



**Politecnico  
di Torino**

**POLITECNICO DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale di Ingegneria Aerospaziale  
A.a 2021/2022  
Sessione di Laurea Marzo 2022

## **I Collaudi e la Loro Gestione**

Relatori:  
Prof. Paolo Fino  
Prof.ssa Mariangela Lombardi

Candidato:  
Emanuele Contini

# Indice

<b>1</b>	<b>Scopo della Tesi</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>L.M.A srl</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Diagramma di Gantt del Progetto</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Collaudi</b>	<b>9</b>
4.1	Disegni . . . . .	9
4.2	Tipi di Collaudi . . . . .	9
4.2.1	Collaudo Dimensionale . . . . .	10
4.2.2	Collaudi Funzionali . . . . .	10
4.2.3	Collaudo Visivo . . . . .	10
4.2.4	Collaudo di Conducibilità e Durezza . . . . .	10
4.3	Parti non Conformi . . . . .	10
4.4	Tipi di Macchine e Strumenti per i Collaudi . . . . .	11
4.4.1	Strumenti . . . . .	11
4.4.2	Macchine CMM . . . . .	12
4.5	Situazione <i>as is</i> dei Collaudi e Situazione Futura . . . . .	12
4.5.1	Collaudo via CMM . . . . .	13
4.5.2	Collaudo a Banco . . . . .	13
<b>5</b>	<b>INFOR</b>	<b>15</b>
5.1	Fase di Test dell'Interfaccia INFOR . . . . .	16
5.2	Analisi dell'operatività . . . . .	19
5.3	Primo Test della Piattaforma . . . . .	22
5.4	Procedura di Utilizzo del Sistema . . . . .	27
<b>6</b>	<b>Conclusione</b>	<b>28</b>

## Ringraziamenti

Vorrei ringraziare in primis i miei genitori che mi hanno permesso di studiare ciò che mi interessava senza mettermi fretta e accettando ogni parte del mio percorso. Spero che siano fieri di me e felici del risultato ottenuto dopo tanti anni di studio e patemi.

Vorrei ringraziare mio fratello Alessandro con cui ho spesso discussioni dovute ai diversi studi, ma dopotutto matematici e ingegneri sono nemici per natura; in fondo ci vogliamo bene e ci siamo sempre quando serve. So che molto in fondo è contento del mio percorso.

Ringrazio mia nonna, Marisa, per tutto il supporto che ha fornito ai miei genitori nel crescere me e mio fratello nell'arco di questi 25 anni. Sono contento di aver esaudito il suo desiderio di vedere tutti i nipoti laureati.

Ringrazio la mia ragazza Julianna, perché mi ha sopportato e mi sopporta tuttora nonostante tutto. Per tutte le volte che mi è stata accanto nelle delusioni e nelle difficoltà. Per tutte le volte che la faccio arrabbiare o mi dimentico le cose. Grazie di esserci.

Vorrei ringraziare i miei compagni di viaggio Federico, Andrea, Juri e Andrea. Ci siamo conosciuti quasi per caso e siamo quasi diventati una famiglia dopo 4 anni passati insieme al politecnico. Non penso che potrei essere stato più fortunato di così. Ho imparato tanto da loro e spero di aver lasciato a mia volta qualche ricordo. Grazie, sono stati anni bellissimi che non penso di poter dimenticare.

Ringrazio i miei coinquilini Gianluca, Chiara, Martina, Simone cui con ho passato anni in casa tra risate varie. Percorsi diversi ma persone incredibili. Ci sono sempre stati anche loro durante gli alti e bassi nel corso degli anni.

Ringrazio per ultimi i miei compagni di squadra e i colleghi di *LMA srl*: i primi per la compagnia fornitami durante le molte serate passate in palestra nell'arco della carriera universitaria; i secondi per l'accoglienza che mi hanno dato nel periodo di permanenza in azienda.

Grazie a tutti.

