rispetto a quella dei pezzi che devono controllare, motivo per cui sono costosi rispetto alla loro "semplicità costruttiva". Le principali tipologie di comparatori fissi sono:

- I blocchetti Johnson o detti anche blocchetti piano paralleli
- I calibri fissi passa-non passa o a forcina per il controllo di fori o alberi
- Calibri a lame.

### 2.6.1. Calibri passa non passa

Sono strumenti di misura manuali meccanici impiegati nelle linee di produzione per garantire che la lavorazione sia avvenuta e che sia stata eseguita in modo corretto. Differiscono fra di loro a seconda del tipo di superficie di cui devono controllare la corrispondenza a dimensioni prefissate:

- A tampone per fori circolari interni.
- A forcilla per esterni.
- Ad anello per esterni cilindrici.
- Con forme particolari nel caso di calibri speciali.

Questi sono opportunamente dimensionati in modo che il calibro “passa” si introduca nella zona lavorata ed, al contrario, il calibro “non passa” non si introduca. La loro progettazione e costruzione devono essere fatte mediante macchinari a controllo numerico molto precisi, e devono essere costituiti da un materiale che sia anche il più durevole possibile nel tempo. I parametri controllati più frequentemente sono:

- Dimensioni e profondità di fori.
- Diametri esterni (alberi).
- Lunghezze e spessori.
- Filettature esterne ed interne.
- Fori ed alberi scanalati.
- Smussi.
- Raggi.
- Angoli.

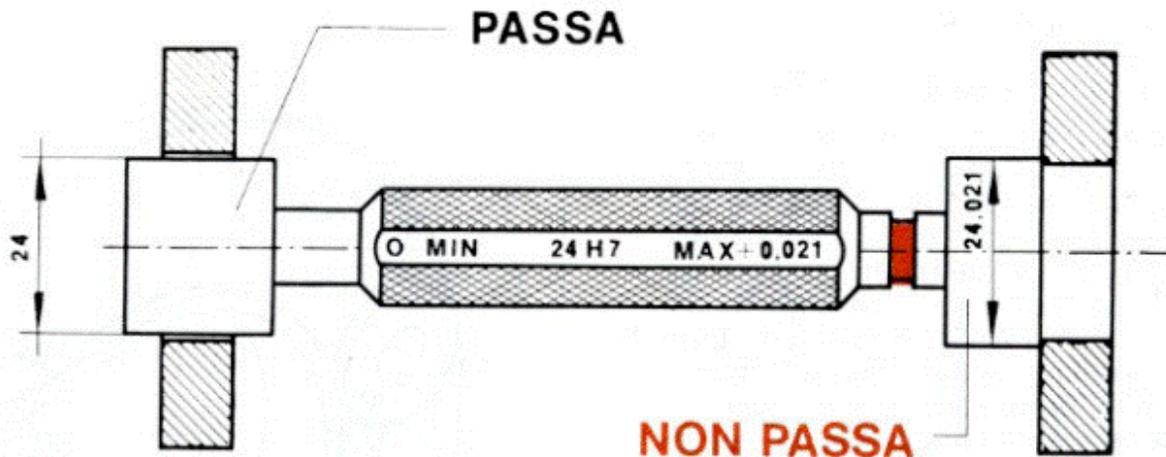


Figura 2.9: Calibro passa non passa esempio 1

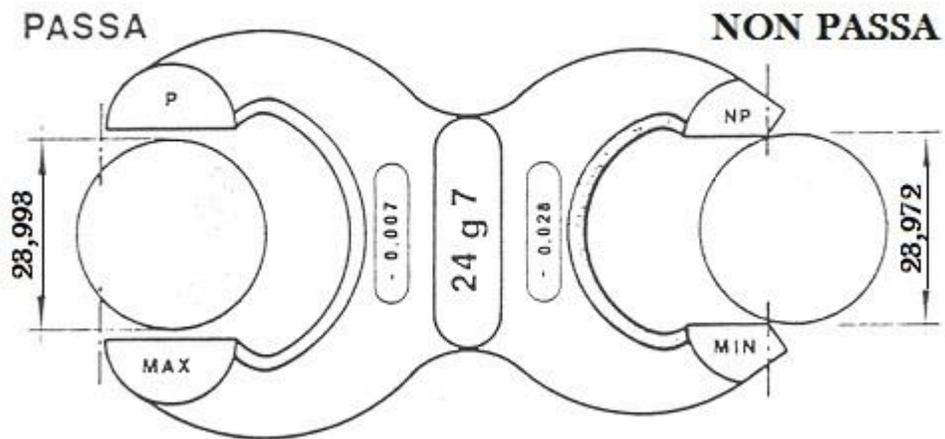


Figura 2.10: Calibro passa non passa esempio 2

### 3. Basi Statistiche

#### 3.1. Precisione ed Accuratezza

Precisione e accuratezza riguardano il grado di "convergenza" (o "dispersione") di dati rilevati individualmente rispetto al valore medio della serie cui appartengono ovvero, la loro deviazione standard rispetto alla media campionaria. Per spiegare meglio il tutto si può utilizzare il seguente esempio: presa una serie di frecce scagliate su di un bersaglio, quanto più le frecce giungono raggruppate, tanto più la serie di tiri è precisa. Non importa quanto il centro del gruppo ovvero la media si avvicini al centro del bersaglio, quest'altro fattore è, infatti, determinato dall'accuratezza.

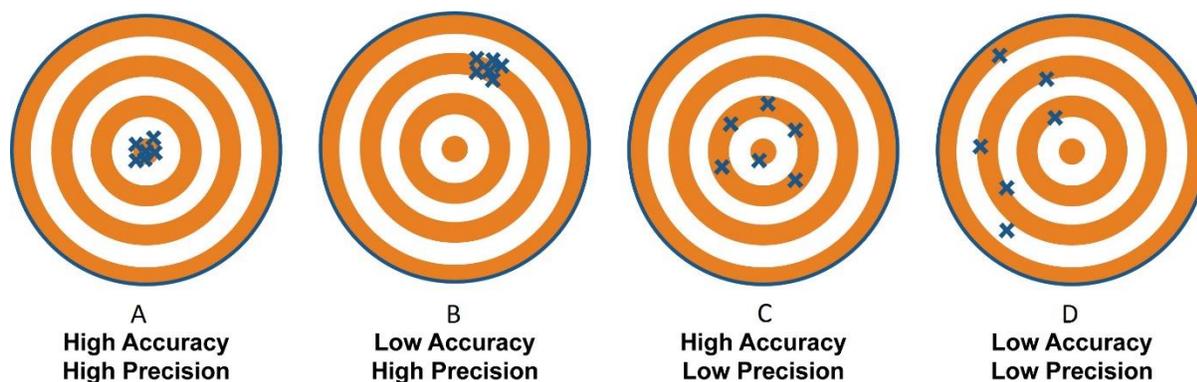


Figura 3.1: Precisione ed accuratezza

In Figura 3.1, le serie di dati A e B sono ugualmente precise, ma la serie B fornisce un valore medio scostato dal valore atteso, che è rappresentato dal centro del bersaglio: la misura è detta perciò inaccurata. In C, i dati sono poco precisi, ma la misura è invece accurata. In D, non si hanno né precisione né accuratezza. Per ottenere un valore medio affidabile è necessario effettuare un numero sufficientemente elevato di rilevazioni. In statistica tanto più una misura è precisa più la sua deviazione standard sarà ridotta. Uno strumento preciso dovrebbe essere allo stesso tempo sia preciso sia accurato.

#### 3.2. Ripetibilità

La ripetibilità è la variazione della misura ottenuta con uno strumento di misura usato più volte da un singolo operatore che misura più volte lo stesso componente. La ripetibilità di uno strumento è il grado di concordanza che si riscontra sulle misure di un particolare strumento, quando misura uno stesso misurando, alle medesime condizioni di misura [9]. Gli strumenti, poiché per loro natura sono costruttivamente complessi ed articolati, assumono un'infinità di piccoli errori di diversa natura, che combinati tra loro si traducono in errori di misura casuali. La valutazione della ripetibilità strumentale è parte dell'operazione di taratura dello strumento ed essa deve essere eseguita in laboratori specializzati che assicurino il miglior controllo delle condizioni di misura. In tali luoghi è valutata l'incertezza di misura, e questo permette di valutare correttamente in che misura lo strumento sotto esame si presenta ripetibile. Per il calcolo dell'errore di ripetibilità strumentale valgono le indicazioni che seguono. Occorre quindi precisare che per eseguire la ripetibilità di uno strumento è solo necessario che le misure siano eseguite:

- utilizzando un campione di riferimento la cui caratteristica peculiare sia la stabilità della grandezza fornita anche in tempi relativamente brevi ma sufficienti per eseguire le misurazioni
- in un ambiente le cui condizioni climatiche (temperatura ed umidità) siano mantenute stabili per tutta la durata delle prove.

Non è pertanto necessario che le prove siano eseguite da un laboratorio specializzato o certificato in quanto l'esito delle misure non dipende dall'incertezza del laboratorio ma solo dal rispetto dei due punti sopraccitati.

### 3.3. Riproducibilità

È il grado di concordanza tra una serie di misure di uno stesso misurando (la grandezza oggetto di misurazione), quando le singole misurazioni sono effettuate cambiando una o più condizioni [9]; come ad esempio:

- modificando il metodo di misurazione
- sostituendo l'operatore alla misura
- sostituendo lo strumento di misura
- spostandosi in altro luogo
- modificando la condizione di utilizzo dello strumento o del misurando
- effettuando misure in tempi più o meno lunghi.

La sua valutazione risulta particolarmente utile quando ci si aspetta che una condizione di contorno abbia significativa influenza sulle misure. In tal caso è opportuno effettuare una serie di misure nelle quali tale condizione venga variata in modo controllato. La valutazione comparata tra la ripetibilità e la riproducibilità permette di conoscere l'impatto della specifica condizione di contorno sulle misure che si stanno effettuando. La presenza di discordanze a livello di riproducibilità, evidenziano l'esistenza d'errori sistematici che influiscono sulla precisione di misura. Tali errori vanno a costituire un elemento di valutazione per quanto riguarda l'incertezza della misura. Per il calcolo dell'incertezza di misura in questo caso si utilizza l'equazione (4):

$$E_{rip} = V_{max} - V_{min} \quad (4)$$

Dove:  $E_{rip}$  = errore di riproducibilità.

$V_{max}$  = valore massimo misurato.

$V_{min}$  = valore minimo misurato.

Questo concetto può anche essere riferito allo strumento di misura invece che al misurando. In particolare: La riproducibilità di uno strumento è quella che si riscontra su un particolare strumento, quando si variano le altre condizioni di contorno. La valutazione della riproducibilità strumentale viene fatta quando ci si aspetta che la variazione di una condizione di contorno, induca errori sistematici sulle misure dello strumento. Tra le condizioni di contorno più significative si può elencare:

- posizione e/o orientamento dello strumento
- condizioni ambientali (temperatura, umidità, pressione atmosferica)
- alimentazione dei sensori
- esecuzione di misure in tempi lunghi (ovvero deriva nel tempo delle caratteristiche metrologiche).

Per il calcolo dell'errore di riproducibilità vale quanto detto precedentemente.

### **3.4. Incertezza di misura**

L'incertezza è il grado di indeterminazione con il quale si ottiene il valore di una grandezza o proprietà fisica attraverso la sua misurazione diretta o indiretta [9]. Il risultato della misurazione non è, pertanto, un valore unico ed univoco, bensì un insieme di valori derivati dalla misurazione della grandezza o proprietà fisica stessa. Nel 900' il fisico tedesco Heisenberg ha formulato il proprio principio di indeterminazione secondo il quale non è possibile ad un determinato istante conoscere la posizione esatta di una particella e la sua esatta velocità. L'operazione di misura è sempre invasiva, introduce una perturbazione nel sistema che si vuole indagare pertanto le variabili in gioco risultano sempre alterate a misurazione eseguita. L'errore di misurazione può quindi dipendere sia dallo strumento sia dall'operatore. Si identificano quindi due tipologie di errori: quelli casuali (o accidentali) e quelli sistematici. I primi si manifestano in modo causale ed involontario pertanto non sono controllabili, gli altri invece sono insiti dell'operazione di misurazione e si possono riconoscere chiaramente e si manifestano in un solo verso (misurazione maggiorata o minorata). In seguito verranno trattate più specificatamente entrambe le tipologie di errore.

#### **3.4.1. Errori sistematici**

Gli errori sistematici possono essere dovuti ad un malfunzionamento/errata taratura dello strumento di misura oppure ad un errore (volontario o involontario che sia) commesso da parte dell'operatore. Quelli relativi al macchinario sono diagnosticabili mediante un controllo accurato di tutte le componenti che compongono lo strumento. Per quanto riguarda invece gli errori che contemplan la componente umana, è più difficile fare una disamina poiché solo la persona stessa può sapere se sta eseguendo la misurazione correttamente o se la sta volontariamente alterando. Occorre quindi, quando ci sia il sospetto di una malafede o disattenzione da parte dell'operatore, eseguire controlli approfonditi sui campioni misurati per identificare se essa è presente o meno.

#### **3.4.2. Errori casuali**

Gli errori casuali hanno un impatto minore rispetto agli errori sistematici poiché, ripetendo la misurazione più volte e calcolando la media dei valori riscontrati (misura attendibile), il loro contributo generalmente si riduce per una ragione probabilistica. Nel parlare di misura e di valori oggi si preferisce sostituire al concetto di misura esatta quello di misura più probabile. Spesso essi sono conseguenza dell'incertezza con cui sono poste determinate condizioni di misura che vengono invece considerate come se fossero attuate esattamente. Gli errori accidentali hanno la proprietà di essere variabili sia in valore sia in segno e si individuano ripetendo una misura diverse volte con gli stessi strumenti e in condizioni che, per quanto sta nelle facoltà dell'operatore, possono essere ritenute costanti. L'eventuale discordanza dei risultati, supposto nullo ogni errore sistematico, sarà dovuta alla presenza di errori accidentali. La teoria degli errori accidentali viene svolta mediante la matematica probabilistica e tale argomento non sarà approfondito. Gli errori sistematici che invece influenzano il risultato della misura sempre nello stesso senso non possono pertanto venire compensati facendo la media di più misurazioni. Sono tali quelli dipendenti dalle caratteristiche costruttive degli strumenti di misura e gli errori dipendenti dall'usura degli strumenti. Gli errori sistematici possono essere sempre determinati (eseguendo un'accurata indagine critica del metodo impiegato e delle apparecchiature usate) e risulta così possibile apportare le opportune correzioni al risultato della misura od almeno individuare l'incertezza che accompagna il risultato della misura.

### 3.5. Test d'ipotesi

Un test di ipotesi consente di verificare se, e in quale misura, una determinata ipotesi (di carattere sociale, biologico, medico, economico, ecc.) è supportata dall'evidenza empirica. L'obiettivo è decidere "verità" o "falsità" di una certa ipotesi che viene formulata sulla popolazione. Il fenomeno studiato deve essere rappresentabile mediante una distribuzione di probabilità e l'ipotesi sulle caratteristiche del fenomeno studiato è tradotta su uno o più parametri della distribuzione (si parla di test parametrici). Vengono formulate due ipotesi sul valore del parametro:

- $H_0$  : IPOTESI NULLA, È l'ipotesi di totale casualità dei risultati
- $H_1$  : IPOTESI ALTERNATIVA, È una possibile ipotesi alternativa a quella di casualità non sempre è possibile formularla compiutamente.

Il test inizia con la definizione del problema in termini di ipotesi sul parametro oggetto di studio. L'ipotesi da sottoporre al test è detta "ipotesi nulla  $H_0$ ". Successivamente si specifica un'ipotesi alternativa  $H_1$ . Dopodichè si effettua il test. Quando l'ipotesi nulla non viene rifiutata, si può concludere che l'ipotesi potrebbe essere vera, non che sia necessariamente vera. Il test si basa sullo studio della distribuzione campionaria di una statistica, che viene detta statistica test e viene calcolata sui dati campione. Se la statistica-test risulta inferiore ad una certa soglia stabilita, non si rifiuta  $H_0$ , e quindi si stabilisce che probabilmente tale ipotesi è vera. Tuttavia è possibile commettere due tipologie diverse di errore, che sono mostrate in Figura 3.2.

	$H_0$ è vera	$H_0$ è falsa
Non rifiuto di $H_0$	<b>DECISIONE CORRETTA</b>	Errore di II tipo = $\beta$
Rifiuto di $H_0$	Errore di I tipo = $\alpha$	<b>DECISIONE CORRETTA</b> Potenza = $(1 - \beta)$

Figura 3.2: test d'ipotesi, errori di I e II tipo

L'errore di I tipo è quando si rifiuta un'ipotesi vera, al contrario quello di II tipo quando viene accettata un'ipotesi falsa.

### 3.6. Capacità di un processo

È un parametro numerico che consente di valutare quanto un processo produttivo, caratterizzato da una propria variabilità statistica, possa soddisfare una specifica di produzione. Tale parametro, adimensionale è individuato dal simbolo  $C_p$ , viene definito dall'equazione (5):

$$C_p = \frac{U_{sl} - L_{sl}}{6\sigma} \quad (5)$$

dove  $U_{sl}$  è il limite superiore della specifica,  $L_{sl}$  il limite inferiore e  $\sigma$  è la deviazione standard dei valori generati dal processo. Attraverso un numero di misurazioni o rilevamenti statisticamente significativi, si osserva che i valori generati dal processo in esame tenderanno ad assumere una distribuzione gaussiana. Tale distribuzione è caratterizzata da un valore medio ( $x$ ) e da un valore di deviazione standard ( $\sigma$ ) tanto maggiore quanto è ampia la distribuzione dei valori osservati. Al tendere all'infinito del numero dei valori osservati, l'intervallo  $x \pm 3\sigma$  include il 99,73% dei valori misurati ed è convenzionalmente considerato come la normale variabilità statistica del processo.

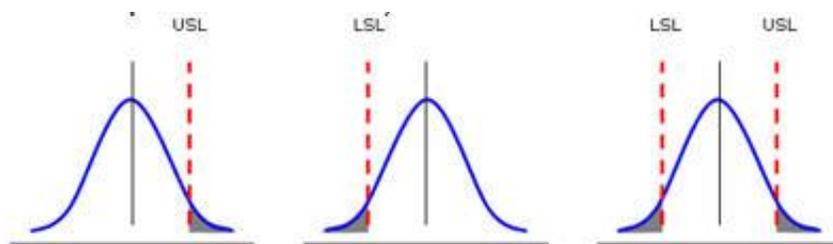


Figura 3.3: LSL USL

Qualora il valore medio della distribuzione  $x$  non coincida con il valore nominale della specifica  $\mu$ , possono essere calcolate due capacità ("superiore" e "inferiore"), ciascuna riferita ad una metà della distribuzione gaussiana, mostrate nell'equazione (6) e (7):

$$C_{superiore} = \frac{U_{sl} - x}{3\sigma} \quad (6)$$

$$C_{inferiore} = \frac{x - L_{sl}}{3\sigma} \quad (7)$$

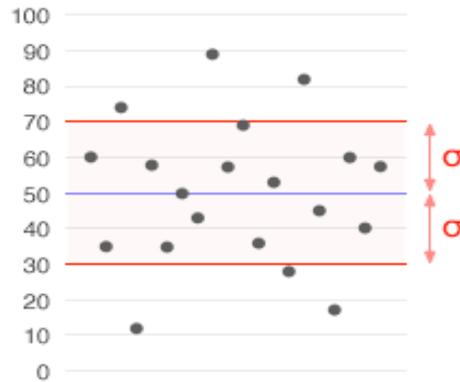
considerando come capacità  $C_{pk}$  il valore inferiore tra  $C_{inferiore}$  e  $C_{superiore}$ . Dalla definizione data quindi, un valore di  $C_p$  o  $C_{pk}$  uguale a 1 significa che il processo in esame ha il 99,73% di probabilità di rispettare la specifica indicata.

### 3.7. Parti per milione

Il ppm è una unità di misura adimensionale che indica un rapporto tra quantità misurate omogenee di un milione a uno. Ad esempio viene usata per livelli estremamente bassi di concentrazione di un elemento chimico, ma anche per esprimere errori di misurazione, tolleranze o quantità di pezzi non conformi.

### 3.8. Deviazione standard

Lo scarto quadratico medio (o deviazione standard) è un indice di dispersione statistico, esso fornisce una stima della variabilità di una popolazione di dati o di una variabile casuale [10]. È uno dei modi per esprimere la dispersione dei dati intorno ad un indice di posizione, come ad esempio, la media aritmetica. Ha quindi la stessa unità di misura dei valori osservati. In ambito statistico, la precisione si può esprimere talvolta mediante lo scarto quadratico medio.



**Figura 3.4: deviazione standard**

Viene rappresentato mediante la lettera greca  $\sigma$ . Un'altra grandezza collegata allo scarto quadratico medio è la varianza che rappresenta il quadrato della deviazione standard, ovvero  $\sigma^2$ .

### 3.9. Media

In statistica, la media è un singolo valore numerico che descrive sinteticamente un insieme di dati. Esistono varie tipologie di media che possono essere scelte per descrivere un fenomeno, la più comune, ovvero quella cui ci si riferisce nel linguaggio ordinario, è quella aritmetica. Rappresenta inoltre l'indice di posizione maggiormente utilizzato in statistica. Viene calcolata sommando tutti i valori a disposizione e dividendo il risultato per il numero complessivo dei dati come specificato nell'equazione (8):

$$M_{aritmetica} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

dove  $n$  rappresenta il numero di elementi considerati e  $x_i$  l' $i$ -esimo valore considerato.

### 3.10. Mediana

In ambito statistico, data una distribuzione di un carattere quantitativo oppure qualitativo ordinabile mediante qualsiasi criterio, si definisce la mediana come il valore (o l'insieme di valori) assunto/i dalle unità statistiche che si trovano nel mezzo della distribuzione. Rappresenta quindi un indice di posizione. Da non confondere con il valor medio e la moda, che rappresenta il valore che viene ripetuto un maggior numero di volte. Tale differenza viene illustrata in Figura 3.5.