# Capitolo 1

## Scopo della Tesi

La tesi è stata svolta durante il periodo di tirocinio presso l'azienda *L.M.A srl* in collaborazione con il Politecnico di Torino. Durante le 750 ore che ho speso all'interno di questa ditta, ho potuto avere una esperienza di effettivo lavoro nell'ambito della produzione di parti strutturali, argomento che ritengo personalmente fondamentale per la formazione di un ingegnere del mio settore. Il tirocinio è stato svolto all'interno dell'ente *Qualità* sotto la responsabilità del dottor Oscar Tognin, referente del tirocinio e responsabile dell'ente. Personalmente, l'obbiettivo era quello di avere una esperienza il più possibile pratica dopo il percorso dentro l'ateneo e quindi l'argomento della tesi è stato scelto assieme al mio *tutor* per cercare di produrre un elaborato il più vicino possibile al mondo del lavoro. L'argomento su cui è ricaduta la scelta è stato il passaggio della gestione dei collaudi che vengono svolti presso l'azienda da file *Excel* alla piattaforma gestionale attualmente in uso *INFOR*. Questo argomento era uno dei progetti ipotizzati dall'azienda a inizio anno per migliorare la produzione e per rendere più gestibile il controllo dei collaudi da parte dello stesso ufficio. Quello che mi ha interessato dell'argomento è stato la natura estremamente pratica del progetto, infatti un progetto similare era stato gestito nei primi mesi del 2021 dai dipendenti aziendali.

Il lavoro è stato svolto in collaborazione con l'*IT* aziendale, che ha sviluppato l'interfaccia del software e ha fornito gli strumenti informatici adeguati all'*upgrade* previsto dal progetto, e con i collaudatori aziendali che hanno fornito *feedback* sulla praticità e sull'effettivo funzionamento della piattaforma.

## Capitolo 2

### L.M.A srl

*L.M.A. srl* è una importante azienda nel panorama italiano della produzione di parti meccaniche critiche per l'aviazione (civile e militare) e per lo spazio che opera dal 1970 in collaborazione con grandi aziende italiane e non. I processi di produzione sono svariati e possono essere svolti in totalità presso l'azienda oppure appoggiandosi su fornitori esterni. L'azienda è, infatti, principalmente specializzata in lavorazioni meccaniche di precisione, assemblaggi ad alta complessità e trattamenti termici. Tuttavia le lavorazioni richieste dai clienti non si limitano a queste categorie ma necessitano spesso di trattamenti per cui l'azienda non possiede la qualifica di lavorazione. Sono questi i casi in cui bisogna appoggiarsi ad aziende esterne. Questi sono i casi di alcuni trattamenti chimici particolari.

L'azienda si occupa di quasi esclusivamente di produzione, mentre la parte di progetto è relativa solo alla ideazione di strumenti direttamente legati alla realizzazione dei pezzi.

Le lavorazioni meccaniche vengono svolte grazie a delle macchine di fresatura a 3 e 5 assi. Alla fine del processo produttivo, i pezzi vengono marcati (in modo da mantenere la tracciabilità della parte per tutta la sua vita), imballati e spediti al cliente. Assieme al pezzo fisico viene spedito un documento che ne attesta la conformità in ogni dettaglio al disegno.

Durante il mio periodo di tirocinio, sono entrato in contatto con diversi enti grazie alla forte interconnessione tra gli stessi e alla centralità dell'ufficio qualità:

- Ufficio Qualità: il compito di questo ente è quello di monitorare la produzione per fare sì che le parti rispettino lo standard della conformità. Per fare questo si interfaccia con tutti gli altri settori dell'azienda, monitorando quindi le operazioni di collaudo le quali controllano l'effettiva riuscita di tutte le fasi della produzione elencate sopra. Quando i collaudi vengono superati si può procedere con le fasi finali, in caso contrario i problemi (definiti non conformità) vengono gestiti dall'ufficio contattando il cliente e collaborando con l'ufficio tecnico per fare in modo che i pezzi vengano rilavorati per rientrare nelle specifiche. Il collaudo è di diretta responsabilità di questo ente.
- Ufficio Tecnico: questo ente si occupa di generare i cicli di produzione in modo che i pezzi finiti rispettino le specifiche dettate dal cliente. Gli ingegneri hanno quindi a disposizione i disegni e i modelli 3D forniti dai

clienti e sono a conoscenza di come verrà utilizzato il pezzo. Grazie a queste informazioni sono le persone che possono sapere se un certo difetto può causare problemi in utilizzo. Hanno anche la facoltà di modificare il disegno per necessità di produzione: sempre all'interno di questo ente si scrivono infatti i programmi che gestiscono le frese.

- *Program Manager*: questo ente è quello che si interfaccia direttamente con il cliente per quanto riguarda gli ordini e le vendite dei pezzi. Gli ingegneri di questo reparto si occupano quindi di gestire il flusso dei pezzi all'interno dell'azienda, ad esempio decidono quando dividere un lotto di pezzi in più parti se questi hanno bisogno di subire trattamenti ulteriori.
- *Logistica*: questo reparto gestisce l'invio e la ricezione dei pezzi da e verso i fornitori e i clienti. Gli addetti qui si occupano anche di gestire i contatti con i fornitori stessi, di trovarne di nuovi e di verificare che questi abbiano le qualifiche adatte alla produzione dei pezzi.
- *Produzione*: si occupa dell'effettiva lavorazione del materiale dal grezzo al pezzo finito e pronto alla vendita.

Oltre ai compiti elencati sopra, l'ufficio qualità ha anche il compito di gestire gli strumenti di collaudo: questi hanno infatti una scadenza e affinché le misurazioni risultino buone, vanno calibrati o fatti calibrare periodicamente.

Un altro compito affidato all'ufficio qualità è quello di controllare, verificare e validare gli ordini di lavoro (ovvero i cicli di produzione). A livello legislativo infatti questi devono essere compilati e timbrati degli in modo corretto e completo in quanto sono documenti che attestano quali operazioni sono state svolte sui pezzi e ne certificano di conseguenza la conformità ai progetti. Sono documenti molto importanti e infatti le copie cartacee vanno conservate per tutto il ciclo vitale della parte (e quindi del velivolo su cui vengono montate).

Sempre all'ufficio qualità è affidata la stesura dei *FAI*, *first article inspection* che sono dei documenti da produrre ogni volta che una parte viene prodotta per la prima volta dall'azienda o se una certa parte subisce delle variazioni a progetto. In questi documenti si va quindi a certificare ogni aspetto della produzione del pezzo, dai materiali grezzi utilizzati alle dimensioni geometriche del prodotto finito. In queste operazioni c'è una forte interazione con il reparto di collaudo. Una volta che i documenti sono finiti vengono inviati al cliente che ne verifica la validità e dà quindi il via libera alla produzione "in serie" della parte. Ovviamente tutti i pezzi che verranno prodotti dopo la stesura del *FAI* sono collaudati per garantirne la corretta produzione, i documenti del primo articolo servono per certificare al cliente che l'azienda è in grado di rispettare tutte le specifiche richieste dal cliente stesso.

## Capitolo 3

# Diagramma di Gantt del Progetto

Il progetto in questione era stato approvato a febbraio 2021 come una delle numerose migliorie da implementare per incrementare la produzione aziendale. In questi casi viene prodotto quello che si chiama diagramma di *Gantt*, ovvero un documento cui vengono riportate le diverse fasi che dovrà affrontare il progetto nel corso del tempo. Sono quindi state stabilite delle fasi e degli obiettivi da raggiungere, ma anche entro quando questi devono essere raggiunti. Il diagramma ipotizzato all'approvazione era il seguente



Figura 3.1: Diagramma di Gantt

Per quanto riguarda la parte seguita da me i tempi sono stati abbastanza rispettati in quanto il mio inserimento nel team della qualità è avvenuto a metà settembre e lo studio è cominciato dopo un periodo iniziale di assestamento. Subito dopo è cominciato lo studio dei processi di collaudo in stretto contatto con i collaudatori sotto la supervisione del mio responsabile. Verso l'inizio di novembre sono cominciate le riunioni con il team dell'IT per capire quali fossero i requisiti richiesti dall'ingegner Tognin e dagli operatori. Rientrati dalla chiusura natalizia è quindi stato allestito il primo test delle maschere per provare le funzioni implementate. Infine ad inizio febbraio è stata presentata la versione finale ai colleghi dell'ufficio tecnico per poter coordinare le operazioni di attivazione reale della piattaforma.