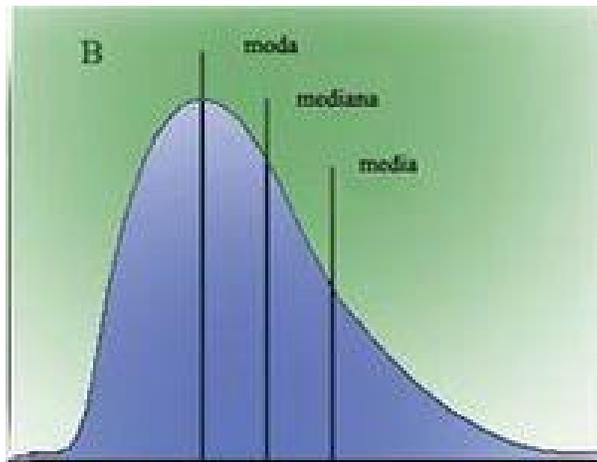


Figura 3.5: mediana media moda

Per calcolare la mediana si procede al riordinamento delle unità in base ai valori crescenti del carattere da esse detenuto, in sostanza la mediana bipartisce la distribuzione in due sotto-distribuzioni: la prima a sinistra della mediana (costituita dalla metà delle unità la cui modalità è minore o uguale alla mediana) e la seconda a destra della mediana (costituita dalla metà delle unità la cui modalità è maggiore o uguale alla mediana). Tecnicamente si afferma quindi che la mediana è il valore/modalità per il quale la frequenza relativa cumulata vale (o supera) 0,5, cioè il secondo quartile. Si riporta di seguito l'iter per il calcolo della mediana su un campione di  $n$  dati :

- ordinano gli  $n$  dati in ordine crescente
- se il numero di dati è dispari la mediana corrisponde al valore centrale, ovvero al valore che occupa la posizione  $\frac{n+1}{2}$
- se il numero  $n$  di dati è pari, la mediana è stimata utilizzando i due valori che occupano le posizioni  $\frac{n}{2}$  e  $(\frac{n}{2} + 1)$ , generalmente si sceglie la loro media aritmetica se il carattere è quantitativo.

### 3.11. Modello decisionale di Fetter

Questo modello [11] lega la frequenza campionaria ai seguenti elementi:

- Alle numerosità campionaria  $n$
- All'ampiezza della zona di controllo (LIC e LSC)
- Alle componenti di costo del controllo stesso.

Il modello si applica agli slittamenti della media  $X'$  della produzione e si propone l'obiettivo di minimizzare la somma dei costi della difettosità interna e dei costi di ispezione, relativi ad un prefissato periodo produttivo  $T$  (ora, turno, periodo di lavorazione che sia). Le variabili che il modello prende in considerazione sono le seguenti:

1.  $n$  = numerosità del sottogruppo
2.  $K$  = numero di scarto quadratico medio di cui si compone la semiampiezza della regione di controllo della carta della media. In genere si assume  $K=3$

3.  $\alpha$  = rischio di errore di prima specie
4.  $N$  = numero di elementi prodotti nel periodo produttivo  $T$  considerato
5.  $m$  = numero dei controlli effettuati nel periodo  $T$
6.  $D$  = numero medio di slittamenti che avvengono nel periodo  $T$
7.  $P_0$  = percentuale della produzione difettosa
8.  $P_1$  = percentuale della produzione difettosa dopo uno slittamento
9.  $\beta$  = probabilità di non avvertire lo slittamento al primo controllo successivo
10.  $C_c$  = costo fisso per ogni controllo campionario
11.  $C_i$  = costo per controllare ognuno degli  $n$  elementi del sottogruppo
12.  $C_d$  = costo di un prodotto difettoso
13.  $C_f$  = costo di un intervento inutile sul processo, per erronea segnalazione di fuori controllo.

Sulla base di questi elementi è possibile esprimere il costo totale medio, per ispezione e difettosità, che grava su ogni periodo produttivo  $T$ . Si faccia riferimento alla Figura 3.6.

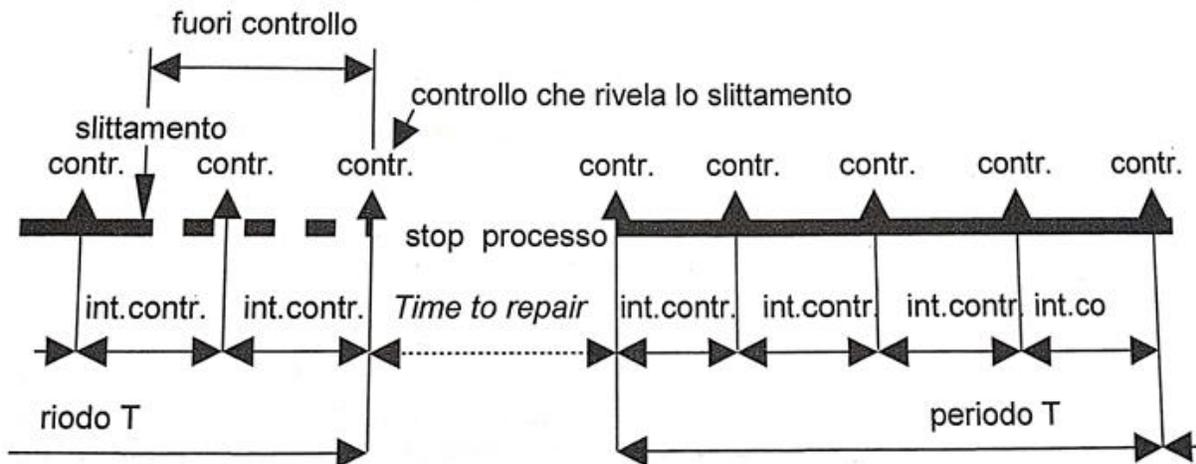


Figura 3.6: esempio metodo di Fetter

Si supponga che uno slittamento avvenga durante un certo intervallo di controllo e che venga scoperto al 2° controllo successivo. La Figura 3.6 illustra inoltre come, all'atto della scoperta la produzione venga immediatamente arrestata. Verrà ripresa solo dopo il tempo "Time to repair" (TTR) necessario per l'eliminazione del problema. Dal momento dello slittamento in poi, la difettosità percentuale aumenta dal valore di base  $P_0$  fino al valore  $P_1$ , al quale rimane per tutto il tempo in cui il processo resta fuori controllo. Ora si analizza la durata di questo tempo. Nell'equazione (9) è mostrato come ricavare il numero medio degli intervalli di controllo.

$$E(h) = \frac{1}{1 - \beta} \quad (9)$$

Ognuno della durata  $\frac{T}{m}$ , si verificano prima che lo slittamento venga avvertito. Poichè si assume che gli slittamenti avvengano, in media, a metà di un intervallo di controllo, si può diminuire  $E(h)$  di 0,5, come mostrato nell'equazione (10).

$$E(h) = \frac{1}{1 - \beta} - 0,5 \quad (10)$$

Così facendo, nel caso in cui uno slittamento sia così forte da far tendere  $\beta$  a 0 (e quindi tale da essere avvertito già al primo controllo successivo al verificarsi dell'anomalia), il processo risulta fuori controllo solo per mezzo intervallo  $\frac{T}{m}$ . Pertanto la relazione (10) fornisce il numero medio di intervalli di controllo durante i quali la produzione ha una difettosità  $P_1$ , il tempo totale di fuori controllo  $T_{fc}$  vale quindi :

$$T_{fc} = \frac{T}{m} \cdot \left( \frac{1}{1 - \beta} - 0,5 \right) \quad (11)$$

Il tasso di produzione del processo vale  $\frac{N}{T}$ , pertanto durante il periodo  $T_{fc}$  verranno prodotti un numero  $n_d$  di difetti in più, rispetto a quelli che si sarebbero avuti in condizioni di centratura, dato da:

$$n_d = T_{fc} \cdot \frac{N}{T} \cdot \left( \frac{P_1 - P_0}{100} \right) = n_d = \frac{N}{m} \cdot \left( \frac{1}{1 - \beta} - 0,5 \right) \cdot \left( \frac{P_1 - P_0}{100} \right) \quad (12)$$

Il corrispondente costo  $C_1$  per incremento della difettosità, riferito al periodo produttivo T, vale:

$$C_1 = C_d \cdot n_d = C_d \cdot \frac{N}{m} \cdot \left( \frac{1}{1 - \beta} - 0,5 \right) \cdot \left( \frac{P_1 - P_0}{100} \right) \quad (13)$$

Nel periodo T, oltre al costo  $C_1$  della difettosità si ha anche il costo  $C_2$  dovuto all'ispezione ed agli interventi inutili effettuati sul processo. Se si confonde la frequenza relativa con la probabilità si può facilmente ricavare che il numero medio di interventi inutili nel periodo T è dato dal prodotto:  $m \cdot \alpha$ .

Pertanto il costo  $C_2$  risulta dalla somma:

$$C_2 = [m \cdot (C_c + n \cdot C_i)] + (m \cdot \alpha \cdot C_f) \quad (14)$$

Il costo totale  $C_{tot}$ , sempre relativo al periodo T, si ottiene sommando i costi  $C_1$  e  $C_2$  :

$$C_{tot} = C_1 + C_2 = C_d \cdot \frac{N}{m} \cdot \left( \frac{1}{1-\beta} - 0,5 \right) \cdot \left( \frac{P_1 - P_0}{100} \right) + m \cdot (C_c + n \cdot C_i + \alpha \cdot C_f) \quad (15)$$

Una volta fissati: l'entità dello slittamento, la numerosità campionaria n ed il grado di severità della carta, espresso da K, è possibile determinare i valori di  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $P_1$ . Successivamente si può ricavare il numero di controlli  $m^*$  che minimizza il costo totale. Infatti osservando l'equazione (16) si vede che esprimendo il  $C_{tot}$  in funzione di m :

$$C_{tot} = \frac{1}{m} \cdot B + m \cdot C \quad (16)$$

Con :

$$B = \frac{N}{C_d} \cdot \left( \frac{1}{1-\beta} - 0,5 \right) \quad (17)$$

$$C = (C_c + n \cdot C_i + \alpha \cdot C_f) \quad (18)$$

Per cui derivando rispetto ad m ed eguagliando a zero, si ottiene:

$$\frac{dC_{tot}}{dm} = -\frac{B}{m^2} + C = 0 \quad (19)$$

Quindi il numero di controlli  $m^*$  che minimizza  $C_{tot}$  vale:

$$m^* = \sqrt{\frac{B}{C}} = \sqrt{\frac{\frac{N}{C_d} \cdot \left( \frac{1}{1-\beta} - 0,5 \right)}{(C_c + n \cdot C_i + \alpha \cdot C_f)}} \quad (20)$$

Considerando quindi che le componenti di costo indicate con B e C nella (20) sono funzione di n e K è possibile individuare, attraverso un processo iterativo di calcolo, quale sia la combinazione di n, K, ed m che individua il programma di controllo meno costoso secondo il modello proposto. Si sottolinea che, nell'adattamento ai casi concreti, il modello può subire delle variazioni dovute alle limitazioni delle condizioni al contorno reali.

## 4. Misure e macchinari di misura

Nel corso dell'attività in azienda si sono utilizzati diversi macchinari per effettuare le misure. Per limitare il più possibile la variabilità della misura legata alla temperatura e del tasso di umidità della stanza si lavora in sala metrologica, luogo tenuto a  $23^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$  e il  $50\%\pm 15\%$  di umidità. Tutto ciò è molto importante poiché taluni materiali sono molto sensibili alle dilatazioni termiche oppure all'umidità. Per effettuare una misura si può ricorrere a più tipologie di strumenti, quelli a controllo manuale (analogici e/o digitali) oppure quelli a controllo numerico. In particolare si sono adoperati macchinari CNC (computer numerical control) ovvero macchine a controllo numerico, che hanno innumerevoli vantaggi rispetto a quelle manuali. La necessità di utilizzare tali controlli di supporto alla qualità ha ragioni:

- Economiche: poiché si riducono tempi e costi per il controllo che potrebbero determinare dei ritardi di consegna
- Sociale: i clienti sono sempre più esigenti e si vuole perciò avere un'informazione oggettiva e precisa
- Tecnologico: l'incremento di performance degli elaboratori elettronici permette di creare sistemi d'ispezione sempre più versatili e precisi.

Tutte queste motivazioni portano al "Computer Aided Quality Control" o (C.A.Q.C.).

### 4.1. Macchinari CNC

La grande peculiarità delle macchine CNC è di essere controllate da un calcolatore elettronico, detto unità di governo (UG). Essa gestisce ed elabora il flusso di informazioni con tutte le componenti dello strumento di misura.

#### 4.1.1. Unità di governo

La UG è composta dei seguenti circuiti elettronici:

- Logici per l'elaborazione dei dati numerici
- Per l'asservimento e per il comando dei servomotori
- Matrici di memoria per i comandi ausiliari
- Logica di collegamento con la macchina di misura.

Tale funzione è asservita da un Computer collegato col macchinario di misura vero e proprio. Su tale calcolatore sono presenti inoltre diversi software:

- Il sistema operativo del computer, in questo caso Windows
- Un software di processo, il quale contiene la caratterizzazione della macchina e delle operazioni di misura possibili (Measure\_X e Calypso)
- Logica di macchina, il software che comanda la macchina
- Software utente, banalmente le routine scritte dall'operatore.

Può essere talvolta presente un software di acquisizione dati, qualora il software di processo non prevedesse tale funzione.

A livello Hardware invece la UG è composta da più unità come si evince da Figura 4.1.

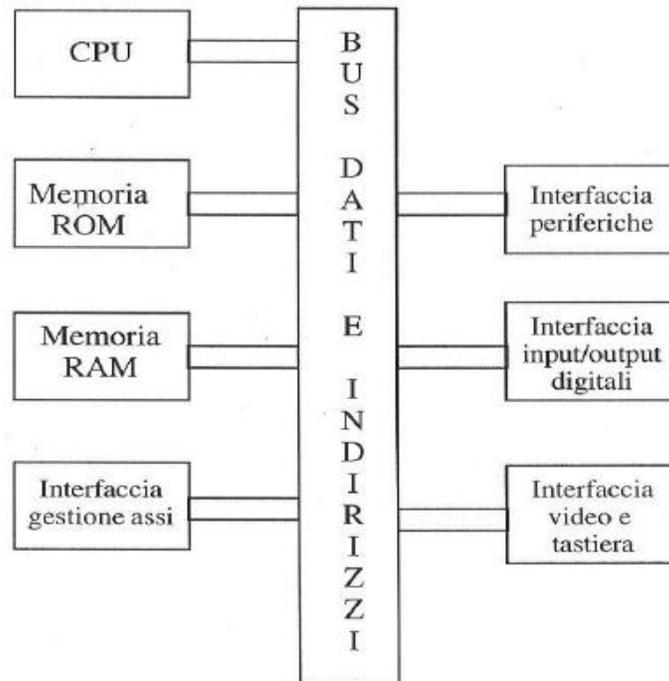


Figura 4.1: hardware unità di governo

Si analizzano le varie componenti:

- CPU, Central Processing Unit, presiede e coordina le azioni ed i calcoli di tutta l'unità di governo
- Memoria ROM, Read Only Memory, memoria di stato solido che contiene file di sola lettura, ossia i dati ed i programmi necessari al funzionamento del macchinario, essi in genere non interessano all'utente
- Memoria RAM, Random Access Memory, memoria allo stato solido sia di lettura che di scrittura, su essa girano il software di processo ed il sistema operativo
- Interfaccia gestione assi, scheda elettronica che raccoglie i dati provenienti dai trasduttori e generano segnali atti al pilotaggio dei motori elettrici degli assi di tavola e della colonna
- Interfaccia per video e tastiera, consentono di visualizzare i programmi su schermo e di utilizzare mouse, tastiera o cloche per editare programmi ed in generale movimentare il macchinario
- Interfaccia periferiche, permette il collegamento a stampanti, memorie di massa esterne od ulteriori periferiche.

Il grande vantaggio di tali strumenti di misura è che sono programmabili, ovvero che, mediante il software di processo, è possibile scrivere una routine che il macchinario ripeterà ogni volta che essa verrà attivata, il tutto in modo automatico. Questa caratteristica rende tali macchinari molto versatili, infatti è possibile misurare pezzi con geometrie e dimensioni molto differenti tra loro utilizzando la stessa

macchina. Ovviamente per quanto riguarda il posizionamento dei componenti, col fine di garantire la ripetibilità della misura si sono utilizzati degli strumenti che verranno in seguito illustrati.

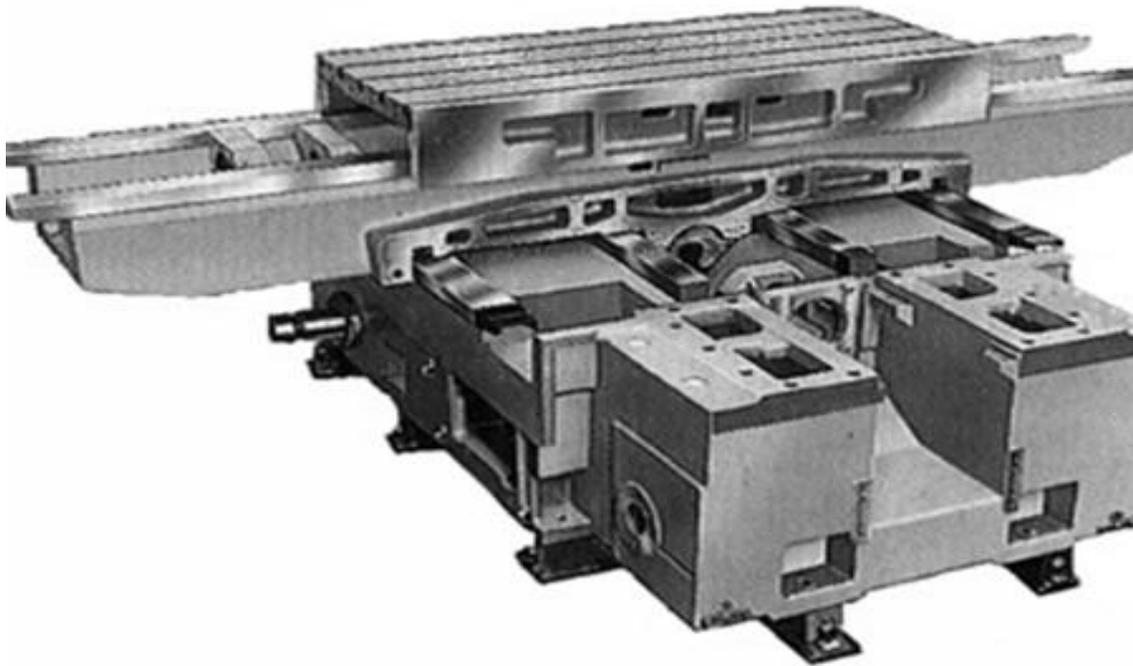
#### **4.1.2. Macchine a misura di coordinate: caratteristiche e struttura**

Tutti i macchinari di misura utilizzati sono della tipologia “a misura di coordinate”. Esse sono composte da una struttura cartesiana poiché l’obiettivo primario è la precisione di posizionamento. Si hanno 3 gradi di libertà: X e Y che sono quelli della tavola portapezzo e Z che è quello dello strumento vero e proprio di misura.

A livello meccanico invece è necessario che la struttura del macchinario abbia le seguenti caratteristiche:

- Adeguata rigidità sia statica sia dinamica
- Mantenimento nel tempo della geometria e delle dimensioni
- Ridotte distorsioni e variazioni dimensionali al variare della temperatura.

Tali caratteristiche sono basilari per garantire che il macchinario renda una misura riproducibile quanto più possibile. Per la struttura in generale si utilizzano dei materiali molto resistenti come il granito o la ghisa che garantisce tutte le caratteristiche precedentemente elencate.

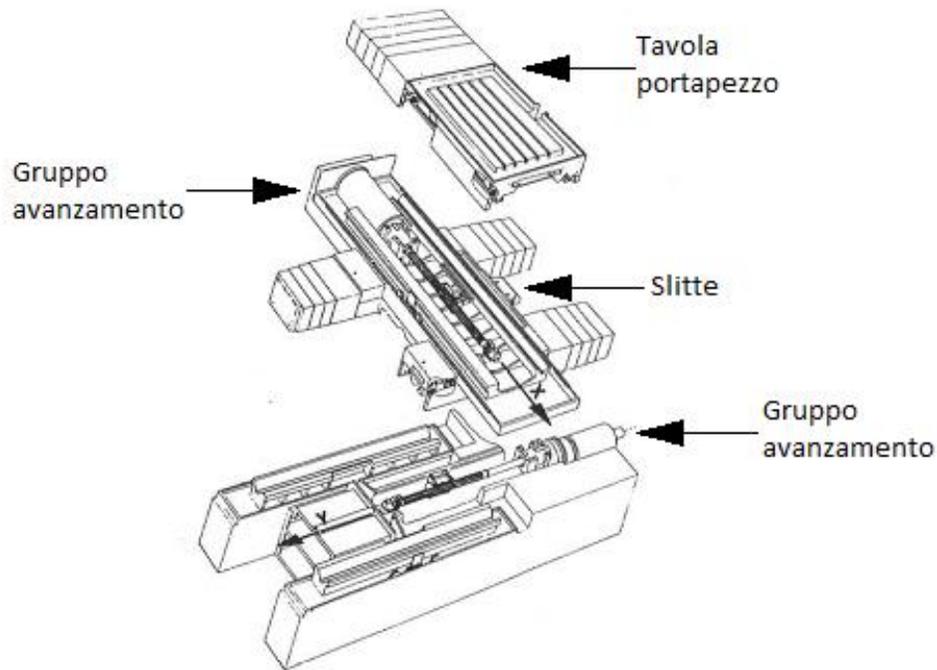


**Figura 4.2: struttura macchina CNC**

Delle altre componenti della macchina CNC segue un’analisi più dettagliata. Il gruppo bancale è generalmente formato dai seguenti componenti:

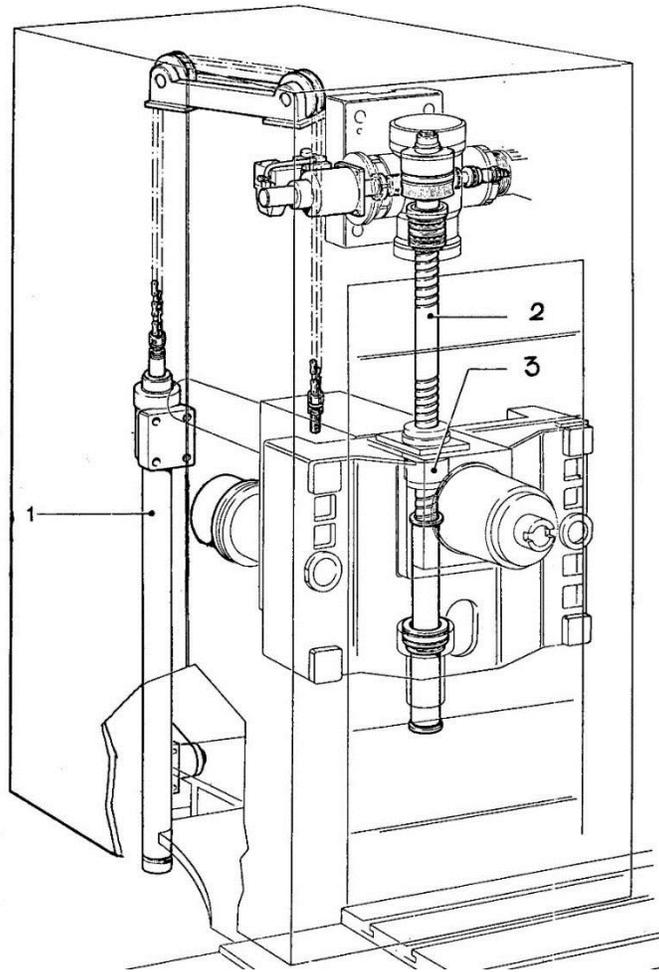
- Tavola portapezzi, adibita all’alloggiamento dei pezzi, essa deve essere libera di traslare lungo X
- Slitta inferiore di supporto alla Tavola portapezzo e dispositivo di traslazione trasversale secondo l’asse Y

- Gruppi di avanzamento per i due assi X e Y, generalmente composti da motori elettrici.