La previsione è quella di sostituire l'attuale sistema di controllo nel mese di giugno dopo aver trascorso i mesi tra la presentazione e la metà anno ad usare entrambi i metodi di gestione. In questo modo si avrà il tempo di caricare tutti i *part number* su INFOR. Il periodo di transizione è necessario in quanto la piat-

taforma presenterà quasi sicuramente dei *bug* e l'azienda non si può permettere perdere dei record di collaudo per colpa di una nuova piattaforma. L'effettiva sostituzione avverrà solo quando tutti i piani di controllo saranno caricati e le maschere risulteranno solide.

## Capitolo 4

# Collaudi

Come detto precedentemente la fase del collaudo è fondamentale e per questo è importante che venga gestita in modo adeguato a livello di *record* e per garantire che i pezzi non vengano mandati avanti nella lavorazione senza che i collaudi vengano effettuati.

### 4.1 Disegni

I disegni sono forniti dai clienti e vista la longevità dei progetti aeronautici succede quasi sempre che questi disegni vengano modificati nel corso del tempo. Le modifiche possono avvenire per diversi motivi tra cui la modifica del design dovuta all'effettivo utilizzo della parte (scoperta di eccessiva usura nel tempo ad esempio), oppure per una variazione del design come l'aggiunta di un foro o la modifica dei trattamenti superficiali richiesti. Ovviamente quello che succede non è la creazione di un nuovo disegno e quindi di un nuovo *part number* ma semplicemente si ha uno scatto di revisione del disegno stesso. Queste vengono comunicate al fornitore che deve ovviamente cambiare le lavorazioni per produrre la nuova versione della parte successivamente alla produzione di un *FAI* parziale.

Alla prima emissione del disegno invece occorre produrre quello che viene definito *full FAI*: questo è un documento interno all'azienda il cui scopo è quello di validare il processo di produzione. Dentro al documento viene inserito il ciclo produttivo, i rilievi dimensionali e tutti i documenti che certificano la conformità del materiale utilizzato. Fondamentali sono anche i certificati emessi dai fornitori di *LMA*. Occasionalmente il *FAI* va mandato in approvazione al cliente a monte dell'inizio della produzione massiva della parte. E' un documento che non è proprio del mondo aeronautico ma del mondo produttivo in generale.

### 4.2 Tipi di Collaudi

All'interno dell'azienda si eseguono diversi tipi di controlli: dimensionali, funzionali, conducibilità, visivi e di durezza.

### 4.2.1 Collaudo Dimensionale

E' il collaudo più importante perché è quello che va a verificare che la parte prodotta sia conforme al disegno per quanto riguarda la geometria. Si vanno quindi a verificare che tutte le quote riportate a disegno siano rispettate a meno delle tolleranze, sia geometriche che dimensionali. A seconda della dimensione del pezzo e del tipo di quota che viene misurata, il collaudo può essere eseguito a manualmente attraverso l'utilizzo degli strumenti oppure utilizzando le *macchine CMM* di cui parlerò nel capitolo successivo.

### 4.2.2 Collaudi Funzionali

Sono delle prove che vengono effettuate principalmente sui montaggi degli assiemi per verificare che questi siano stati eseguiti nel modo corretto, ad esempio che delle boccole o delle olivette non si sfilino dalla loro sede. Sono molto importanti quanto i chimici che vengono utilizzati hanno bisogno di un certo tempo per polimerizzare ed essere quindi efficaci. Se ad esempio un sigillante viene applicato nel modo errato una boccola si sfilava con un carico molto inferiore a quello richiesto dal cliente.

### 4.2.3 Collaudo Visivo

I collaudi visivi servono principalmente per verificare che non siano presenti difetti di lavorazione quali intaccature, sbavature, presenza di zone non aggiustate, operazioni di montaggio eseguite nel modo errato o per controllare i trattamenti superficiali come verniciature, ossidazioni e marcature. Sono anche fondamentali per verificare che le operazioni commissionate ai fornitori siano state eseguite con successo.