**Figura 4.3: gruppo bancale**

Sia per la tavola sia per la slitta vengono montati dei microinterruttori con funzione protettiva di fine corsa, il primo ha la funzione di provocare una frenatura elettrica al motore rallentando molto la velocità di traslazione fino ad arrestarla, un secondo invece ha il compito di provocare un segnale di emergenza qualora venisse attivato. In generale per quanto riguarda le guide per migliorare la scorrevolezza e ridurre l'usura si utilizzano basse pressioni specifiche (0.1 0.25 MPa) e ottimi sistemi di lubrificazione. Il gruppo montante serve da supporto alla testa, la quale contiene i cinematismi per la traslazione del tastatore o del gruppo visore. Essa scorre generalmente su guide piane che ne impediscono il ribaltamento. Tali guide di solito sono fatte da Acciaio al Ni Cr cementato e poi successivamente rettificate. All'interno della testa è presente il meccanismo di traslazione del mandrino su cui è poi applicato il vero e proprio strumento di misura.



**Figura 4.4: montate con testa operatrice**

I macchinari di misura CNC, detti CMM (Coordinate-measuring Machines), si distinguono principalmente in due categorie, quelli ottici e quelli dotati di tastatore. I primi hanno montato un sistema ottico dotato di telecamera che è in grado di riconoscere le geometrie del componente e di misurarle. Gli altri invece eseguono la rilevazione mediante un tastatore. Esso può essere sia “fisico” sia ottico. Nel primo caso il macchinario imprime sul componente da misurare una certa pressione finchè non si attiva un interruttore interno al tastatore che rileva le coordinate del punto selezionato. Nel secondo caso invece esso utilizza la luce, in base alla riflessione della stessa sul componente identifica le coordinate della misura. Questa seconda tipologia ha il vantaggio di non aver bisogno che l’oggetto di misura sia ben vincolato mediante dei supporti. Tuttavia è meno indicata per pezzi riflettenti o trasparenti, i quali possono dare risultati fallaci.

## **4.2. Sistemi ottici**

I sistemi ottici hanno la peculiarità nel sistema di acquisizione, che viene mostrato in Figura 4.5.

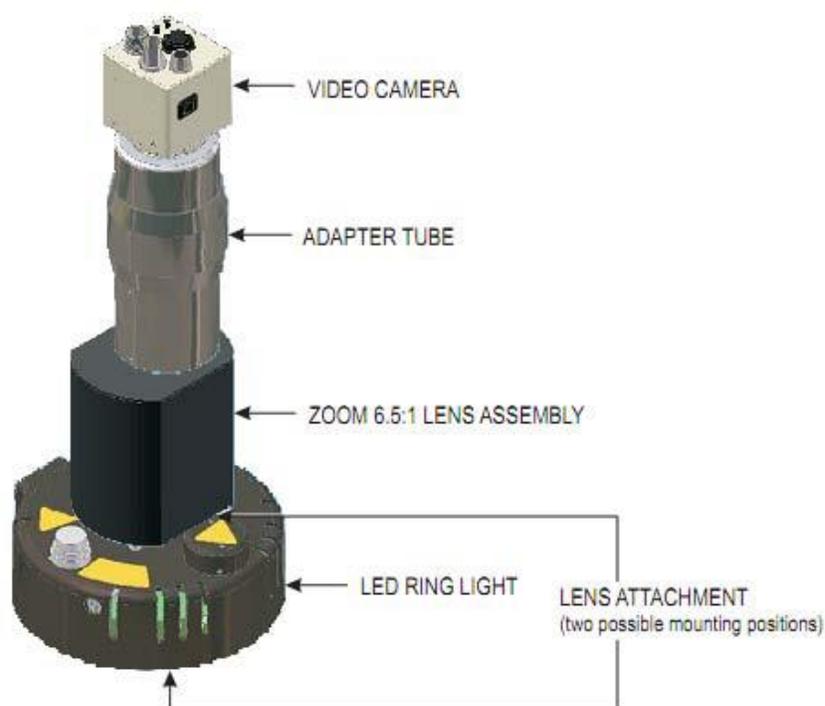


Figura 4.5: sistema ottico OGP

Il sistema è formato da una video camera, un tubo adattatore, un sistema di lenti ed un anello di luci LED. Questa configurazione è specifica del macchinario OGP presente in azienda ma i concetti base sono gli stessi per tutti i macchinari di questa tipologia.

#### 4.2.1. Video camera

La video camera è l'elemento cardine di un qualsiasi sistema ottico [12]. Come fattura non si discosta molto da quelle commerciali presenti sugli smartphone o sui laptop, ma ovviamente ha delle caratteristiche specifiche. Uno dei principali dati targa di una camera è la numerosità dei pixel, ovvero i megapixel. Si è quindi portati a pensare che un numero più elevato di megapixel renda migliore una videocamera rispetto ad una con un numero inferiore. Questo è vero per sistemi di tipo "point and shoot" come le fotocamere per smartphone, ma per quelle utilizzate in metrologia il discorso cambia. Un importante fattore è la stabilità del sistema. Solitamente le videocamere ad alta risoluzione tendono a raggiungere alte temperature e necessitano quindi di un sistema di raffreddamento dedicato per mantenere la qualità dell'immagine in ogni condizione operativa. Inoltre le telecamere metrologiche necessitano di pixel altamente simmetrici, quindi di forma quadrata. Inoltre devono essere collocati ortogonalmente nel loro array di sede ed equispaziati fra loro. Gli spazi fra un pixel ed un altro sono insensibili alla luce, per cui gli array devono risultare molto densi e vicini. Risulta anche importante l'interazione fra la videocamera ed il sistema di lenti. Soprattutto devono risultare entrambi di qualità comparabile per non limitare le prestazioni di uno o dell'altro elemento. Anche l'elettronica di supporto per tali videocamere deve essere di ottima qualità. Le telecamere devono avere un segnale molto alto e quindi poco rumore, col fine di usarle per misure in tempo reale. Inoltre devono avere un comportamento lineare, ovvero che ad

ogni variazione di luce dell'immagine deve corrispondere una variazione proporzionale del segnale in uscita. Un'altra importante caratteristica è che la camera deve riconoscere anche piccole variazioni dell'intensità della luce sia in ambienti molto scuri che molto illuminati.

#### 4.2.2. Lenti

Il sistema ottico composto dalle lenti e dal tubo adattatore costituisce un altro elemento molto importante dei sistemi ottici di misura [13]. Di seguito si riportano alcuni fattori molto importanti per quanto riguarda la scelta di un sistema ottico:

- La dimensione del campo visivo (Field Of View) è una funzione di molte cose tra cui l'ottica (ingrandimento), la dimensione del sensore(video) e le dimensioni dello schermo (comparatori). La FOV non è solo una funzione economica (costo dell'attrezzatura) ma ha anche un grande impatto sulla produttività. Quando intere funzionalità possono essere misurate in un singolo FOV, il tempo di misurazione è molto più breve rispetto a quando è necessario muovere la telecamera in più posizioni per effettuare le misurazioni.
- La profondità di messa a fuoco (Deep Of Focus) influisce sia sulla necessità di rifocalizzare l'immagine quando si misurano superfici a diverse altezze e la capacità di mettere a fuoco con elevata precisione. Per effettuare delle misure, è conveniente avere un grande DOF. Per misurazioni frequenti sull'asse Z (utilizzando lo zoom dell'ottica), è meglio avere un DOF poco profondo.
- La telecentricità è quella caratteristica ottica che consente a un oggetto di rimanere di dimensioni e forma ben definiti indipendentemente dalla sua distanza dall'obiettivo. Se l'immagine è costante per una grande pure per oggetti molto alti o profondi, non è necessario riposizionare il sistema ottico per misurare caratteristiche diverse.
- La distorsione è la caratteristica ottica che consente un oggetto di essere ingrandito con precisione, mantenendo sia forma sia dimensioni costanti in tutto il campo visivo. Questa caratteristica elimina la necessità di spostare il punto di interesse al centro del campo visivo per effettuare misurazioni accurate. L'ottica a bassa distorsione consente misurazioni accurate delle caratteristiche in tutto il campo visivo.

La maggior parte dei sistemi di misurazione video tradizionali ha caratteristiche ottiche comuni, tra cui a campo visivo relativamente piccolo e profondità ridotta di messa a fuoco. I comparatori tradizionali hanno in genere anche una ridotta profondità superficiale di fuoco. Il campo visivo varia a seconda delle dimensioni e dell'ingrandimento dello schermo. Per misuratori video tradizionali o comparatori, in cui il campo visivo necessario è relativamente piccolo sono diversi movimenti per misurare una singola parte. Di conseguenza, il fissaggio del componente ispezionato è solitamente richiesto per mantenere stabile la zona d'interesse col fine di garantire misurazioni accurate. Le ottiche o gli obiettivi utilizzati per ingrandire l'immagine hanno tuttavia una profondità superficiale di messa a fuoco ridotta. Quindi con i sistemi di misurazione tradizionali, la profondità di messa a fuoco ridotta consente una messa a fuoco nitida analizzando l'immagine man mano che l'ottica si avvicina e allontana dal bersaglio per trovare l'immagine più nitida, spesso indicato come autofocus. Tuttavia questa attività richiede tempo poiché l'autofocus è una funzione progressiva. Un piccolo campo visivo ed una profondità di focus ridotta fornisce quindi all'operatore immagini ad una risoluzione maggiore con la possibilità di effettuare la misura lungo l'asse dell'ottica, il tutto però a discapito del tempo di ispezione.

### 4.2.3. Sistemi ad ampio campo visivo

Sistemi ad ampio campo visivo [14] rappresentano al giorno d'oggi un'alternativa ai sistemi di misura tradizionali, superando le limitazioni di un piccolo campo visivo e profondità di messa a fuoco ridotta. I grandi sistemi di campo visivo possono spesso fornire un campo di vista fino a 100 mm, accoppiato con una profondità messa a fuoco di oltre 25 mm. Una delle principali ragioni per considerare un ampio sistema di campo visivo è la capacità di effettuare misure all'interno del campo visivo. Poiché i sistemi di campo visivo ampio consentono di vedere più parti del componente da ispezionare contemporaneamente, i movimenti risultano ridotti, con conseguente alta velocità di misurazione. Come per i sistemi di misurazione tradizionali esistono dei limiti. Con sistemi di campo visivo ampio, caratteristiche ottiche come telecentricità e distorsione possono avere a effetto significativo sull'accuratezza della misurazione. Come accennato in precedenza, la telecentricità è la caratteristica ottica che consente ad un oggetto di mantenere una dimensione ed una forma costanti indipendentemente dalla sua distanza dall'obiettivo. Al fine di avere un sistema ottico di qualità il sistema deve risultare telecentrico con bassa distorsione. È importante notare che un ampio campo visivo e grande profondità di messa a fuoco non garantiscono che un sistema ottico produrrà un'immagine telecentrica. L'occhio umano, per esempio, possiede una grandissima profondità di messa a fuoco; tuttavia, tenendo il dito lungo un braccio, quindi spostandolo più vicino ai tuoi occhi risulterà che le dimensioni del dito sembrano aumentare. La distorsione si manifesta mediante una "mal modellazione" sferica dell'immagine, difficile da rilevare con l'occhio umano, ma molto dannosa per l'accuratezza delle misure. Per generare un'immagine veramente telecentrica in un sistema ottico, è necessario un sistema di lenti molto complesso. La vera complessità sta nel posizionare nel modo corretto le lenti su un perfetto piano focale. In definitiva, c'è il pericolo di credere che un'immagine sia ben messa a fuoco quando in realtà non lo risulta, producendo quindi una misurazione errata.

### 4.3. OGP – Sprint MVP 300



Figura 4.6: OGP - Sprint MVP300

Questo è un macchinario di tipo ottico presente in azienda. Si tratta di un macchinario di misura a coordinate. Presenta una struttura simile ad una fresa, ovvero con una base molto robusta (in questo caso in granito) e una tavola portapezzo la quale si muove lungo slitte motorizzate su X e Y. La testa contiene al suo interno il meccanismo ottico di rilevamento, il quale può traslare lungo Z mediante cinghie. Al di sotto del piatto di vetro sono presenti dei LED che hanno lo scopo di fornire luce da sotto il pezzo per identificare i bordi esterni in modo chiaro. Tuttavia anche nella testa è presente un sistema di LED, dimmerabili, i quali forniscono luce dall'alto e lateralmente. Il principio di funzionamento è il seguente: il riconoscimento di una "struttura geometrica", sia essa un cerchio, uno spigolo, una retta, avviene mediante una differenza di luce e messa a fuoco tra il piano in cui l'oggetto da identificare è presente e tutti gli altri piani. Questo tipo di riconoscimento è possibile grazie al software Measure-X che permette diverse tipologie di geometrie fondamentali identificabili. Un'altra funzione di questo software è di poter effettuare rilevamenti manuali mediante apposite griglie, le quali risultano particolarmente utili per geometrie molto particolareggiate. Quindi tale software permette la creazione di Routine, banalmente programmi, che possono essere manuali, automatici oppure assistiti/semiautomatici. Per quanto riguarda gli argomenti trattati in questa tesi si è operato mediante routine completamente automatiche, l'unica operazione manuale considerata è quella del posizionamento del componente nel portapezzo. Questo macchinario presenta diversi pro e contro riguardo le geometrie che riesce ad identificare. I fori, se di tipo passante o in generale senza cambi di diametro, possono essere identificati in modo preciso (anche se spesso, come una somma ed interpolazione di più archi). Tuttavia con i fori con numerosi cambi di diametro risulta difficoltosa la messa a fuoco e quindi il riconoscimento. Invece per quanto riguarda spigoli retti, compatibilmente con la messa a fuoco, la misura è molto precisa e veloce. Una volta

identificate le geometrie elementari è possibile calcolare la distanza fra loro, come se fosse una vera e propria quota. È inoltre possibile, mediante un ulteriore software QC-CALC effettuare un'acquisizione dei dati, ovvero le varie quote, per poi effettuare un controllo di tipo carta X-R puntuale o un'esportazione su EXCEL per elaborare i dati. Si allega la scheda tecnica del macchinario.

		Standard	Optional
X, Y, Z Travel	200	200 x 150 x 150 mm 8 x 6 x 6 in	
	250	300 x 150 x 150 mm 12 x 6 x 6 in	
	300	300 x 300 x 150 mm 12 x 12 x 6 in	
X, Y, Z Scale Resolution		0.5 µm (0.00002 in)	0.1 µm (0.000004 in)
Stage Drive System		Precision, motorized compound XY stage and linear Z stage with 3-axis joystick control	
Max Recommended Stage Load		200, 250 Models - 20 kg (44 lb) 300 Model - 25 kg (55 lb)	
Working Distance		62 mm (2.5 in) (with standard VectorLight™)	
Imaging Optics		6.5:1, 10 position motorized zoom lens	
Lens Attachments		0.5X, 0.75X, 1.5X, 2.0X	
Field of View *Highest available magnification	Low Mag	High Mag*	
	9.1 mm (0.36 in) diagonal	0.6 mm (0.02 in) diagonal	
Metrology Camera		QVI Digital, Megapixel Metrology Camera	
Magnification on 24" LCD Monitor		24x to 370x on-screen digital/optical magnification standard with full feature Measure-X layout	12x to 740x on-screen digital/optical magnification with optional add-on lenses and dual monitor user interface
Illumination		LED VectorLight™ programmable ring light with 6 rings and 7 sectors, LED backlight, LED square-on surface light	LED VectorLight™ programmable ring light with 6 rings and 8 sectors
Controller		Windows™ Controller with Speed/Bus ICORE 5 Quad CPU, 4 GB RAM, 160 GB hard drive	Single flat panel LCD monitor, or dual flat panel LCD monitors; keyboard, mouse
Temperature		20 ± 1° C (rated), 15-30° C (safe operating range)	
Power		100/240 VAC, 50/60 Hz, 1 phase, 100 W	
XY Area Accuracy (at 20°C) <sup>1,2</sup>		E <sub>x</sub> : (2.5 + 4L/1000) µm (200 Model) E <sub>y</sub> : (2.5 + 6L/1000) µm (250, 300 Models)	
Z Linear Accuracy (at 20°C) <sup>2,3,4</sup>		E <sub>z</sub> : (3.8 + 8L/1000) µm (All Models)	
Notes		1. Where L = length in mm, with evenly distributed 5 kg load in the standard measuring plane, depending on load distribution, accuracy at maximum rated load may be less than standard accuracy. XY axis artifact: 25 Intersection grid reticle in the standard measuring plane. The standard measuring plane is defined as a plane that is 25 mm above the worktable. All optical accuracy specifications at maximum zoom lens setting.   2. Z axis artifact: QVI step gage or master gage blocks.   3. E <sub>x</sub> , Z axis linear and E <sub>y</sub> , XY area accuracy standards are described in QVI Publication Number 790762.   4. E <sub>z</sub> , Z axis accuracy specifications tested with optional 2.0X add-on lens.	

Figura 4.7: scheda tecnica OGP

#### 4.4. ZEISS – Contura



Figura 4.8: Zeiss Contura

Il macchinario in questione è dotato di una struttura a portale ed è anche munito di un sistema a tastatore tradizionale. La struttura a portale gli permette di essere particolarmente rigido e robusto nonostante le dimensioni dell'apparecchio siano generose. Il principio di funzionamento è a misura di coordinate. Esso è comandabile mediante un apposito joystick. Tramite esso è possibile spostare il tastatore lungo i 3 assi X, Y, Z ed è inoltre possibile far ruotare il tastatore di oltre 90° se necessario, per raggiungere le geometrie più complesse. Il tutto è coadiuvato da un software specifico, ZEISS CALYPSO, che permette di identificare geometrie e/o punti nello spazio mediante il tastatore, analogamente a quanto spiegato per la OGP. A differenza del macchinario ottico però il tastatore ha bisogno del contatto fisico con il componente, il quale quindi deve essere ben ancorato ai supporti per non spostarsi durante l'ispezione. Infatti il tastatore applica una pressione sul componente quando necessita di identificare un punto nello spazio. A livello di spostamento del tastatore sono presenti dei motorini elettrici che si muovono su guide ad aria per ridurre al minimo gli attriti. Sempre mediante il software CALYPSO è possibile identificare delle quote e/o distanze fra punti, piani o elementi geometrici. A differenza del macchinario OGP, la CONTURA presenta solamente due logiche di funzionamento, quella automatica e quella manuale. Si è quindi scelto di utilizzare la logica automatica anche con questo macchinario. Esso è particolarmente indicato per l'acquisizione di fori, diametri o spigoli di dimensioni superiore ai 10 mm. Il tutto è dovuto al tastatore: ne sono presenti di diverse dimensioni posizionate nel magazzino portautensile, in funzione della dimensione del componente da ispezionare. Poiché la dimensione minima del tastatore ha raggio di 1.5 mm ciò significa che sarà possibile acquisire fori con almeno circa 3 mm di diametro. Tuttavia grazie al software CAPLYPSO è possibile, oltre che misurare dei fori con molta precisione, valutare e misurare la circolarità. I principali inconvenienti sono che rispetto alla OGP risulta più lenta e che non può misurare dei componenti molto piccoli. È inoltre presente un ulteriore software, chiamato PiWeb Reporting che permette oltre ad una esportazione dati in diversi formati incluso Excel. Inoltre è possibile

effettuare dei report istantanei utilizzando diversi modelli di sample presenti. Si allega una scheda tecnica del macchinario.

	<b>ZEISS VAST XT gold / ZEISS VAST XTR gold</b>	<b>ZEISS VAST XXX / ZEISS XDT</b>
Intervallo di misurazione X/Y/Z	Errore di misurazione della lunghezza E0 in $\mu\text{m}$	Errore di misurazione della lunghezza E0 in $\mu\text{m}$
7/7/6 - 7/10/6	1.5 + L/350	1.7 + L/350
9/12/8 - 9/16/8	1.6 + L/350	1.8 + L/350
10/12/6 - 10/16/6	1.7 + L/350	1.8 + L/350
12/18/10 - 12/24/10	2.1 + L/350	2.2 + L/350

**Figura 4.9: scheda tecnica Zeiss Contura**

## 5. Fabbricazione additiva - Stampanti 3D

Si tratta di una tecnologia innovativa che rende possibile la produzione di oggetti di geometria complessa, in poche e senza l'uso di utensili, partendo direttamente dal modello matematico dell'oggetto realizzato su un sistema CAD 3D. Risulta quindi fondamentale avere a disposizione un software CAD per creare il modello del componente. Per essere prodotto il pezzo dovrà seguire il seguente flow chart:



Figura 5.1: Flow Chart stampa 3D

Segue una spiegazione step by step di ogni fase di questo percorso.

- CAD 3D : si inizia con il creare un modello 3D del componente da voler produrre. È possibile utilizzare diversi software commerciali come CATIA o SolidWorks.
- File STL: il formato .STL (Standard Triangulation Language) è lo standard per quanto riguarda la fabbricazione additiva. Viene creato convertendo il modello CAD in uno di tipo Shell (guscio) in cui la superficie esterna è approssimata attraverso triangoli di diverse dimensioni (a seconda della risoluzione richiesta) in modo da seguire il profilo del modello.

- Supporti: Per alcune geometrie particolari, come quella in Figura 5.2 è necessaria la creazione di supporti per sorreggere eventuali elementi a sbalzo.

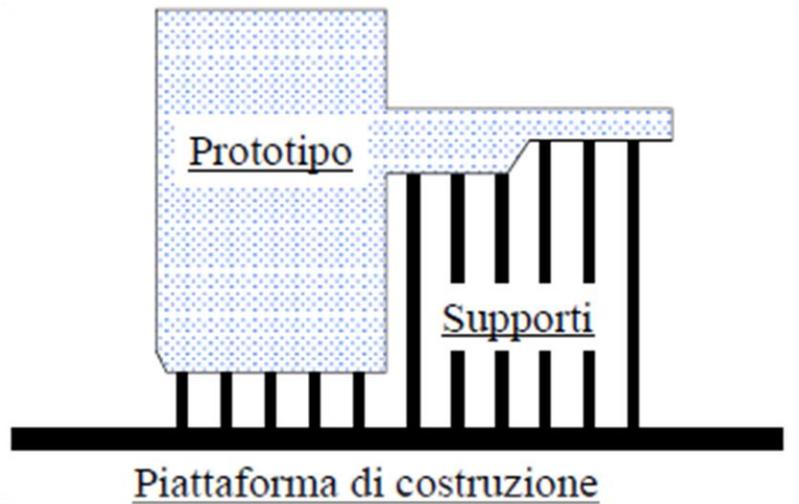


Figura 5.2: Rappresentazione prototipo e supporti

- Slicing: Consiste nell'intersezione del modello .STL con piani paralleli aventi normale parallela all'asse Z e distanti una quota  $\Delta Z$ . Consiste fondamentalmente della divisione in strati o fette dell'oggetto in produzione. Esso è necessario poiché indipendentemente dalla tecnologia di fabbricazione utilizzata le stampanti 3D stampano il componente a strati. Esso può essere di due tipologie, costante o adattativo come in Figura 5.3

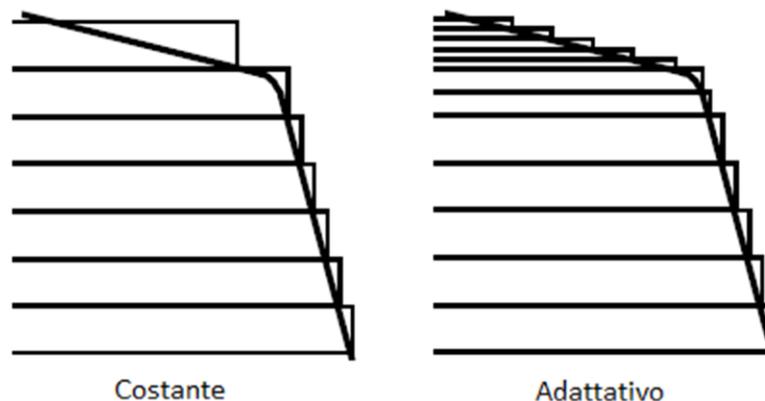


Figura 5.3: Slicing

- Sezioni: Il software dopo aver definito le sezioni si concentra sulla struttura interna del pezzo. Esso infatti non è pieno ma è composto da una struttura reticolare che rende il componente ugualmente rigido e resistente ma più leggero. Qui possono essere gestiti diversi parametri scegliendo mediante software quanto robusto rendere il reticolo interno, in modo da reggere delle eventuali sollecitazioni.
- Finitura: Dopo la produzione del componente è necessaria una finitura manuale.

La fabbricazione additiva quindi porta con se numerosi vantaggi e svantaggi sia per quanto riguarda il processo che il prodotto, mostrati in Tabella 1.

Vantaggi		Svantaggi	
Prodotto	Processo	Prodotto	Processo
Libertà di progettazione	Una sola macchina, forme illimitate	Necessità di strutture di supporto	Volumi di lavoro limitati
Strutture leggere	Assenza di attrezzature	Finitura superficiale scarsa	Dimensione del pezzo limitato dalle dimensioni della macchina
Parti integrate	Assenza dispositivi di bloccaggio	Numero limitato di materiali commerciali	Velocità di costruzione limitate
Design ergonomico	Sottosquadri ammessi	Costo dei materiali	Ogni macchinario può lavorare con un numero limitato di materiali
Personalizzazione	Un solo step produttivo		
	Intervento dell'operatore minimo		
	Tempi e costi legati alle dimensioni e non alla complessità		

Tabella 1: vantaggi e svantaggi della fabbricazione additiva

## 5.1. Tecniche di Fabbricazione Additiva

La fabbricazione additiva è disponibile con diverse tecniche di produzione, le quali sono indicate in Figura 5.4.

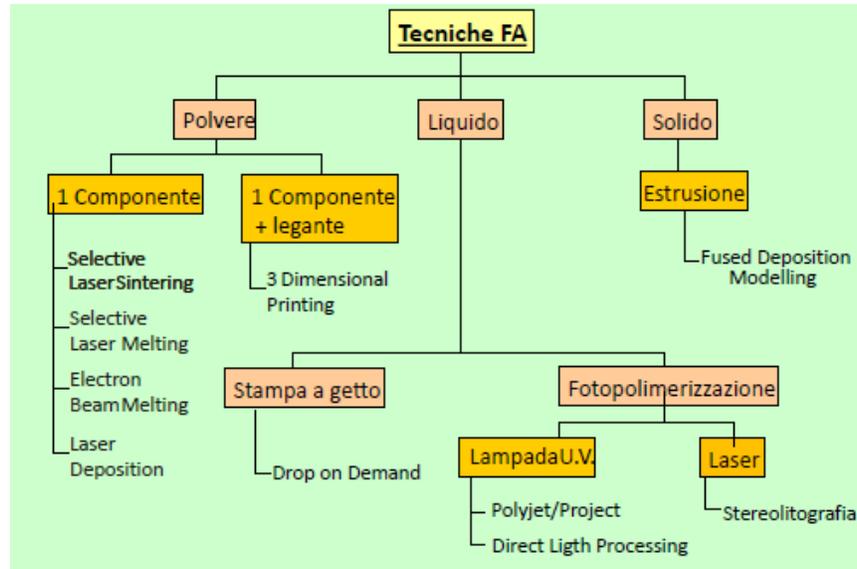


Figura 5.4: Tecniche di Fabbricazione Additiva

Verrà illustrata quindi la tecnica utilizzata in azienda ovvero la Fused Deposition Modelling FDM.

## 5.2. Tecnica FDM

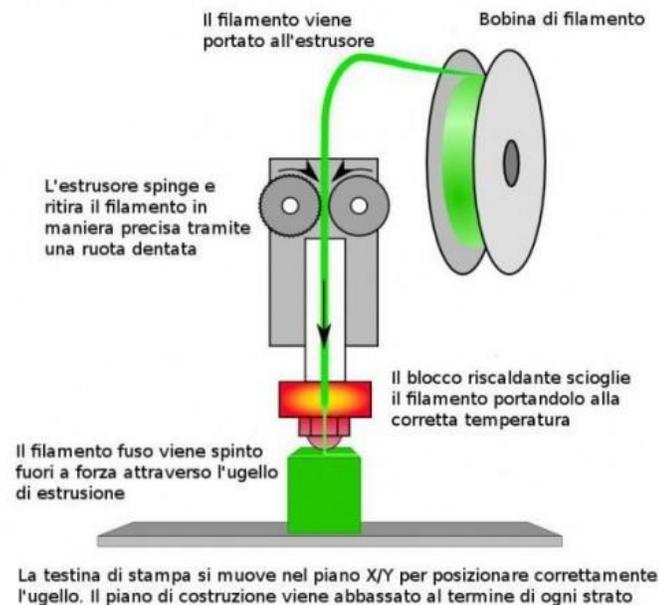


Figura 5.5: tecnica FDM

Essa consiste nella deposizione mediante estrusione di un filamento di materiale termoplastico su una piattaforma di lavoro. La testina quindi si muove via via sul piano di lavoro per formare il componente strato per strato. Come precedentemente descritto mediante software è possibile selezionare diversi parametri di fabbricazione come anche la temperatura di estrusione fuori dall'ugello della testina. Questa tecnologia necessita tuttavia di supporti, i quali verranno poi asportati meccanicamente. A livello di materiali utilizzabili sono disponibili tutti termoplastici, in particolare ABS e PMA. Entrambi vengono forniti ed utilizzati in bobine, sono disponibili in diversi colori. In generale questo tipo di tecnologia viene adoperata per la Prototipazione funzionale, Produzione di parti definitive e produzione di stampi di preserie. Nel caso studio sono state utilizzate per la prototipazione funzionale, creando i portapezzo che verranno descritti in un altro capitolo. L'FDM porta con sé vantaggi e svantaggi, riportati in Tabella 2.

Vantaggi	Svantaggi
Buone prestazioni in termini di tolleranze dimensionali e rugosità superficiali	Necessità della rimozione dei supporti
Materiali termoplastici definitivi	Impossibilità di sfruttare l'intero piano di lavoro
Assenza di post-trattamento	
Assenza di vincoli per l'installazione	

**Tabella 2: vantaggi e svantaggi tecniche FDM**

In azienda è presente una stampante 3D, una Ultimaker 2, stampante desktop a filamento. Ha una risoluzione di 0.02 mm ed ha un volume di lavoro di 223x223x305 mm quindi di 0.015 m<sup>3</sup>. È inoltre dotata di un piatto riscaldato per ottenere una migliore finitura superficiale su di esso. Infine, per evitare che i vapori della plastica in stampaggio risultino fastidiosi, si è posta la stampante all'interno di una cappa di aspirazione.



**Figura 5.6: Ultimaker 2 con cappa d'aspirazione**

## 6. Prodotti studiati

Si elencano di seguito i prodotti che sono stati studiati durante il lavoro di tesi.

### 6.1. HSS

Il primo componente su cui si è eseguito lo studio è l'HSS che sta per Height Suspension Sensor ovvero Sensore di Altezza Sospensione. Esso è ancora in stadio prototipale e viene utilizzato per la regolazione dell'assetto fari e dell'assetto della vettura stessa se dotata di sospensioni elettroniche. È formato dai seguenti componenti :

- Corpo
- Leva
- Connettore
- Boccia
- Magnete
- Boccia metallica
- Sensore
- X-ring



Figura 6.1: connettore HSS



Figura 6.2: corpo HSS



Figura 6.3: boccia HSS

Il principio di funzionamento è il seguente: la leva viene montata sulla sospensione mentre il corpo viene fissato sullo chassis della vettura. Il sensore ha un funzionamento di tipo potenziometrico: in funzione della posizione e rotazione del magnete rispetto all'elettronica del sensore si ha una tensione proporzionale alla posizione angolare. Questa tensione è letta dalla centralina del veicolo. Sono quindi cruciali i dimensionali per quanto riguarda la rotazione della leva e la forma di tale accoppiamento tra leva, boccola e corpo. Il componente è costituito principalmente da materiale plastico ottenuto tramite stampaggio, se si escludono magnete, X-ring e la boccola metallica. In particolare si sono effettuati controlli approfonditi sul connettore che viene acquistato da terzi e sul corpo, il quale invece viene stampato in sede.

## 6.2. BLSS

L'altro componente studio è il Brake Lighting Switch Sensor ovvero il sensore accensione luci freno. Esso è composto dai seguenti elementi:

- Magnete
- Pistone
- Corpo
- Connettore
- PCB (scheda elettronica)
- Molle



**Figura 6.4: Pistone BLSS**

Il principio di funzionamento è il seguente: il componente viene montato posteriormente alla pedaliera, in particolare in prossimità del pedale del freno. Quando quest'ultimo viene premuto spinge il pistoncino che dopo una determinata corsa attiva un segnale elettrico che viene mandato alle luci posteriori e alla

centralina per la gestione del sistema Start&Stop. Quest'ultimo funziona nella seguente maniera: quando la vettura è ferma, con il pedale del freno premuto e la marcia in folle (se la vettura è dotata di cambio manuale) oppure se è ferma se la vettura è dotata di cambio automatico, il motore viene spento. Finchè non si rilascia il pedale del freno (trasmissione automatica) o si preme la frizione (trasmissione manuale), viene effettuato l'avviamento del motore e si può procedere con la marcia del veicolo. Di tale dispositivo sono ormai dotate quasi tutte le vetture in commercio poichè a ciclo omologativo risulta (soprattutto con il ciclo NEDC) un importante "abbattitore" di emissioni di CO<sub>2</sub> ed inquinanti.

Lo scopo del lavoro di tesi è stato quello di creare un supporto ed una procedura che permetta la verifica dei dimensionali considerati importanti e di sicurezza, denominati "Quote +" come mostrato in Figura 6.5.

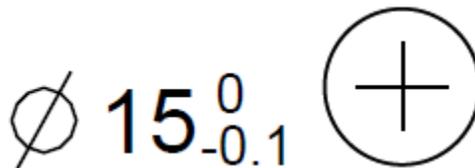


Figura 6.5: quota +

Dopo una prima analisi di massima dei macchinari a disposizione precedentemente descritti si è arrivati alla soluzione di creare due tipologie di supporti:

- Una cornice metallica fissa, la quale sarà montata tramite viti sui piatti di lavoro dei vari macchinari ed avrà una forma fissa che verrà illustrata in seguito. Su tale cornice saranno presenti diverse tipologie di fori; inoltre è stata studiata in modo tale da poter essere montata su tutti i macchinari a disposizione.
- Dei portapezzo in PLA ottenuti attraverso Rapid Prototyping mediante stampante 3D, i quali avranno una geometria tale da accoppiarsi in maniera univoca alla cornice seguendo la teoria del Poka-Yoke.

Seguirà un'analisi più dettagliata dei vari step con i quali si è sviluppata tutta l'attività.

## 7. Creazione dei supporti fisici

L'obiettivo è stato quello di creare una serie di supporti fisici ed una procedura che permetta l'utilizzo dei macchinari di misura sia a personale qualificato sia a personale di linea, meno qualificato. Prima di tutto si è quindi pensato a come realizzare tale supporto. L'idea che si è decisa di perseguire comporta la realizzazione di due macro-componenti: una cornice fissa e una serie di portapezzi, uno per ogni codice componente da ispezionare.

### 7.1. Cornice

È un elemento fisso, il quale fornirà al portapezzo il corretto posizionamento sul macchinario di misura. In quanto fisso e comune a tutte le basette essa dovrà essere costituita da un materiale resistente poco deformabile. Come primo prototipo si è scelto di utilizzare l'alluminio per la sua leggerezza di movimentazione. Come prima idea si è deciso di utilizzare un sistema di posizionamento pezzo mediante una spina e delle viti. Per la realizzazione del prototipo si sono prese le dimensioni della tavola portapezzo della OGP in primis e si è disegnato sul software CAD il componente. Successivamente si è portato il disegno in attrezzeria per poterlo realizzare. In Figura 7.1 si mostra una foto del primo prototipo.

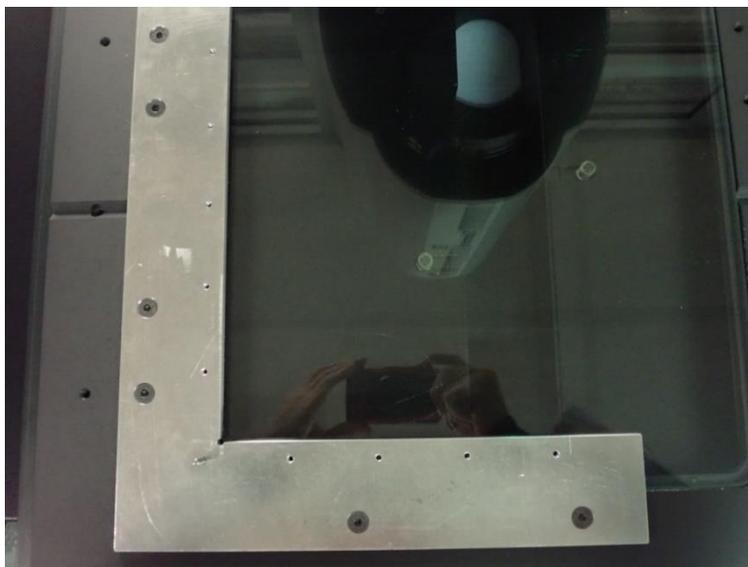
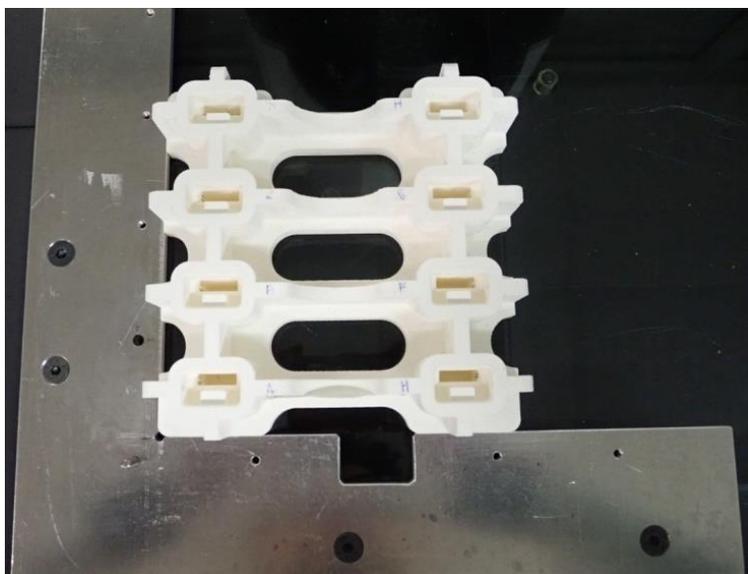
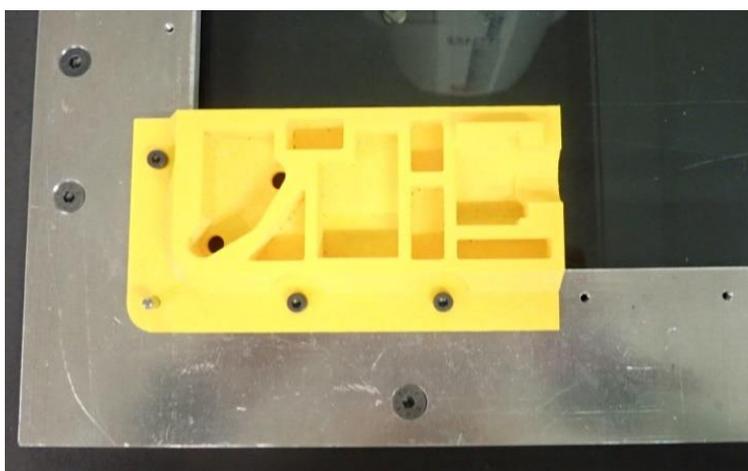


Figura 7.1: Primo prototipo cornice

Sono presenti una serie di fori. Quelli più esterni  $\varnothing 6$  sono svasati, ne sono presenti 6 che servono per il fissaggio sulla OGP, mentre la serie di fori M4 più piccoli, filettati, servono al fissaggio del portapezzo alla cornice. Inoltre poiché realizzata a macchina i bordi hanno una rugosità molto piccola che permette di usarli all'occorrenza come superfici di appoggio. Infatti prima di utilizzare tale supporto erano già presenti in azienda dei portapezzi, per cui si è cercato un modo di poterli utilizzare. Essi potranno essere adoperati posizionandoli a battuta sui lati della L. In seguito si allegano delle foto dei possibili posizionamenti dei portapezzo sulla cornice.



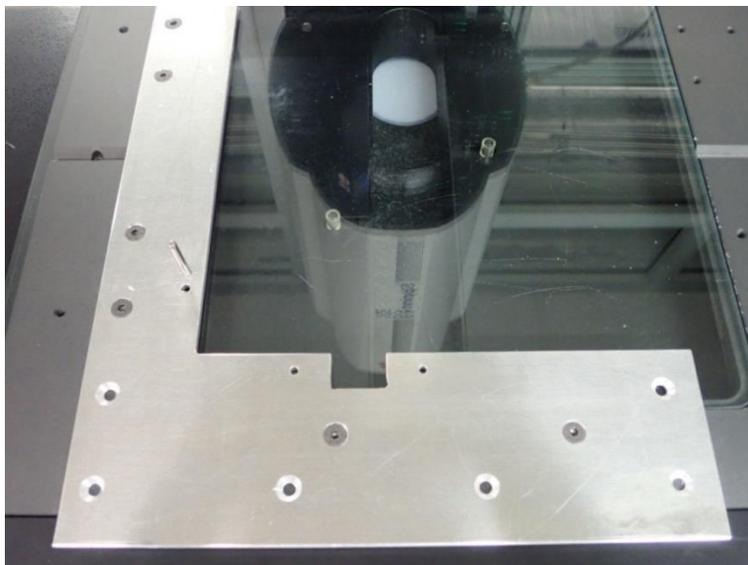
**Figura 7.2: portapezzo appoggiato sulla cornice**



**Figura 7.3: portapezzo fissato su cornice**

Purtroppo con l'utilizzo e l'esperienza si sono palesate diverse criticità. Innanzitutto il pezzo viene montato a sbalzo, ciò può creare un problema se la superficie del portapezzo non è perfettamente piatta ed anche se il pezzo fosse dotato di una massa considerevole. In questo caso si potrebbero generare delle deformazioni che altererebbero la misura. Inoltre il fissaggio mediante viti, per quanto preciso risulta non sempre perfettamente riproducibile e inoltre macchinoso.

Si è quindi pensato ad un modo di posizionamento alternativo. Si sono quindi seguiti i principi del Poka-Yoke. Invece che utilizzare un centraggio spina+viti si è deciso di usare sempre una spina, posta in posizione diversa e un profilo sagomato. Quest'ultimo si accoppierà con una controparte presente sul portapezzo. Per garantire un centraggio univoco pure il portapezzo sarà dotato di una spina. Si utilizzerà quindi una piastrina forata per centrare il tutto come mostrato in Figura 7.5.



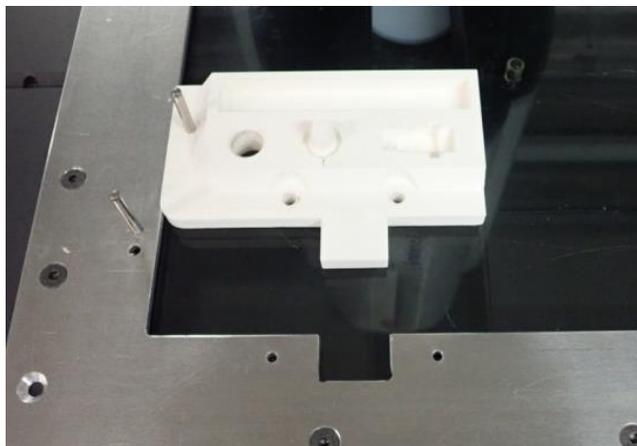
**Figura 7.4: cornice versione definitiva**



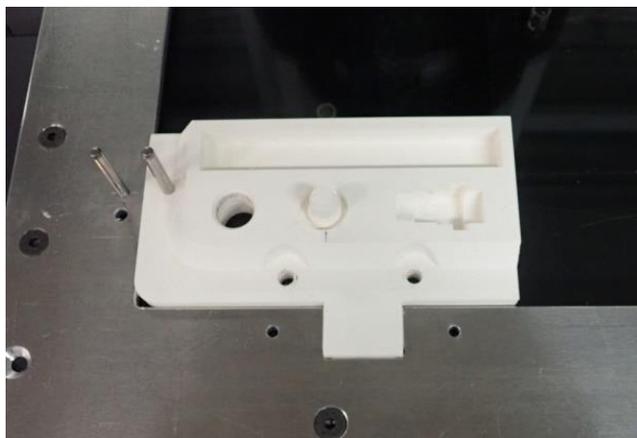
**Figura 7.5: piastrina forata**

La procedura di montaggio è la seguente:

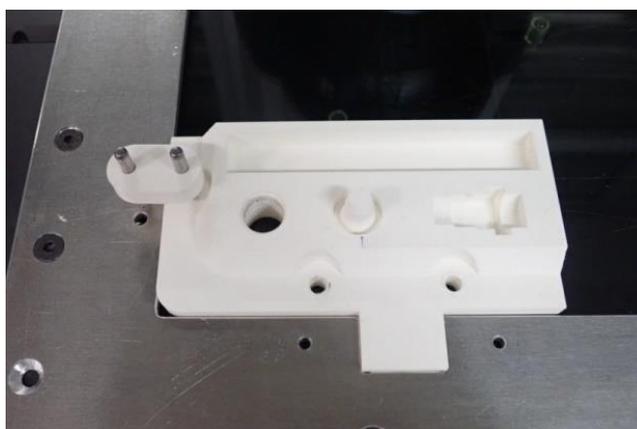
- Prendere il portapezzo e posizionarlo sul piano di vetro come in Figura 7.6
- Spostare il portapezzo facendo combaciare il profilo sagomato con il corrispettivo sulla cornice, arrivando fino a fondo corsa, come in Figura 7.7
- Poi successivamente prendere la piastrina forata e far combaciare i due fori con le corrispettive spine, come in Figura 7.8.