Per questo motivo i collaudi visivi vengono eseguiti tra le fasi di lavorazione e quando le parti rientrano in azienda dopo operazioni esterne.

### 4.2.4 Collaudo di Conducibilità e Durezza

Servono a verificare che le parti rispettino i requisiti di conducibilità e durezza richiesti dal cliente. La particolarità di questi collaudi è che non possono essere eseguiti in qualunque momento: ad esempio vanno controllate necessariamente prima delle verniciature per non rovinarle in caso della durezza o per non falsare il risultato nel caso della conducibilità.

## 4.3 Parti non Conformi

Se il pezzo non è conforme al disegno si possono presentare principalmente tre strade:

- *Rework*: se il pezzo presenta dei difetti di lieve entità questi vengono riparati riportando la parte conforme ai requisiti. E' un caso che si presenta più spesso per i trattamenti superficiali in quanto sono operazioni speciali molto complesse da realizzare per cui ci possono essere zone non trattate. In questo caso i pezzi vengono mandati indietro al fornitore per essere nuovamente lavorati.

- **Scarto:** avviene quando i difetti sono irrecuperabili anche con un *rework*. E' il caso tipico di una lavorazione meccanica avvenuta nel modo errato per motivi di programma o di settaggio errato della macchina da parte dell'operatore.
- **Concession:** se non è possibile riportare il pezzo in conformità si segnala la problematica al cliente il quale può deliberare *use as is* o *repair*. In caso di *use as is* la parte verrà accettata alla stato mentre in caso di *repair* la parte subirà lavorazioni aggiuntive secondo indicazioni del cliente per permetterne l'utilizzo nonostante la non conformità.

## 4.4 Tipi di Macchine e Strumenti per i Collaudi

Come detto in precedenza i collaudi possono essere effettuati in macchina o a banco. I controlli a banco sono realizzati a mano con strumenti di precisione e solitamente su pezzi di piccole dimensioni in cui si hanno poche misure da prelevare oppure si possono utilizzare per andare a verificare delle grandezze specifiche non rilevabili con le macchine CMM. Queste sono strumentazioni di alta precisione che vengono impiegate per misurare pezzi con molte misure da verificare perché sono automatizzate e programmabili. Queste sono macchine di diverse dimensioni a seconda delle necessità e del pezzo da misurare.

### 4.4.1 Strumenti

Gli strumenti utilizzati sono di moltissimi tipi e ne esistono di tipi diversi a seconda della misura da rilevare. Esistono strumenti classici che misurano ad esempio lunghezze, angoli, spessori e così via e altri più specifici come i tamponi passanti e non passanti che servono per effettuare misure più specifiche. Ci sono poi altri strumenti ancora più specifici come il miratore di spessori ad ultrasuoni.

Nome Strumento	Misure Rilevabili
Calibro	Lunghezze
Rugosimetro	Rugosità
Spessimetro	Spessori
Goniometro	Angoli
Tamponi Liscio	Fori non Filettati
Tamponi Filettati	Fori Filettati
Chiave Dinamometrica	Coppia di Serraggio
Misuratore di Spessori ad Ultrasuoni	Spessore Verniciatura

Tabella 4.1: Strumenti di Collaudo

Questi strumenti, come già detto, sono da controllare o da fare controllare periodicamente per mantenere la validità delle misure effettuate. È compito dell'ente qualità gestire queste operazioni per assicurarsi che i pezzi vengono collaudati correttamente.

#### 4.4.2 Macchine CMM

Le macchine CMM, ovvero *coordinate measuring machine*, sono apparecchi di diverse dimensioni che possono essere programmati per seguire un modello 3D e fornire le misure richieste. In questo modo è possibile andare a verificare che il pezzo fisico sia conforme al modello previsto in linea teorica a meno delle tolleranze. Sono fondamentali per verificare le tolleranze di forma in quanto bisogna confrontare il modello teorico con il modello reale che si costruisce la macchina.