**Figura 7.6: montaggio step 1**



**Figura 7.7: montaggio step 2**



**Figura 7.8: montaggio step 3**

Inoltre su questa tipologia di cornice si è anche preso in considerazione il fatto che abbia una compatibilità trasversale ovvero che possa essere montato su più macchinari. Per cui sono state fatte delle

modifiche per quanto riguarda il numero ed il posizionamento dei fori oltre che un cambio delle dimensioni di ingombro.

## 7.2. Portapezzi

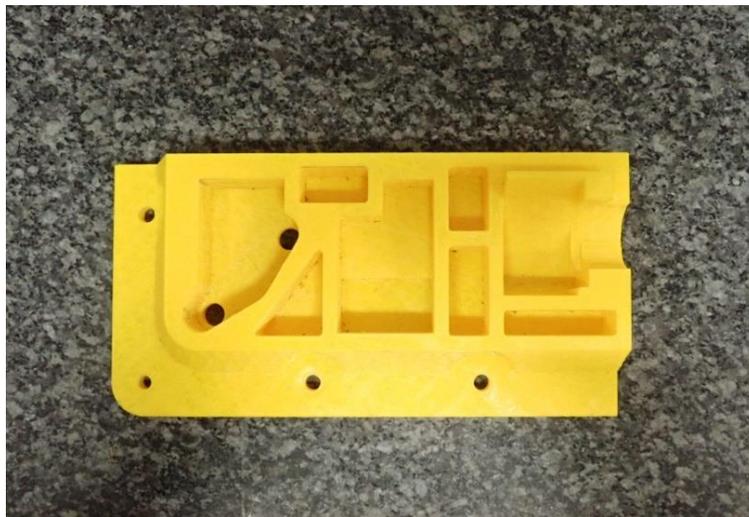
Per quanto riguarda i portapezzo, ci sono diverse caratteristiche da tenere in considerazione. Esso deve essere costituito da un materiale più duro e resistente all'abrasione rispetto a quello dei componenti oggetto di misura poiché verrà utilizzato per più misurazioni. Un'altra criticità è la rapidità di realizzazione. Poiché spesso si ha a che fare con componenti di tipo prototipale o componenti soggetti a delle modifiche dimensionali è necessaria una certa celerità e flessibilità nella progettazione e realizzazione del portapezzo. Poiché l'attività svolta è stata di supporto allo sviluppo prodotto si è optato per la creazione mediante rapid prototyping adoperando la stampante 3D disponibile in azienda. Questo tipo di soluzione è rapida ed economica. Segue una rapida spiegazione della procedura di realizzazione dei portapezzo:

- Si esegue tramite software CAD un disegno 3D del portapezzo
- Mediante un software apposito, CREO, si crea il file .STL quello che verrà processato dal macchinario. Qui oltre che la creazione dei supporti necessari per eventuali sottosquadri è possibile decidere diversi parametri di stampaggio che cambieranno le caratteristiche meccaniche dell'oggetto finale.
- Una volta creato tale file si esporta su una scheda SD e lo si carica sulla macchina avviando la procedura di stampaggio.
- A pezzo ultimato, vengono effettuate manualmente o a macchina utensile le rifiniture se necessarie.

Purtroppo tale processo non è esente da difetti. Innanzitutto la precisione della stampante è dell'ordine dei decimi di millimetro. Tale caratteristica può diventare critica qualora si debbano verificare componenti molto piccoli o con delle forme molto particolari. Il materiale utilizzato è PLA: questa plastica è molto versatile e di semplice utilizzo, tuttavia le bobine di filo possono aver subito un'esposizione marcata o meno ad elementi come l'acqua sotto forma di umidità. Quest'ultima è importante nel fenomeno del ritiro. Dopo la stampata la plastica raffredda e in funzione dell'umidità presente nella sala (che si presuppone costante in quanto ambiente chiuso e climatizzato) e presente al momento del deposito della plastica. Se essa è più o meno presente comporta ritiri più o meno marcati che quindi alterano i dimensionali finali del componente. Da queste criticità nasce la necessità di dover effettuare delle rifiniture al pezzo stampato. A livello concettuale si era inizialmente pensato al portapezzo come un contenitore che potesse ospitare le N figure di un componente, tutte con il medesimo alloggiamento ma quindi replicato nello spazio. Questa soluzione permetteva di ridurre parecchio le tempistiche di misura, tuttavia i rilevamenti si portavano dietro un errore dovuto al posizionamento del pezzo sull'alloggiamento. Infatti mediante uno studio R&R, che verrà trattato in un altro capitolo, si è visto come la stampante non fosse in grado di stampare gli alloggiamenti sufficientemente uguali fra loro per non identificare un errore sistematico. Si è quindi preso in considerazione di cambiare metodo di creazione del portapezzo usando, anziché la Stampante 3D, macchine utensili su blocchi di Acetalica o metallo. Per quanto riguarda l'acetalica sarebbe stato possibile crearli in stabilimento per componenti relativamente semplici come forma, tuttavia il materiale mostrava la seguente criticità: è un termoplastico con temperature di fusione basse, dovendo quindi ricavare un componente da un pieno, ci si sarebbe potuti imbattere in porzioni di componente che si sarebbero fuse e/o deformate se in zone limitrofe alla

zona di taglio. Per tale motivo si è scartata questa ipotesi. L'altra ipotesi considerata era quella di commissionare all'esterno la creazione di un portapezzo in materiale metallico. Esso avrebbe garantito precisioni molto elevate e una resistenza eccellenti. I due principali problemi individuati erano costo e tempistiche di realizzazione. Per cui si è deciso di continuare a procedere alle misurazioni mediante Stampa 3D ma cambiando il concetto dietro al Portapezzo.

Invece di creare una basetta con più cavità, una per figura, si è scelto di crearne una con più alloggiamenti in cui ognuno permetteva di posizionare il componente in un modo diverso, così da poter eseguire tutti i rilevamenti di quote importanti mediante il medesimo portapezzo. Così facendo anche se fosse presente un errore relativo al posizionamento del componente tutti i campioni ne sarebbero affetti, rendendo la misura trasparente al problema da quel punto di vista. In accordo con quanto descritto per la cornice, come prima opzione si era scelto di eseguire un portapezzo con dei fori adibiti al posizionamento di viti e spine. In particolare una spina  $\varnothing 4$  e almeno 3 fori per delle viti M5 (potevano essere di più se il portapezzo avesse avuto dimensioni particolarmente generose). Tale montaggio risultava a sbalzo a causa del fatto che la stampante 3D non fosse in grado di generare sottosquadri con superfici lisce per permettere l'allineamento.

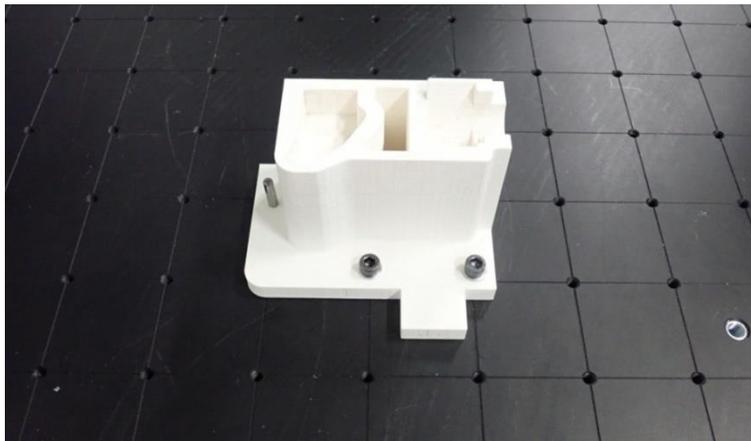


**Figura 7.9: portapezzo prima versione**

Come detto in precedenza ciò poteva portare ad errori, per cui si è deciso di cambiare approccio. Si sono mantenuti dei fori  $\varnothing 6$  sul portapezzo ma servono semplicemente per il fissaggio sulla Zeiss Contura. L'altro foro presente  $\varnothing 5$  serve per il fissaggio ad interferenza di una spina. Il posizionamento sulla cornice avviene mediante profilo sagomato come mostrato in Figura 7.10.



**Figura 7.10: portapezzo seconda versione, profilo sagomato**



**Figura 7.11: portapezzo seconda versione fissato su Zeiss Contura**

In Figura 7.12 e Figura 7.13 è invece possibile notare il posizionamento dei campioni nelle varie posizioni.



**Figura 7.12: campione su portapezzo in posizione 1**



**Figura 7.13: campione su portapezzo in posizione 2**

Come precedentemente descritto sempre mediante la Stampante 3D si è prodotta pure una Piastrina per permettere il corretto centraggio del portapezzo.

## 8. Fasi operative: analisi e sviluppo

Di seguito, viene illustrato come si è operato per i singoli componenti considerati, per quanto riguarda la fase di misurazione e di analisi ed elaborazione dati.

### 8.1. Connettore HSS

Come primo componente si è deciso di effettuare l'analisi sul connettore dell'HSS. È un componente con un impiego statico, il suo compito è di ricevere un segnale da parte di un magnete rotante e "trasferirlo" all'elettronica presente nel sensore che permetterà la lettura ed interpretazione dello stesso. Tale connettore non viene prodotto all'interno dello stabilimento ma acquistato da un fornitore, che lo produce secondo le specifiche Bitron. Poiché in stadio prototipale, il pezzo è stato disponibile in quantità limitate, ma con supporto da parte del produttore terzo. È costituito da una struttura di polimero plastico, PBT rinforzato con fibra di vetro, con all'interno dei connettori metallici, i faston, che servono per il passaggio della corrente. In particolare si è posta l'attenzione sulle quote cosiddette importanti, le quote +, che per regolamento aziendale sono quelle più importanti per il corretto accoppiamento e/o funzionamento del componente. Come macchinario per il rilevamento delle quote si è optato per l'OGP, a causa della geometria e delle dimensioni, ridotte, del componente. In azienda era già presente un portapezzo che è stato utilizzato per le misurazioni, in accompagnamento con la cornice metallica. Come primo tentativo si sono eseguite le misurazioni col seguente portapezzo ponendo un pezzo per ogni cavità, figure stampo da A ad H, come indicato all'interno del connettore. Come numerosità della popolazione, col fine di ottenere una statistica robusta e strutturata, si sono misurati 104 connettori, 13 per figura.



Figura 8.1: portapezzo connettore HSS



Figura 8.2: portapezzo connettore HSS con 8 connettori

Successivamente si è creata la routine con il software Measure-X fornito assieme all'OGP, per rendere tutto il processo automatizzato a meno del carico scarico dei pezzi dalle cavità. Sono state eseguite le misurazioni su oltre un centinaio di pezzi per ottenere quindi delle capability robuste ed attendibili, per quanto riguarda il lotto misurato. Esse sono state eseguite da un singolo operatore, per avere, per quanto possibile, un errore stabile ed uniforme. A livello statistico, poiché il componente veniva fornito in vassoi, è stato eseguito un campionamento di tipo sistematico. Una volta effettuate tutte le misurazioni sono state esportate mediante il software QC-CALC in formato Excel: i dati sono stati poi analizzati in ambiente statistico Minitab. Come prima analisi si è scelto di effettuare delle capability per ogni quota rilevata. Dopo un'analisi complessiva di tutte le quote importanti si è scelto di concentrarsi sulle seguenti: Dim 2, 4, 6, 8, 9, 17.

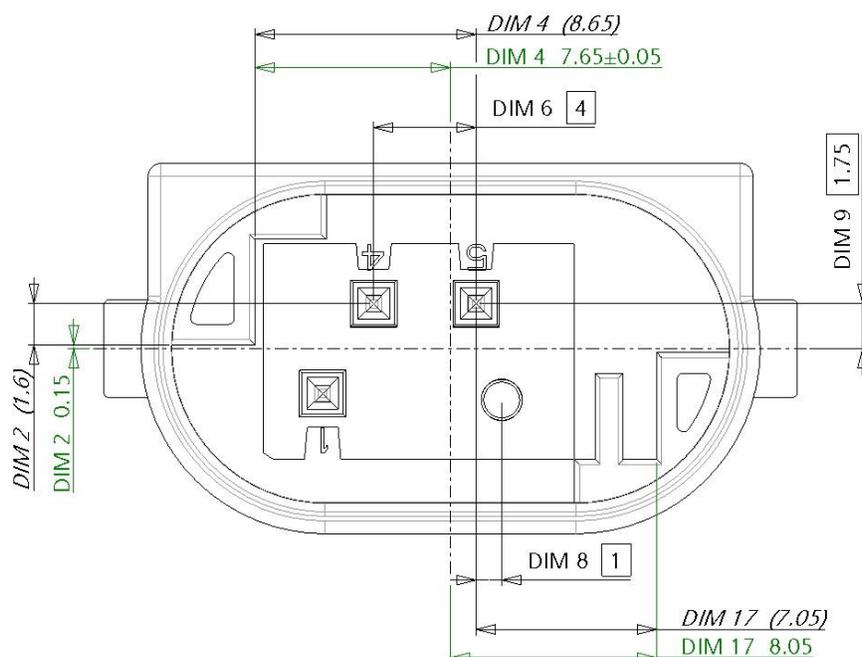


Figura 8.3: quote considerate del connettore

Come risultato della seguente analisi si può osservare Figura 8.4.

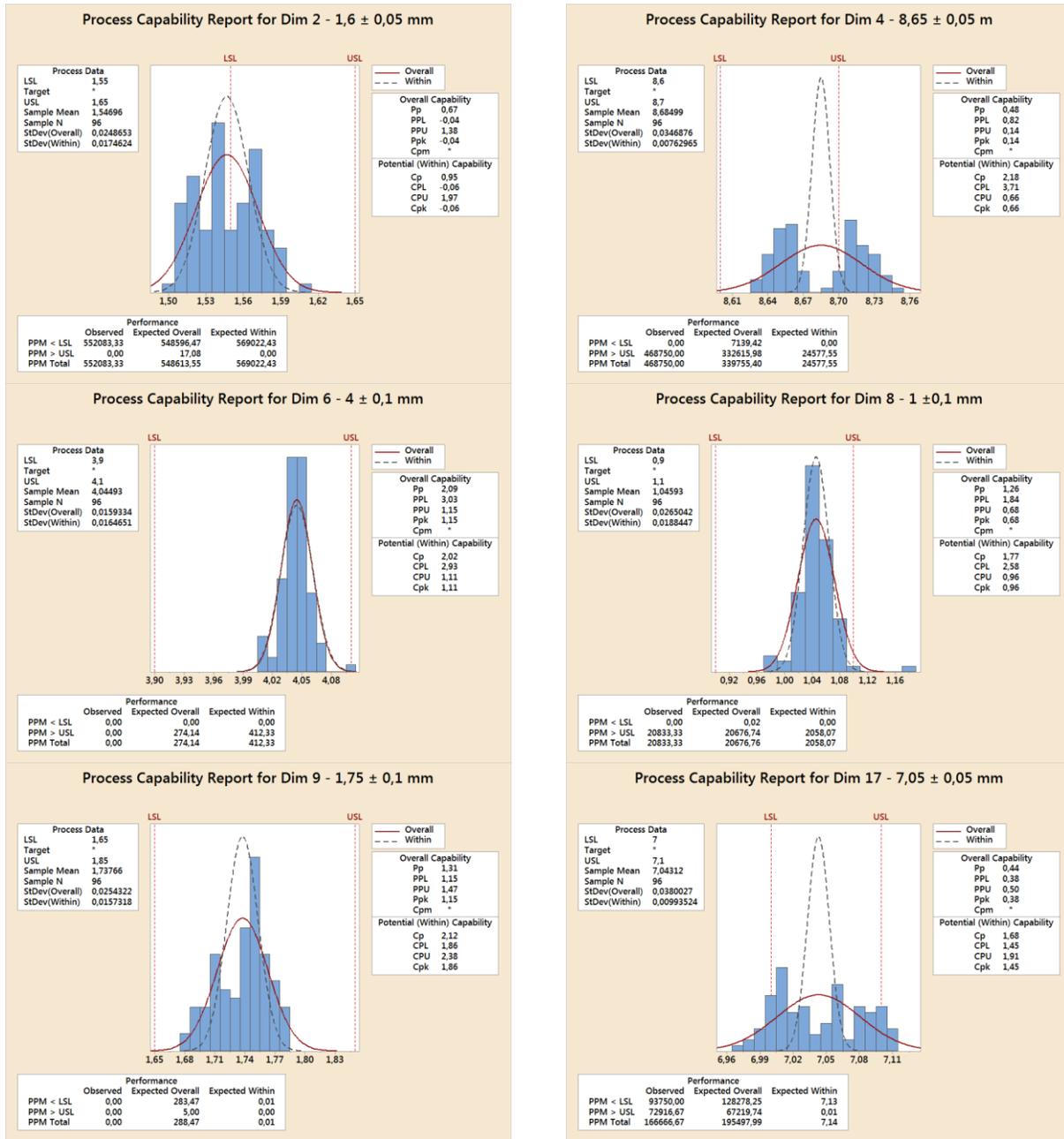
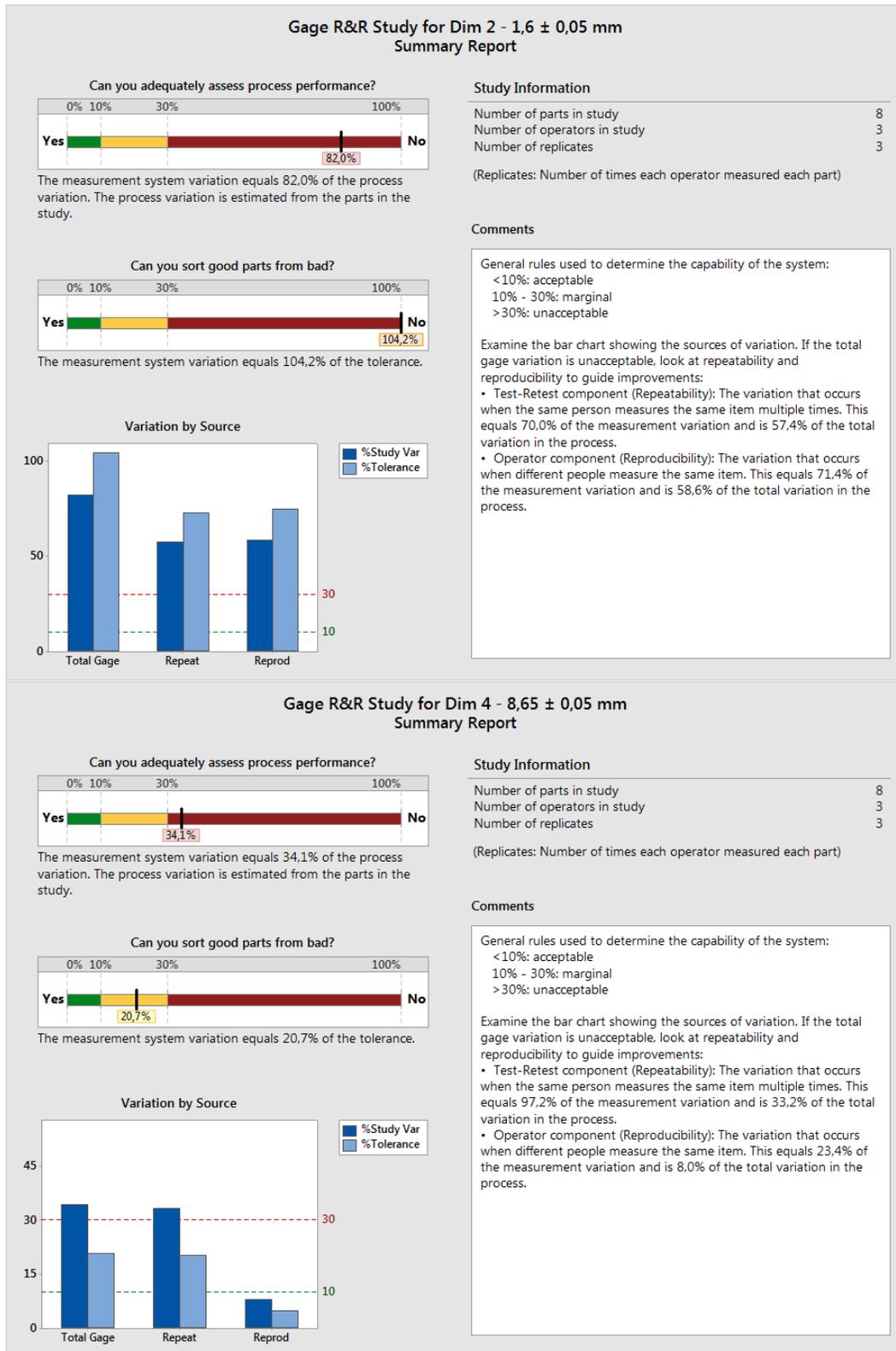


Figura 8.4: capability connettore 8 posizioni

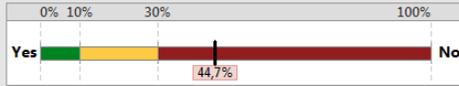
Tali capability risultano avere un Cp ed un Cpk insufficienti per la messa in produzione del componente, in particolare le distribuzioni hanno un Cp basso, per cui si presentano molto allargate, indice di una forte variabilità. Successivamente quindi si sono formulate diverse ipotesi a riguardo e si è deciso di procedere con uno studio R&R, che è una tipologia di investigazione che permette, mediante opportuni grafici e coefficienti, di capire se e come una determinata misura sia influenzata dalle condizioni in cui la misura

stessa viene eseguita. Nel caso specifico, si è svolta tale analisi per capire se esisteva una variabilità legata agli operatori o al portapezzo.



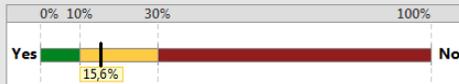
### Gage R&R Study for Dim 6 - $4 \pm 0,1$ mm Summary Report

Can you adequately assess process performance?



The measurement system variation equals 44.7% of the process variation. The process variation is estimated from the parts in the study.

Can you sort good parts from bad?



The measurement system variation equals 15.6% of the tolerance.