Il costo di queste macchine è molto elevato, dell'ordine dei milioni di dollari, ma forniscono misure molto precise. Ovviamente è subito capibile che non è economicamente vantaggioso far girare queste macchine per misurare pezzi semplici ma occorre utilizzarlo per pezzi di elevata complessità (e quindi anche ad alto profitto) per ammortizzare nel modo migliore il prezzo della macchina.

Al momento in azienda sono presenti tre macchine CMM di diverse dimensioni

Produttore	Modello	Risoluzione [mm]	Campo di Misura [mm]
DEA	JOTA CMM	0.0001	1300x1000x600
DEA	DELTA CMM	0.001	4150x2550x1250
HEXAGON	DELTA SLANT	0.0001	3500x8000x2000

Tabella 4.2: Macchine CMM dell'azienda

Le due macchine prodotte dalla DEA (la *JOTA CMM* e la *DELTA CMM*) funzionano raccogliendo un numero molto alto di punti sul profilo da misurare e poi viene costruito il modello reale interpolando i punti misurati. Questo tipo di misurazione produce però un modello che di fatto non è fedele in toto al pezzo reale. Per questo motivo nel 2018 l'azienda ha acquistato la macchina prodotta dalla *HEXAGON*, la *DELTA SLANT*, che funziona con una tecnologia differente: la punta che misura il profilo del pezzo striscia sopra il pezzo e costruisce in questo modo il modello di riferimento. La misurazione sarà di conseguenza più precisa.

Oltre al motivo economico, queste macchine non possono essere utilizzate per misurare tutte le quote per via della loro conformazione: un esempio di quota non misurabile è lo spessore laterale. Per poterlo rilevare servirebbe infatti che il braccio avesse una libertà di movimento maggiore nello spazio intorno al pezzo (al contrario di come è attualmente, ovvero fisso e sopra la parte).

Questo è il motivo per cui i collaudi a banco rimangono molto importanti nel processo di produzione.

#### 4.5 Situazione *as is* dei Collaudi e Situazione Futura

La gestione dei collaudi, prima della scrittura di questa tesi, è comandata dall'*ODL* (ordine di lavoro) ovvero da un documento cartaceo su cui sono segnate le operazioni da eseguire al fine di produrre un pezzo in modo corretto. Su questo documento, detto anche ciclo di lavoro, sono segnate anche tutte le

specifiche tecniche che devono essere per forza seguite per rispettare le richieste del cliente. Il ciclo è suddiviso in fasi e ognuna di queste va timbrata dall'operatore in modo da validare il processo. Se una fase risulta non timbrata, il pezzo non procede nel suo processo e viene fermato finché non c'è la prova che l'operazione è stata eseguita.

A seconda della parte da produrre si presentano due strade per il collaudo: la via della macchina CMM e quella del collaudo da banco.

#### 4.5.1 Collaudo via CMM

Visto il funzionamento delle macchine CMM, per ogni *part number* va scritto un programma apposito. La macchina produce un *report* con il risultato delle misure e fornisce un risultato positivo o negativo in base alla conformità o meno del pezzo. La relazione viene quindi salvata e archiviata.

Come già detto, questo metodo viene utilizzato prevalentemente per pezzi di una certa importanza economica in quanto la macchina stessa è molto costosa e sarebbe di poca efficacia ammortizzarne il prezzo con parti per cui non vale la pena.

Ovviamente esistono delle tolleranze, quelle geometriche, che non possono essere prese se non in macchina. Sono le seguenti:

CHARACTERISTIC	SYMBOL	CHARACTERISTIC	SYMBOL	CHARACTERISTIC	SYMBOL
STRAIGHTNESS	—	PROFILE OF A LINE		PARALLELISM	//
FLATNESS		PROFILE OF A SURFACE		POSITION	⊕
CIRCULARITY		ANGULARITY		CIRCULAR RUNOUT	
CYLINDRICITY		PERPENDICULARITY		TOTAL RUNOUT	
* Arrowheads may be filled or not filled					6.3.1 3.64

Figura 4.1: Tolleranze Geometriche

Devono essere prese in macchina perché visto che viene creato un profilo del pezzo, che sia interpolato o meno, è possibile andare a verificare che la forma sia effettivamente compresa nella tolleranza richiesta.