Variation by Source



#### Study Information

Number of parts in study	8
Number of operators in study	3
Number of replicates	3

(Replicates: Number of times each operator measured each part)

#### Comments

General rules used to determine the capability of the system:

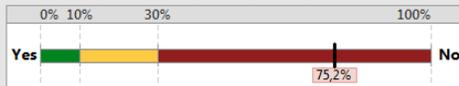
- <10%: acceptable
- 10% - 30%: marginal
- >30%: unacceptable

Examine the bar chart showing the sources of variation. If the total gage variation is unacceptable, look at repeatability and reproducibility to guide improvements:

- Test-Retest component (Repeatability): The variation that occurs when the same person measures the same item multiple times. This equals 92.5% of the measurement variation and is 41.3% of the total variation in the process.
- Operator component (Reproducibility): The variation that occurs when different people measure the same item. This equals 38.1% of the measurement variation and is 17.0% of the total variation in the process.

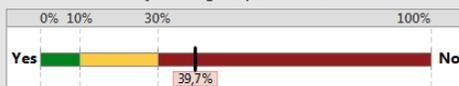
### Gage R&R Study for Dim 8 - $1 \pm 0,1$ mm Summary Report

Can you adequately assess process performance?



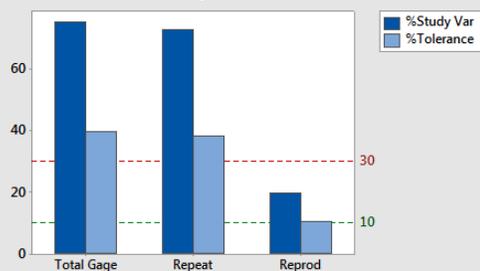
The measurement system variation equals 75.2% of the process variation. The process variation is estimated from the parts in the study.

Can you sort good parts from bad?



The measurement system variation equals 39.7% of the tolerance.

Variation by Source



#### Study Information

Number of parts in study	8
Number of operators in study	3
Number of replicates	3

(Replicates: Number of times each operator measured each part)

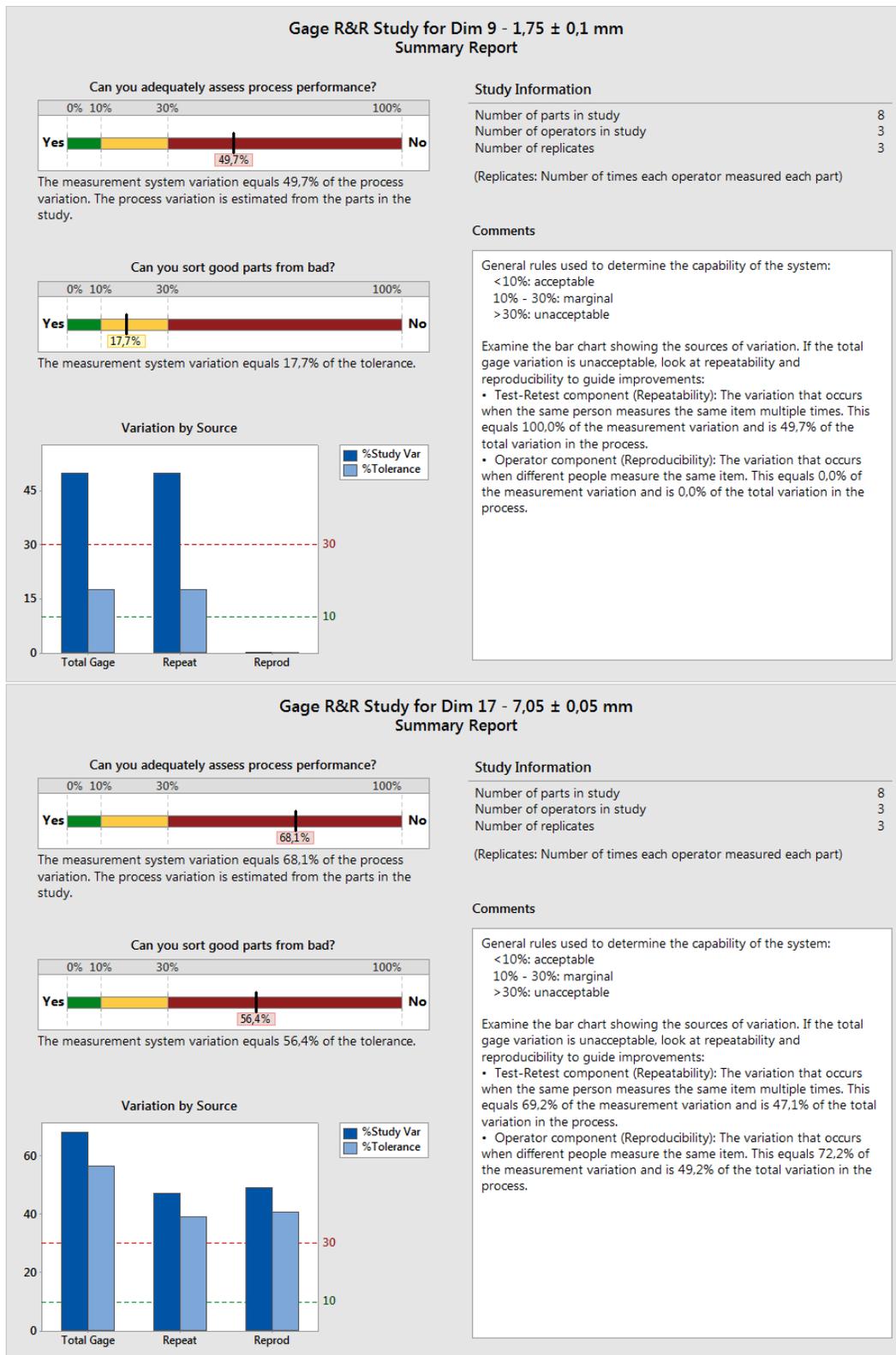
#### Comments

General rules used to determine the capability of the system:

- <10%: acceptable
- 10% - 30%: marginal
- >30%: unacceptable

Examine the bar chart showing the sources of variation. If the total gage variation is unacceptable, look at repeatability and reproducibility to guide improvements:

- Test-Retest component (Repeatability): The variation that occurs when the same person measures the same item multiple times. This equals 96.5% of the measurement variation and is 72.6% of the total variation in the process.
- Operator component (Reproducibility): The variation that occurs when different people measure the same item. This equals 26.2% of the measurement variation and is 19.7% of the total variation in the process.



**Figura 8.5: gage R&R connettore**

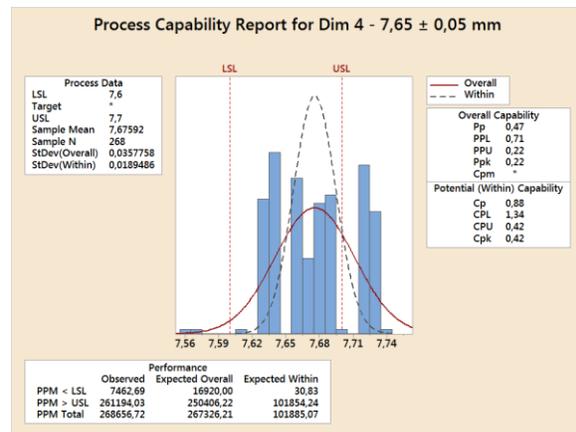
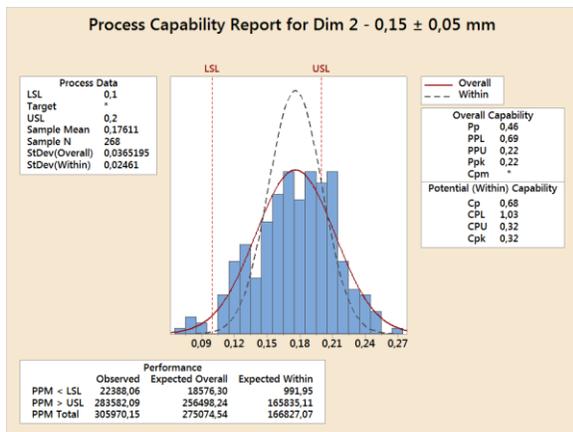
Come risultato di Figura 8.5 si è ottenuto che la misurazione risultava sia dipendente dall'operatore sia dal fatto che si utilizzassero più sedi portapezzo. Tale affermazione è evidenziata dal fatto che la prima

barra di ogni R&R mostra che è presente moltissima variabilità, dovuta ad una bassa ripetibilità. Questa affermazione implica che sia portapezzo che operatori sono determinanti nel processo di misura. Per ovviare a quest'ultimo inconveniente si è deciso di utilizzare invece che le 8 sedi presenti solamente una, comune per tutte le figure come illustrato in Figura 8.6. Il vero inconveniente di questa scelta è stato il tempo impiegato, che risultava almeno 8 volte superiore a quello impiegato in precedenza.



Figura 8.6: portapezzo connettore HSS con un connettore

Inoltre si è deciso di eseguire una “scomposizione” delle quote. Come si può notare in Figura 8.3, alcune quote risultano riquadrate. Rappresentano quote costruttive ovvero che permettono di costruire il pezzo. Infatti molte quote sono state create attorno a tali quote costruttive. Come si nota sempre in Figura 8.3 le quote costruttive si riferiscono o agli assi di simmetria del pezzo o al faston 5. Quindi la scomposizione delle quote è avvenuta dividendole in “quota costruttiva”+”distanza”. Come esempio si consideri la Dim 4 –  $8,65 \pm 0,30$  mm. È stata scomposta in due quote:  $1 \pm 0,25$  mm costruttiva e  $7,65 \pm 0,05$  mm distanza. Per rendere ancora più robusta e strutturata la statistica si è deciso di aumentare la numerosità della popolazione, analizzando 30 campioni per ogni figura da A ad H del componente. Dopo aver quindi modificato la routine, aver effettuato i rilevamenti, averli esportati e successivamente analizzati sempre con Minitab, si sono ottenute le capability di Figura 8.7:



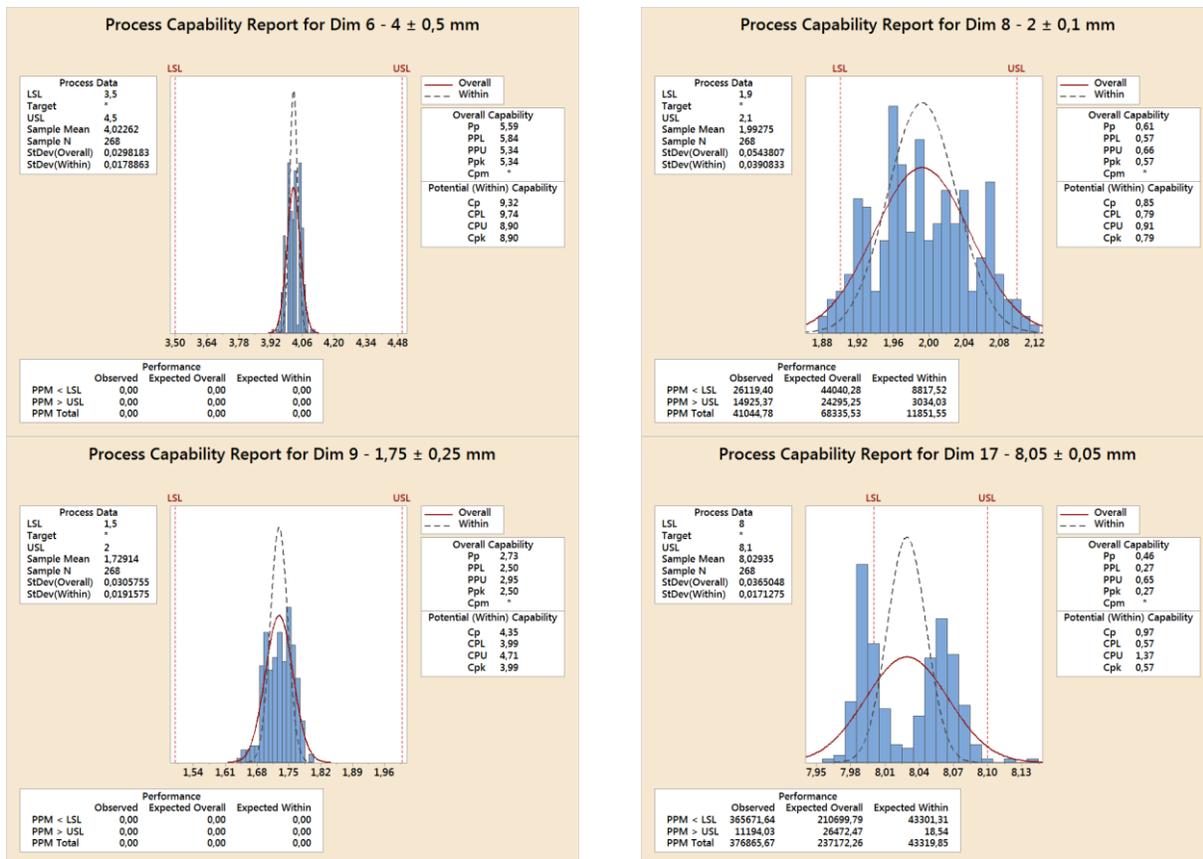
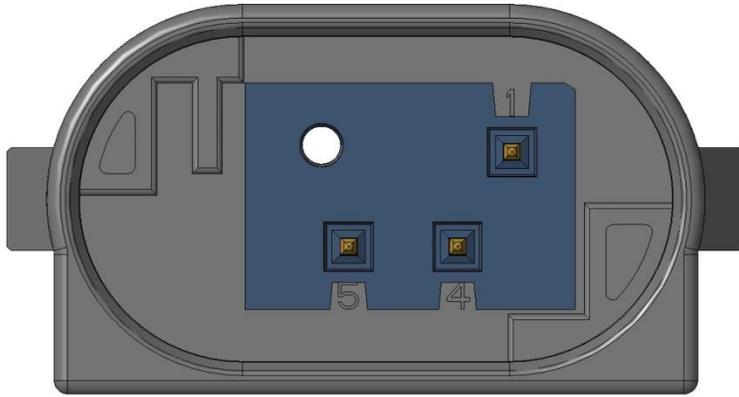


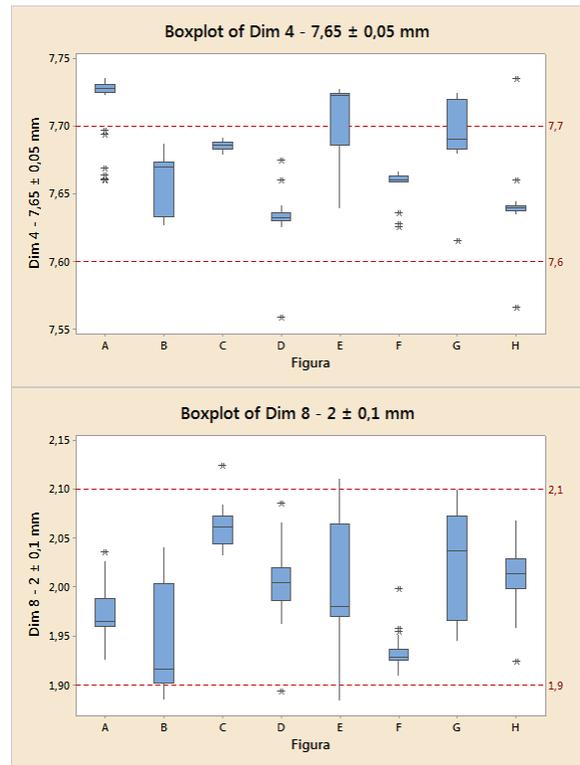
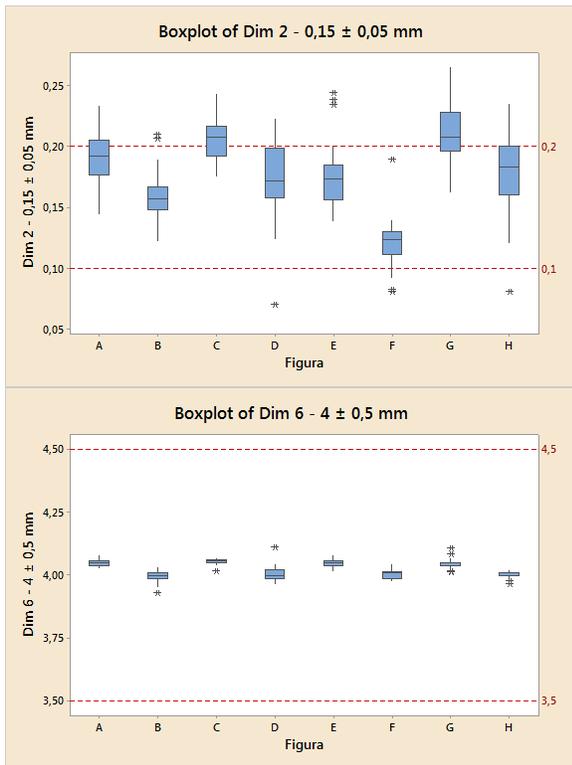
Figura 8.7: capability connettore, 1 posizione

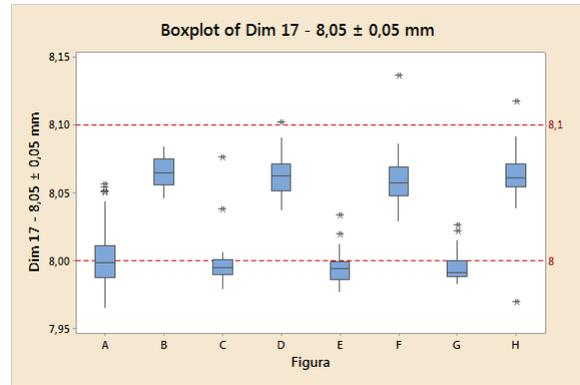
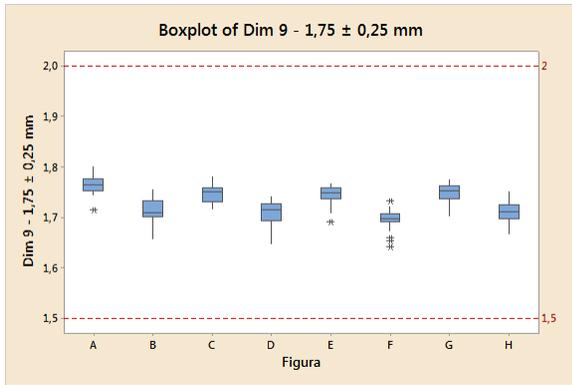
Come si può notare, nonostante si siano misurati gli stessi campioni, si sono ottenuti risultati differenti. Infatti la scomposizione delle quote precedentemente descritta ha portato ad un “peggioramento” della situazione. Tuttavia si è notato un altro comportamento interessante: a livello costruttivo questo connettore viene ricavato mediante co-stampaggio plastico attorno ad una placchetta che contiene i faston. Attraverso un’analisi più approfondita, utilizzando dei grafici di tipo Box-Plot, e dividendoli per figura, si è notato che le figure B,D,F,H, che vengono identificate come “Figure 2” poiché utilizzano lo stesso punzone in fase di stampaggio, risultano avere questa placchetta spostata rispetto alle “Figure 1”. Tale offset porta quindi ad avere non conformi i dimensionali relativi a queste quote, in particolare molto meno centrati rispetto al nominale. Tale variabilità è dovuta ai giochi presenti fra le parti mobili dello stampo.



**Figura 8.8: connettore con placchetta**

In Figura 8.9 si mostrano i boxplot relativi alle capability di Figura 8.7.

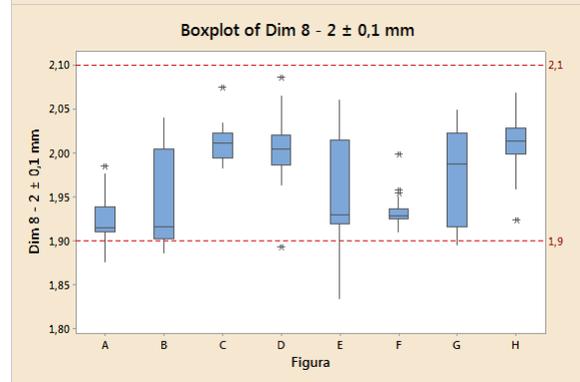
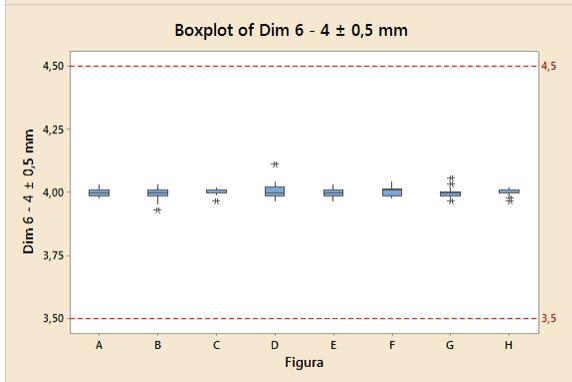
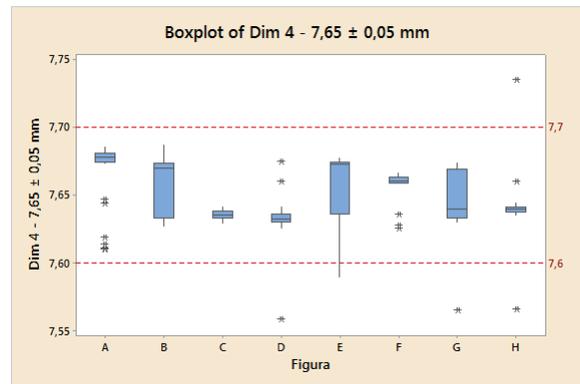
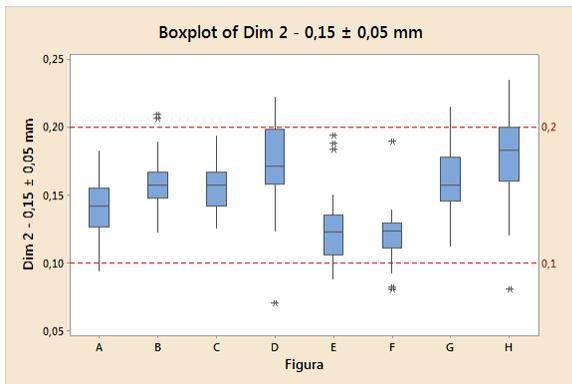


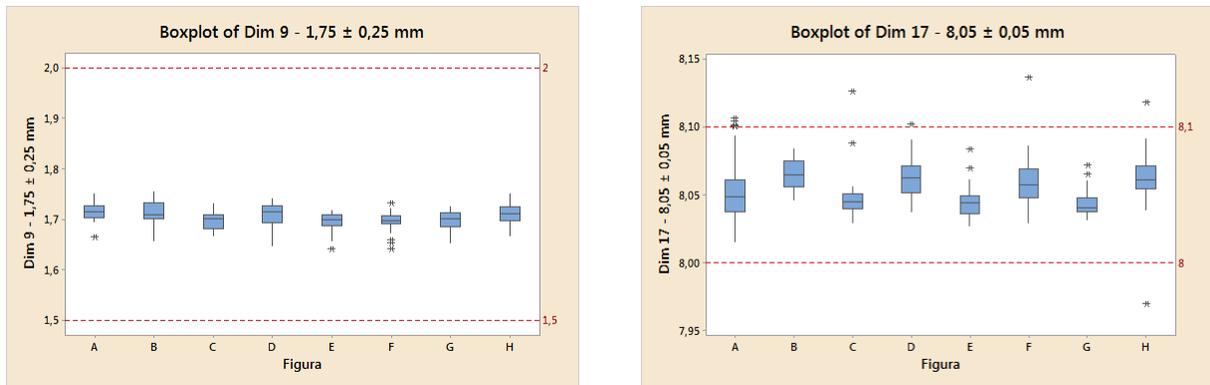


**Figura 8.9: boxplot connettore , 1 posizione**

Come si può notare nella Figura 8.9 è presente un offset di circa 5 centesimi di millimetro tra le Figure 1 (A, C, E, G) e le Figure 2 (B, D, F, H). Si è pensato quindi di proporre al fornitore una modifica dello stampo, per far sì di allineare le due figure al centro della tolleranza. Questa proposta è stata avanzata poichè il componente verrà prodotto mediante due linee di stampaggio, e quindi si vuole essere ben posizionati a livello di dimensionali sulla prima linea per poi costruire la seconda linea con le stesse caratteristiche della prima.

Si allegano di seguito i boxplot relativi alla simulazione di tale intervento sullo stampo.





**Figura 8.10: boxplot connettore, simulazione post intervento stampo**

Come si può notare dai boxplot di Figura 8.10, questa situazione non presenta più a colpo d'occhio una differenza sistematica fra le due famiglie di figure. Inoltre la maggior parte dei componenti misurati risulta all'interno della propria banda di tolleranza. Sono tuttavia presenti ancora diversi componenti che risulterebbero scartati ma quantomeno si sono uniformati la maggior parte dei dimensionali. Se dopo aver effettuato delle verifiche funzionali del componente risultasse che nessuno di questi, anche quelli fuori dimensionali a disegno, presentasse problemi, si potrebbe procedere con una richiesta di aggiornamento dei dimensionali a disegno per rendere di nuovo il componente conforme.

## 8.2. Accoppiamento Corpo-Boccola HSS

Come seconda analisi si è posta l'attenzione sull'accoppiamento fra il corpo e la boccola dell'HSS. Fra questi due elementi è necessario che sia sempre garantita una condizione di interferenza anche minima. L'interferenza risulta necessaria poichè i due elementi verranno saldati fra loro per creare una giunzione e garantire che non vi sia moto relativo fra le parti. Entrambi sono componenti plastici stampati all'interno dell'azienda. Entrambi sono formati da materiale plastico, uno dei quali additivato con 10% di PTFE per migliorarne le proprietà autolubrificanti. Per quanto riguarda i dimensionali considerati, sono mostrati in Figura 8.11 e Figura 8.12.

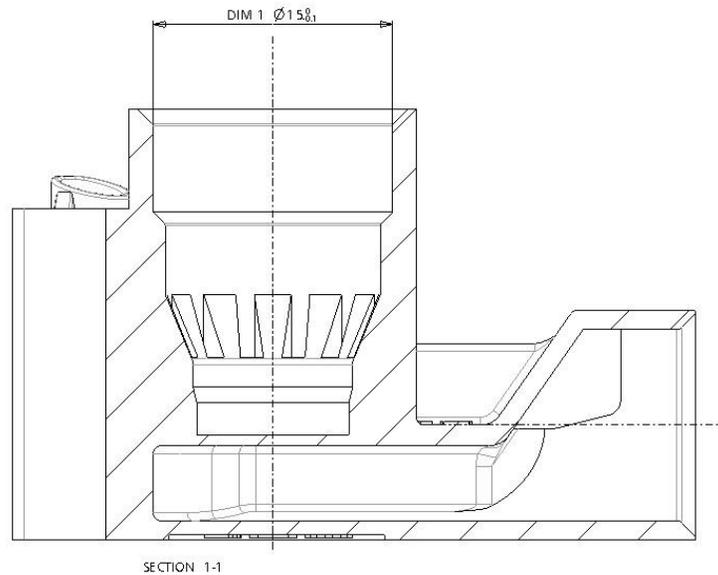


Figura 8.11: Dim 1 corpo

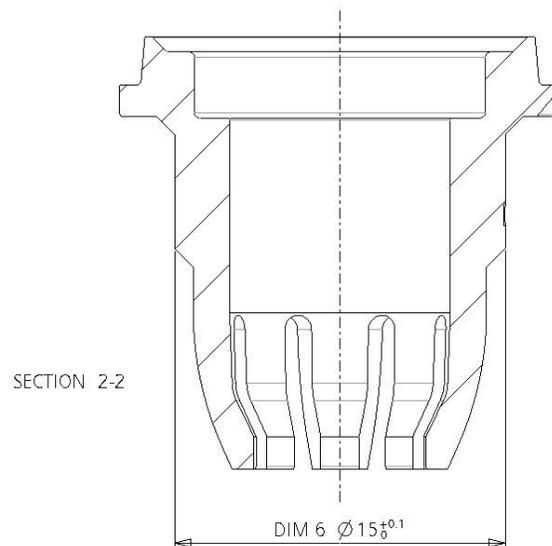


Figura 8.12: Dim 6 boccola

Come si può evincere da Figura 8.11 la boccola verrà montata all'interno del foro Dim 1 –  $\varnothing 15 - 0,1$  mm presente nel corpo . La boccola sarà inserita a interferenza finchè i risvolti superiori non arriveranno a battuta con il bordo superiore del foro. Segue un'analisi separata di come sono stati ottenuti i dimensionali riguardanti i due componenti sopraccitati.

### 8.2.1.Corpo

In prima battuta si era deciso di eseguire i rilievi dimensionali utilizzando l'OGP come per il connettore. Si è quindi prodotto un portapezzo, sempre mediante stampa 3d, adeguato ai rilievi da effettuare. Presenta più cavita per permettere di orientare il corpo in modo adeguato ai rilievi necessari.

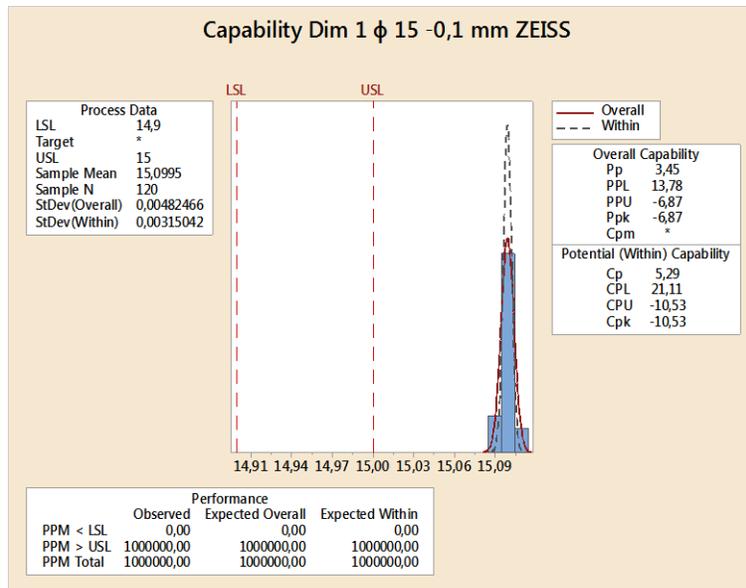


Figura 8.13: portapezzo corpo HSS

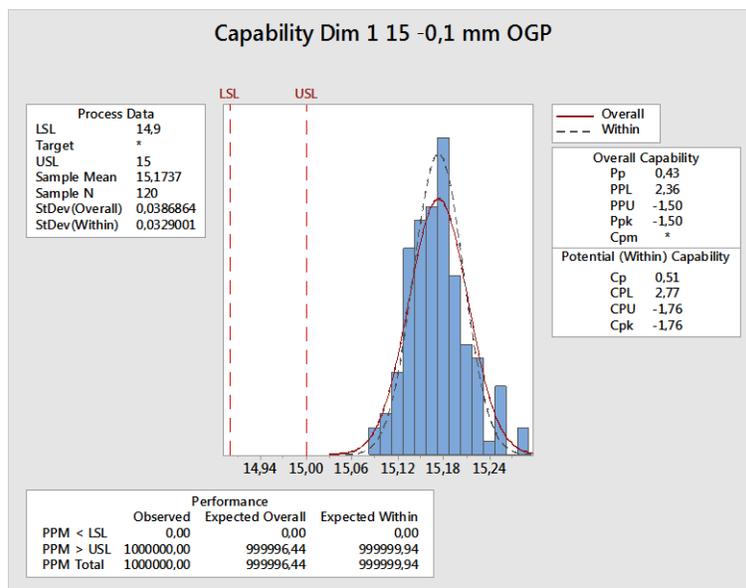
Tuttavia data la geometria del componente, risultava molto difficoltoso creare una routine automatica per identificare la serie di diametri presenti nel foro dove andrà accoppiata la boccola. Per cui si è deciso di procedere come segue:

- si sono selezionati una certa popolazione di componenti, 10 pezzi per ognuna delle 8 figure
- si sono scelte delle quote rilevanti per il confronto
- si sono eseguite le misurazioni utilizzando l'OGP e la Zeiss Contura col fine di confrontare i risultati
- si sono analizzati i dimensionali mediante Minitab per effettuare il confronto.

Questo confronto viene illustrato in Figura 8.14e Figura 8.15.

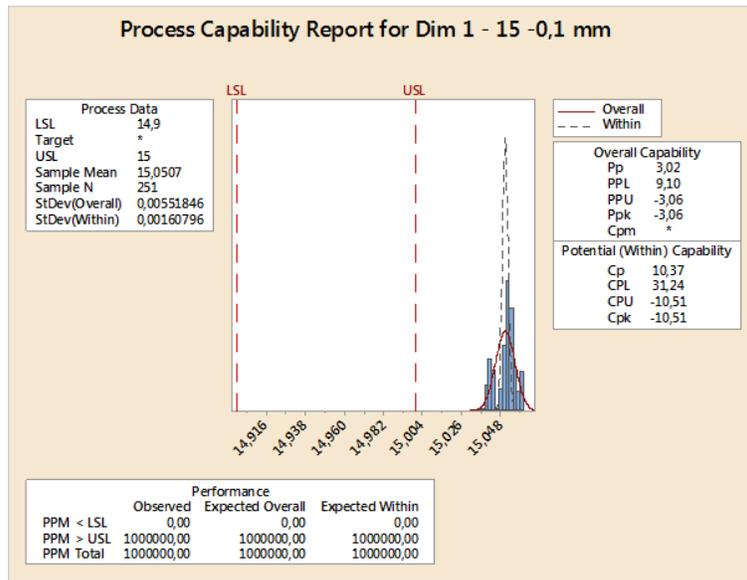


**Figura 8.14: capability corpo Zeiss**



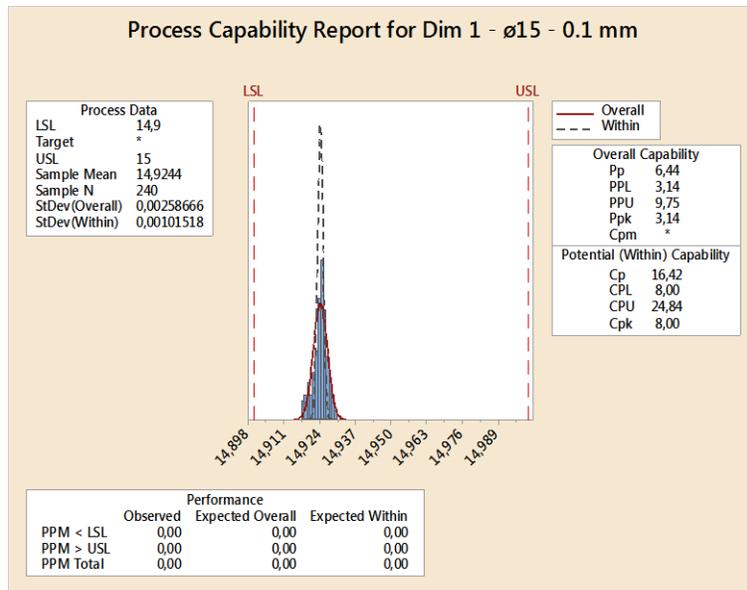
**Figura 8.15: capability corpo OGP**

I due macchinari forniscono due informazioni differenti. Nonostante entrambi i macchinari mostrano che la quota considerata risulti fuori specifica, si nota subito una grande differenza nella dispersione delle distribuzioni. Infatti i rilievi di Figura 8.14 ottenuti con la Zeiss Contura hanno un Cp più elevato rispetto a quelli ottenuti con la OGP. Poiché i pezzi misurati risultano gli stessi, è quindi ragionevole asserire che per la quota considerata il macchinario più adatto sia la Zeiss. Pertanto si è deciso di effettuare i rilievi con la Zeiss. Questo macchinario ha un principio di funzionamento ovviamente differente rispetto alla OGP, ma a livello software è possibile fare le medesime analisi. Si sono quindi esportati i dati ed analizzati, i risultati sono in Figura 8.16.

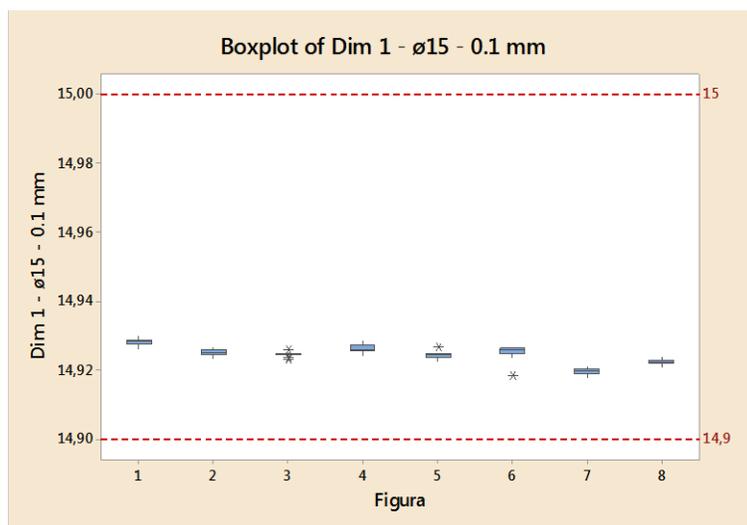


**Figura 8.16: capability corpo Zeiss ante modifica**

Come mostrato in Figura 8.16 i dimensionali sono poco dispersi, però tutti fuori specifica. Si è quindi deciso di intervenire sullo stampo per riportare in specifica il diametro. In generale, per quanto riguarda gli stampi in materiale metallico, il produttore lo produce in modo che, se dovessero essere necessarie delle modifiche, queste si ottengano mediante asportazione di materiale. Per cui, se si deve restringere un foro, come nel caso in esame, si asporta del materiale dallo stampo. Viceversa, in caso si debba allargare un foro, viene prima effettuata una saldatura sullo stampo e per aggiungere materiale e solo successivamente si procede con l'asportazione. Una volta effettuata questa modifica sono stati effettuati dei rilievi sui componenti. Per quanto riguarda questi rilievi si è deciso di cambiare la numerosità della popolazione. Si è optato per misurare 30 pezzi per ognuna delle 8 figure. Così come per il connettore questa numerosità permette di ottenere delle capability attendibili figura per figura e molto robuste quando non si discrimina il numero di figura. Successivamente si sono quindi effettuati i rilievi e dopo l'esportazione e l'analisi dei dati si è ottenuta la situazione di Figura 8.17 e Figura 8.18.



**Figura 8.17: capability corpo post modifica**



**Figura 8.18: boxplot corpo post modifica**

In Figura 8.17 e Figura 8.18 si può subito notare che l'intervento effettuato è andato a buon fine. I dimensionali risultano prima di tutto all'interno della banda di tolleranza con un Cp molto elevato indice di poca dispersione ed una ripetibilità della misura molto elevata. In Figura 8.17 inoltre è presente il dato relativo ai ppm prodotti da tale dimensionale. Risultano 0 ppm quindi si è sicuri che non si verificheranno scarti a causa di questa quota. Si passa quindi all'analisi della boccola.

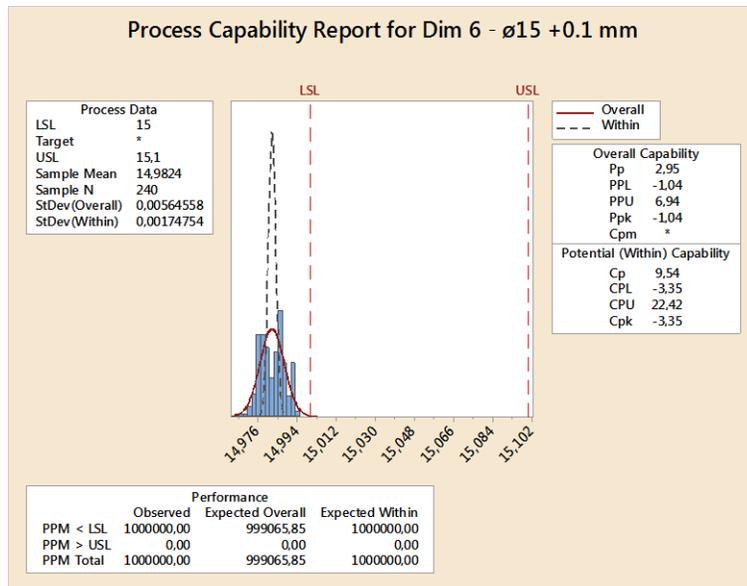
### 8.2.2. Boccola

Per quanto riguarda la boccola come primo passo si è concepito e prodotto il portapezzo . Come quello del corpo ha più cavità nelle quali posizionare la boccola in diverse orientazioni.

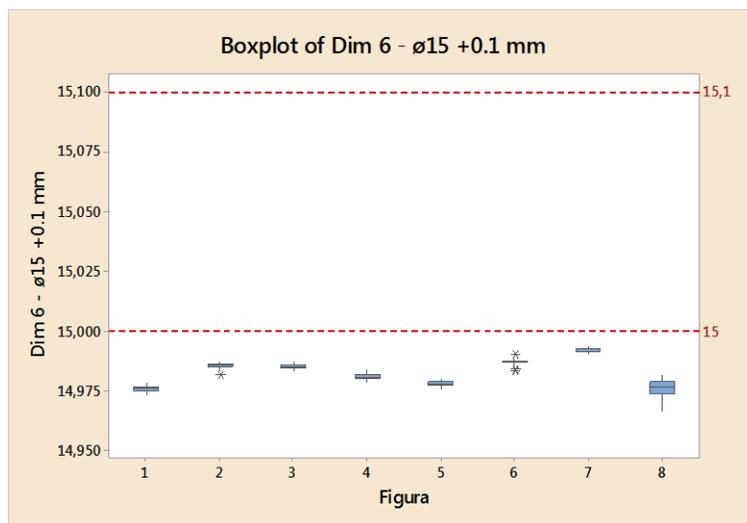


**Figura 8.19: portapezzo boccola HSS**

Inizialmente date le ridotte dimensioni del componente si era pensato di utilizzare l'OGP per i rilievi. Invece a causa di particolari geometrie e riflessi presenti sul pezzo si è preferito utilizzare la Zeiss Contura anche per questo componente. Si è quindi generata la routine e si sono acquisiti i rilievi. La quota considerata è il diametro di saldatura fra corpo e boccola mostrato in Figura 8.12. I dati sono sempre stati elaborati con Minitab e si mostrano i risultati in Figura 8.20 e Figura 8.21.



**Figura 8.20: capability boccola**



**Figura 8.21: boxplot boccola**

Come si può notare in Figura 8.20 e Figura 8.21 la distribuzione risulta poco dispersa, con un Cp ben superiore a 2, il valore obiettivo minimo della filosofia Six Sigma. Tuttavia la distribuzione ha un Cpk negativo, indice che non è centrata rispetto al nominale. Infatti risulta che i diametri in questione siano più stretti rispetto a quello che ci si aspetterebbe. Poiché entrambe le distribuzioni risultano con un ottimo Cp ma non ben centrate si è deciso di analizzare se tale situazione potesse dare dei problemi per quanto riguarda l'accoppiamento corpo boccola.

### 8.2.3. Analisi accoppiamento Corpo-Boccola

In fase di progettazione sono state definite, attraverso il know-how aziendale e l'esperienza dei progettisti, le quote relative ad ogni componente dell'assieme. Come ogni prodotto immesso sul mercato deve rispettare le specifiche richieste dal cliente. Si effettuano quindi, in laboratorio, numerosi test, per

assicurare l'adempimento alle specifiche. Tali test vanno a verificare il corretto montaggio, funzionamento ed usura di tutti componenti di un assieme. Se il componente supera tutti i suddetti test viene validato e quindi immesso sul mercato. Per assicurare un margine di sicurezza, lo svolgimento di queste prove viene eseguito con parametri di funzionamento estremi rispetto alle specifiche del cliente. Si specifica che questi test non sono oggetto di tesi. In fase progettuale per il calcolo delle tolleranze relative a questo accoppiamento si è effettuata una progettazione mediante una metodologia statistica. Generalmente per la progettazione delle tolleranze si utilizza il metodo WCA ovvero Worst Case Analysis. Consiste nell'identificare la condizione foro-albero più problematica per l'accoppiamento desiderato (in questo caso foro a massimo materiale quindi più largo e albero a minimo materiale) e da lì calcolare le tolleranze necessarie in funzione del tipo di accoppiamento (gioco, interferenza o incerto). Questa metodologia garantisce il 100% di intercambiabilità e non tiene conto del tipo di distribuzione delle tolleranze, tuttavia rende il tutto molto più costoso. Si è quindi utilizzato un sistema statistico, il RSS (Root Sum of Squares). Questo metodo permette di ottenere uno scarto pari allo 0,27% quindi una assemblabilità del 99,73% considerando che la distribuzione dei componenti risulti normale (come assunto e poi verificato nel caso studio). Come risultato quindi dell'analisi RSS pregressa all'attività di tesi le quote da considerare sono state:  $\varnothing 15 -0,1$  mm per il foro e  $\varnothing 15 + 0,1$  mm per l'albero. In caso di progetto quindi l'interferenza minima risultava pari a 0 mm e quella massima pari a 0,2 mm. Per verificare queste condizioni si è seguita la seguente procedura:

- Si sono suddivisi i rilievi di corpo e boccia per singole figure
- Si è calcolata la media relativa ad ogni singola figura
- Si sono identificate le due medie massime e le due medie minime per ogni componente
- Si sono quindi create le condizioni di minimo materiale e massimo materiale per calcolare l'interferenza massima e minima.

Questi risultati sono mostrati in Tabella 3:

	Quota nominale [mm]	Interferenza teorica massima [mm]	Interferenza teorica minima [mm]	Interferenza misurata massima [mm]	Interferenza misurata minima [mm]
Corpo	$\varnothing 15 -0,1$	0,2	0	0.072	0.048
Boccola	$\varnothing 15 +0,1$				

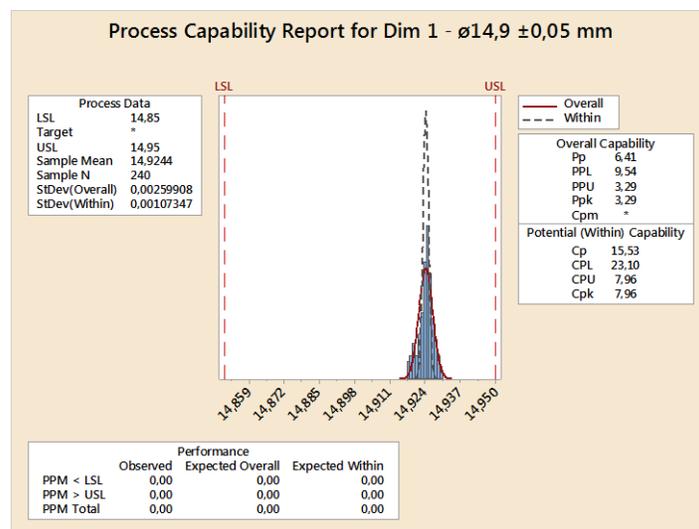
**Tabella 3: dati accoppiamento corpo boccola**

Come si nota in Tabella 3 si rientra pienamente fra le condizioni limite dell'accoppiamento. Tuttavia il dimensionale Dim 6 –  $\varnothing 15 -0,1$  mm della boccola risulta fuori specifica a disegno. I test di validazione in laboratorio, eseguiti coi medesimi pezzi che sono stati misurati, hanno mostrato che l'assieme adempie a tutte le sue funzioni e specifiche; nonostante questo dimensionale fuori tolleranza. Si è quindi optato per effettuare una modifica a disegno per far sì che questi pezzi tornino in specifica a disegno. Come ulteriore obiettivo per definire la nuova quota ci si è imposti di non generare ppm con tale accoppiamento, quindi di avere una situazione centrata rispetto i nuovi limiti di tolleranza. Si sono quindi prese le misurazioni, e mediante un'analisi delle capability su Minitab, si sono trovate le nuove quote che portavano a 0 i ppm. Si sono modificate entrambe le quote col fine di centrare ancora di più nella banda di tolleranza la quota relativa al foro del corpo. La nuova situazione viene mostrata in Tabella 4.

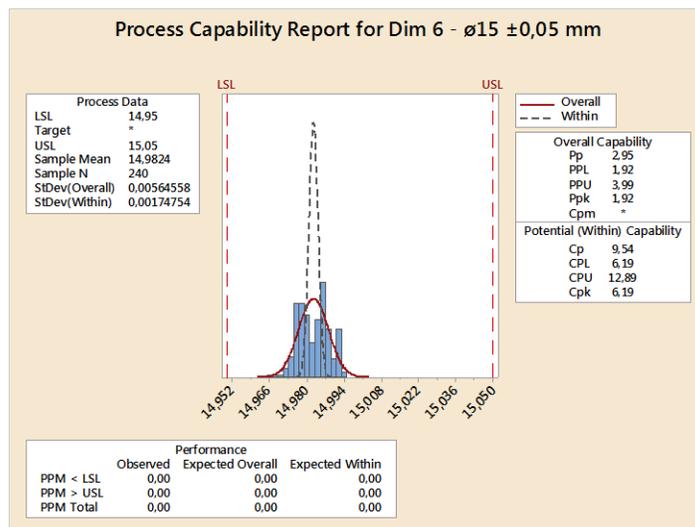
	Nominale ante modifica [mm]	Tolleranza ante modifica [mm]	Ppm ante modifica [mm]	Nominale post modifica [mm]	Tolleranza post modifica [mm]	Ppm post modifica [mm]
<b>Corpo</b>	Ø15	-0,1	0	14,9	±0,05	0
<b>Boccola</b>	Ø15	+0,1	1000000	15	±0,05	0

**Tabella 4: accoppiamento corpo-boccola ante e post modifica**

Si allegano anche le capability simulate con le nuove quote in Figura 8.22 e Figura 8.23



**Figura 8.22: capability corpo post modifica quota**



**Figura 8.23: capability boccola post modifica quota**

### 8.3. Pistone BLSS

Un'ulteriore analisi è stata svolta su questo componente. A differenza delle precedenti però, questo prodotto non è in fase di sviluppo bensì in produzione. Il prodotto viene stampato internamente. L'obiettivo che ci si è posto è quello di modificare la maggior parte dei controlli dimensionali durante lo stampaggio. In particolare questi ad oggi vengono svolti con calibri passa non passa. Col fine di ottenere non solo un controllo di tipo in/out ma anche la misura vera e propria si è deciso di sostituire i precedenti controlli con altri utilizzando l'OGP. Questa sostituzione porta inoltre il vantaggio di avere anche una informazione sulla misura della quota considerata, potendo quindi identificare vari e possibili trend. Si sono quindi identificati nella Scheda Controllo Processo del componente tutti i dimensionali che potrebbero essere acquisiti mediante OGP, ponendo maggiore rilievo per le "Quote +" ovvero quelle più importanti.

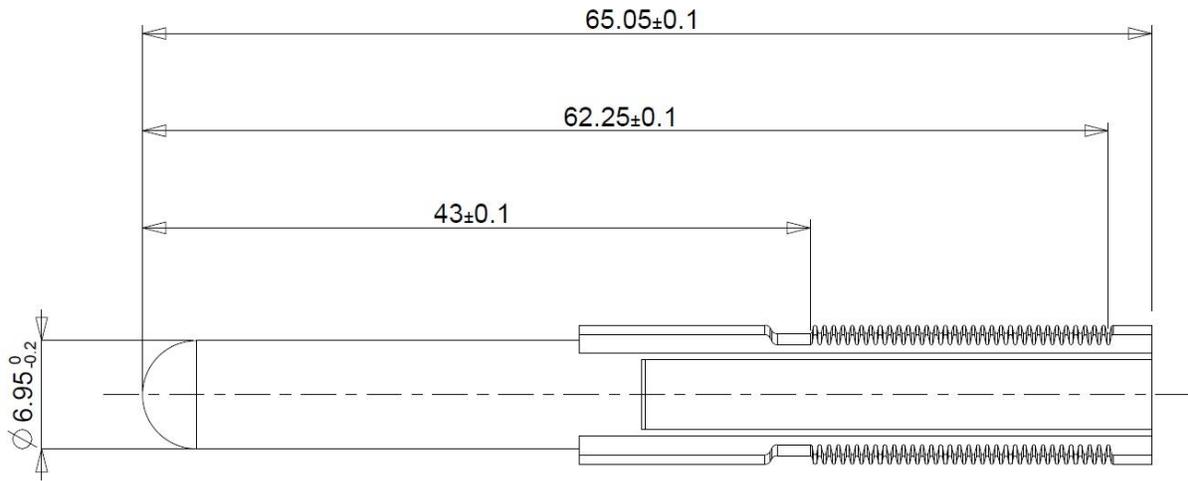
Questa scheda è un documento molto importante poichè contiene l'elenco di tutti i controlli che devono essere eseguiti sul componente una volta stampato. Oltre che la descrizione dell'operazione da eseguire è specificata la numerosità del campione, lo strumento di controllo, la frequenza di campionamento ed altre informazioni. La Scheda Controllo Processo del pistone viene mostrata in Figura 8.24.

NUMERO	PARAMETRI E/O CARATTERISTICHE LIMITI DI ACCETTABILITA'	C/F/C	DOC. DI RIFER.	Q.TA'	FREQUENZA	ESPONABILI	MEZZI DI CONTROLLO	METODO DI CONTROLLO DOC. DI REGISTRAZIONE	PROGRAMMA DIREZIONE
1	codice MATERIA PRIMA: <b>02200704</b> COLORE componente: <b>NERO.</b>	<b>CTF</b>	<b>Disegno</b>		Ogni lotto	<b>FABBRIT</b>	VISIVO	<b>ATTRIBUTI FRD</b>	PR2
2	Verifica di avvenuta e corretta compilazione < CHECK-LIST di Avvio Processo di Stampaggio > (= modulo MSAV116 ).		<b>CDL</b>		Inizio stampaggio	<b>FABBRIT</b>	VISIVO	ATTRIBUTI FRD	PR2
3	Assenza di bavature, imperfezioni e danneggiamenti.		<b>Disegno</b>	1 pezzo x figura stampaggio	Inizio stampaggio	<b>FABBRIT</b>	VISIVO	ATTRIBUTI FRD	PR2
4	ASSENZA di < Rigature / Bave > su superficie di contatto con pedale Cliente.		<b>Disegno</b>	1 pz. x fig. Ogni ora	Inizio stampaggio	<b>FABBRIT</b>	VISIVO	ATTRIBUTI FRD	PR2
5	Verifica diametro: $\varnothing 6,95 \pm 0 / - 0,2 \text{ mm.}$		<b>Disegno</b>	1 pz. x fig. Ogni ora	Inizio stampaggio	<b>FABBRIT</b>	CALIBRO P / NP <b>C01409</b>	ATTRIBUTI FRD	PR2
6	Verifica: $\varnothing 5,8 \pm 0,1 \text{ mm}$ e quota $36,2 \pm 0,1 \text{ mm}$ e nr.3 nervature a $120^\circ$ che sono tangenti al diametro $5,3 \text{ mm.}$		<b>Disegno</b>	1 pz. x fig. Ogni ora	Inizio stampaggio	<b>FABBRIT</b>	CALIBRO P / NP <b>C01410</b>	ATTRIBUTI FRD	PR2
7	Verifica lunghezza pistone: $65,15 \pm 0,7 \text{ mm.}$		<b>Disegno</b>	1 pz. x fig. Ogni ora	Inizio stampaggio	<b>FABBRIT</b>	CALIBRO P / NP <b>C01411</b>	ATTRIBUTI FRD	PR2
8	Verifica profilo interfaccia con ghiera.	<b>CTF 41</b>	<b>Disegno</b>	1 pz. x fig. Ogni ora	Inizio stampaggio	<b>FABBRIT</b>	CALIBRO FUNZIONALE <b>C01412</b>	ATTRIBUTI FRD	PR2
9	Verifica lunghezza dentatura del pistone.	<b>CTF 41</b>	<b>Disegno</b>	1 pz. x fig. Ogni ora	Inizio stampaggio	<b>FABBRIT</b>	CALIBRO P / NP <b>C01413</b>	ATTRIBUTI FRD	PR2
10	Verifica corretta curva pressione iniezione in cavità.		<b>CDL</b>		100%	<b>FABBRIT</b>	<b>AUTOMATICO</b> con SENSORI di PRESSIONE integrati su stampo e scivolo; magazine scarto' abbinato alla pr	VARIABILI	PR2
11	Verifica corrette condizioni di stoccaggio componenti: ( in contenitori plastici, protetti da sacchetti in plastica puliti ).		<b>CDL</b>		Ogni unità di confezionamento	<b>FABBRIT</b>	VISIVO	ATTRIBUTI FRD	PR2
12	Verifica inizio / fine cremagliera: quote: $43,16 \pm 0,4 / 62,46 \pm 0,4.$	<b>CTF 46</b>	<b>Disegno</b>	1 pz. x fig. Ogni ora	Inizio stampaggio	<b>FABBRIT</b>	CALIBRO P / NP <b>C01453</b>	ATTRIBUTI FRD	PR2

Figura 8.24: SCC pistone BLSS

Come si nota in Figura 8.24 la frequenza adottata per i controlli di tipo dimensionale risulta ogni 4 ore ed ovviamente ad inizio stampaggio. Questa frequenza viene calcolata mediante il metodo decisionale di R. B. Fetter. La scelta delle 4 ore risulta ovviamente un compromesso fra i valori ricavati dal modello di Fetter e la realtà aziendale. Avendo i turni una durata di 8 ore, per semplicità organizzativa unita ad una

differenza di costi poco rilevante si è scelta tale strada. Dalla scheda di controllo processo di Figura 8.24 si nota come i controlli di tipo dimensionale corrispondono agli step 5, 6, 7, 12.



**Figura 8.25: pistone BLSS, quote degli step 5, 7, 12**

Mediante un opportuno portapezzo mostrato in Figura 8.26 e una routine specificatamente creata sull'OGP è possibile acquisire i dimensionali degli step 5, 7, 12.



**Figura 8.26: portapezzo pistone BLSS**

I controlli vengono svolti da un operatore che staziona al reparto stampaggio. L'operatore durante il suo turno si occupa principalmente di fare una selezione ed effettuare i controlli sui codici che sono in stampaggio, che generalmente sono più di uno. E' quindi cruciale che tali controlli risultino semplici, rapidi, esaustivi e ben intervallati fra loro. Ad oggi per questo specifico componente i controlli di tipo

dimensionale col calibro passa/non passa necessitano di circa 100 secondi di tempo per ciascun dimensionale, per un totale quindi di circa 5 minuti. Si misurano ogni 4 ore ed ad inizio stampaggio 1 pezzo per ognuna delle 8 figure dello stampo. Tale intervallo è stato scelto applicando il metodo decisionale di Fetter in precedenza illustrato. È importante chiarire un punto. Il modello di Fetter fornisce un'indicazione su quale sia l'intervallo economicamente ottimale per i controlli. Tale valore va inserito nell'organizzazione aziendale e nelle dinamiche interne, pertanto non può essere applicato "alla lettera". Si mostrano di seguito due tabelle con i dati ed i risultati dell'applicazione del metodo di Fetter.

DATI CONOSCIUTI	
Codice	Pistone BLSS
Numero di figure dello stampo	8
Tempo ciclo macchina [s]	19,5
Valore di un pezzo difettoso $C_d$ [€]	0,06
Tempo ciclo pezzo [s]	2,4375
Produzione oraria [pz/h]	1477
DATI FISSI IPOTIZZATI	
Percentuale difettosa con processo in controllo $p_0$	0,1%
Percentuale difettosa con processo fuori controllo $p_1$	25%
Costo di un intervento inutile sul processo $C_f$ [€]	15
Costo per il controllo di ciascun elemento del sottogruppo $C_i$ [€]	1,5
Costo fisso per ciascun controllo $C_c$ [€]	2
Rischio di commettere un errore di 1 <sup>a</sup> specie $\alpha$	0,1%
Probabilità di non avvertire lo slittamento al controllo successivo $\beta$	5%
DATI INPUT	
Numerosità del sottogruppo $n$	1
Numero di controlli effettuati nel periodo T $m_1$	2
Numero di controlli effettuati nel periodo T $m_2$	1
Numero di controlli effettuati nel periodo T $m_3$	1,48

Tabella 5: dati metodo di Fetter

<b>T*</b> <b>INTERVALLO</b> <b>OTTIMO TRA</b> <b>DUE</b> <b>CONTROLLI</b> <b>SUCCESSIVI</b> <b>[h]</b>	<b>5,4</b>	<b>COSTO</b> <b>TOTALE</b> <b>[€]</b>	<b>m1</b>	<b>10,08</b>
			<b>m2</b>	<b>9,61</b>
			<b>m3</b>	<b>9,32</b>

Tabella 6: risultati metodo di Fetter

In Tabella 5 sono riportati i dati utilizzati per l'applicazione del metodo di Fetter. Mentre in Tabella 6 sono mostrati i risultati di tale applicazione. Come primo approccio si è deciso di calcolare l'intervallo di tempo "ottimo". Come si vede in Tabella 6 tale tempo risulta di 5,4 ore. Questo dato rappresenta quindi l'intervallo in cui i costi sono minimizzati in caso si trovi una non conformità, ed è il caso m3 di Tabella 6. Poiché i turni in azienda sono di 8 ore, occorre utilizzare in concreto questo intervallo di tempo o sue frazioni. Per cui si è valutato di studiare due casi, il caso più cautelativo, m1, con un controllo ogni 4 ore ed uno meno cautelativo, m2, con un controllo ogni 8 ore. Nell'ultima colonna di Tabella 6 si può osservare il calcolo costi ottenuto con il metodo di Fetter. La differenza fra l'ottimo ed il caso più costoso risulta di 0,72€, il 7,8% in più rispetto al meno costoso. Si è scelto quindi, data la minima differenza, di effettuare i controlli ogni 4 ore. A livello di rischio, per quanto contenuto, produrre 4 ore in più di non conformi corrisponde a circa 1500 pezzi di scarto, che hanno un valore ben maggiore dei 0,72€ di differenza sulle tempistiche di controllo. Il controllo mediante calibri passa/non passa è molto reattivo. In caso di rilevamento di un pezzo non conforme è possibile fermare lo stampaggio rapidamente ed effettuare un'analisi più approfondita. Non si ha tuttavia un'informazione dimensionale, si sa solamente se il pezzo risulta conforme o meno come ogni tipo di controllo per attributi. Stando alle attuali condizioni della realtà aziendale si è pensato che, mediante una debita formazione del personale di stampaggio, questi dimensionali possano essere ottenuti mediante l'OGP. In un primo momento si è pensato di effettuare i controlli in OGP prelevando i componenti ogni 8 ore e misurandoli tutti assieme il giorno successivo in sala metrologica. Si è scelta una cadenza di 8 ore invece di 4 ore poiché passando da un controllo per attributo ad uno per variabili la quantità di informazioni che si ottengono è decisamente maggiore. Risulta quindi accettabile il rischio che si corre diradando il controllo. Vengono ovviamente mantenuti i controlli di tipo visivo e funzionale precedentemente presenti nella SCC. Ad effettuarli resterebbe sempre lo stesso personale adibito. Per effettuare il controllo di 8 pezzi mediante l'OGP il tempo impiegato è di circa 5 minuti, mentre si ricorda che utilizzando i calibri passa/non passa vengono impiegati, parimenti, 5 minuti. Con questa tipologia di controllo si perde in reattività del sistema di controllo. Tuttavia si rende il sistema più proattivo nel detectare derive prima di trovare una non conformità, impostando parametri di controllo di processo più restrittivi rispetto a quelli a disegno. Sarebbe quindi possibile fare interventi preventivi sui parametri di stampaggio per evitare di incappare in non conformità. Si allega la

Calibri passa/non passa - 4 h		OGP - 8 h	
Vantaggi	Svantaggi	Vantaggi	Svantaggi
immediatezza di intervento	controllo per attributi	controllo dimensionale	creazione di un portapezzo
costo relativamente basso dei calibri	necessaria manualità	semplicità (una volta creata la routine)	lentezza di intervento e rilevamento problemi
semplicità		individuazione dei trend dimensionali	costo dell'OGP

Tabella 7 con un riassunto dei vantaggi e degli svantaggi delle due metodologie.

Calibri passa/non passa - 4 h		OGP - 8 h	
Vantaggi	Svantaggi	Vantaggi	Svantaggi
immediatezza di intervento	controllo per attributi	controllo dimensionale	creazione di un portapezzo
costo relativamente basso dei calibri	necessaria manualità	semplicità (una volta creata la routine)	lentezza di intervento e rilevamento problemi
semplicità		individuazione dei trend dimensionali	costo dell'OGP

Tabella 7: vantaggi e svantaggi calibri passa/non passa ed OGP

Un'ulteriore possibile evoluzione sarebbe quella di dotare il reparto trasformazioni di un macchinario ottico specifico per effettuare questi rilevamenti. In questo scenario quindi gli operatori eseguirebbero le misurazioni direttamente in reparto, al pari di ciò che avviene con i calibri passa/non passa. Inoltre, poiché un macchinario solo asservirebbe più presse e poiché essendo programmabile sarebbe utilizzabile per un lungo periodo e per un'ampia gamma di codici, in una visione a lungo termine questa soluzione risulterebbe conveniente.

## Conclusioni

E' stata sviluppata un'attrezzatura che permette di effettuare rilevamenti mediante macchinari CMM in modo ripetibile ed univoco. Sono state inoltre create delle procedure, una per ogni codice/componente che permettono l'acquisizione di dimensionali in modo strutturato ed univoco, minimizzando quindi la variabile umana della misura. Successivamente si sono studiati vari codici, precedentemente descritti. Da tali analisi si è evinto che i macchinari OGP e Tastatore-Zeiss siano molto diversi come approccio alla misura, quindi con differenze fra loro. Una volta scelto il macchinario più adatto si sono fatte le acquisizioni dimensionali. Dopo un'accurata analisi dei dati si sono effettuate scelte diverse in funzione dei componenti e delle criticità ad essi annesse. In particolare, per quanto riguarda il pistone BLSS, si è effettuata una modifica ad una procedura interna che permetterà di migliorare la qualità del prodotto stampato. Per quanto riguarda invece i componenti dell'HSS, ovvero connettore, corpo e boccola, queste analisi hanno permesso di sviluppare il prodotto in maniera ottimale. Per il connettore, in particolare, di identificare un problema di processo, facilitando quindi anche il lavoro al fornitore del componente stesso. Per l'accoppiamento corpo-boccola invece si è visto che, nonostante dei dimensionali leggermente fuori specifica a disegno, a livello funzionale non vi erano problemi. Per cui, dopo i test svolti dal laboratorio, si è semplicemente deciso di modificare le quote a disegno per i due componenti.

## Bibliografia

- [1] Bitron S.p.a., «Bitron S.p.a.» [Online]. Available: <http://www.bitron.net>.
- [2] G. Guarino, «riassunto approfondimento ISO e High Level Structure,» 2017. [Online]. Available: [www.studocu.com](http://www.studocu.com).
- [3] «Wikipedia,» [Online]. Available: <https://it.wikipedia.org/wiki/Kaizen>.
- [4] «Eqmc,» [Online]. Available: <http://www.eqmc.it/visual-management-cose-efficienza-aziendale/>.
- [5] «Wikipedia,» [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_di\\_Deming](https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo_di_Deming).
- [6] «Wikipedia,» [Online]. Available: <https://it.wikipedia.org/wiki/Poka-yoke>.
- [7] F. Aggogeri e E. Gentili, Lean six sigma: la nuova frontiera per la qualità, FrancoAngeli, 2006.
- [8] «Wikipedia,» [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Muda\\_\(termine\\_giapponese\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Muda_(termine_giapponese)).
- [9] G. Barbato, A. Germak e G. Genta, Misurare per decidere, Esculapio, 2014.
- [10] «Wikipedia,» [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Scarto\\_quadratico\\_medio](https://it.wikipedia.org/wiki/Scarto_quadratico_medio).
- [11] E. Bowman e R. Fetter, Analysis for Production Management.
- [12] «Digital Cameras,» [Online]. Available: [www.qvii.com](http://www.qvii.com).
- [13] «Large Field of View Measurements,» [Online]. Available: [www.qvii.com](http://www.qvii.com).
- [14] T. Sladden, «Big Visions for Micro Parts,» [Online]. Available: [www.qvii.com](http://www.qvii.com).