#### 4.5.2 Collaudo a Banco

Per le parti più semplici o per quote misurabili con strumenti manuali si utilizza invece il controllo a banco. In questo caso la gestione del collaudo presenta due possibilità:

- Controllo a Ciclo: si applica quando è possibile utilizzare uno strumento per una misura specifica. In questo caso sul ciclo è presente una campo che va compilato direttamente dal collaudatore per registrare il valore misurato. A fianco del campo da riempire è presente il range accettabile per quel dato valore. In questo modo il ciclo non ha bisogno di documenti allegati per fungere da certificazione. Due esempi di questo caso sono la rugosità e la conducibilità.

- *Control Plan*: viene applicato quando servono più controlli con diversi strumenti per verificare la conformità di un pezzo. Viene registrato su file *excel* simile alla tabella sotto

	Val. Nominale	Massimo	Minimo	Rilevato	Esito
Controllo 1					
Controllo 2					
Controllo 3					
...					

Tabella 4.3: Simil Control Plan

Terminato il collaudo, se ne verifica l'esito e in caso affermativo la parte può procedere alle altre lavorazioni.

Una cosa molto importante riguardo ai *control plan* è che questi vanno approvati: se cambiano i controlli da effettuare (se ne viene aggiunto o tolto uno ad esempio) cambia la revisione del piano di controllo.

I controlli visivi sono invece una via di mezzo tra controllo a ciclo e piano di controllo in quanto sull'ODL non è presente il campo da riempire a mano ma non necessita neanche del *control plan* in quanto il collaudatore vede quali controlli deve eseguire cercando la specifica relativa al *part number* e guardando le fasi precedenti del ciclo stesso.

Una altra distinzione che viene fatta riguarda il tipo di pezzi da controllare: i pezzi serializzati e pezzi appartenenti a dei lotti. Se i pezzi sono serializzati, vanno collaudati tutti e devono essere riempiti tutti i campi per ogni singolo pezzo. Al contrario se i pezzi appartengono ad un lotto, si riportano i valori massimi e minimi rilevati per un certo controllo e si verifica che l'escursione massima (di tutto il lotto!) non esca dai requisiti di conformità.

La distinzione tra i due tipi di controllo è data dalla necessità del cliente, nel caso di parti serializzate, di poter avere una tracciabilità specifica per quanto riguarda ogni fase della produzione. Questo accade perché queste parti sono spesso critiche per il velivolo e si vuole di conseguenza avere una documentazione dettagliata della storia del pezzo. Al contrario per i pezzi lottizzati non sono critici e quindi la tracciabilità risulta meno stringente.

## Capitolo 5

# INFOR

INFOR è una piattaforma gestionale programmabile e modulare. In azienda è già implementata una versione per controllare molte fasi della produzione, la più importate delle quali è la gestione del flusso delle parti all'interno dell'azienda. Sul software sono infatti caricati tutti i cicli di lavoro possibili a seconda del *part number* ed è possibile seguire il pezzo all'interno del processo in modo digitale in quanto gli operatori, oltre a timbrare la fase sul foglio fisico, sono tenuti a validare le varie fasi anche in modo elettronico sul software. Tramite questo programma è anche possibile dichiarare gli scarti, gli staccati, gestire il magazzino e registrare le tracciabilità dei materiali. In questo modo utilizzando INFOR si può seguire in modo più efficace la vita di una parte, dal materiale grezzo alla vendita, sempre in nome della tracciabilità.

Il passo in avanti che si vuole fare con questa tesi è quello di aggiungere un modulo al sistema: la fase di collaudo. Prima del progetto, era una singola fase come tutte le altre del ciclo, però nella pratica il collaudo è formato da molte sotto-fasi, dettate dai *control plan*. L'obiettivo è quello di spaccettare questo blocco e di andare a specificare quali sono i singoli controlli da effettuare per completare la fase andando a sostituire, come già detto, i file *excel*. Il processo che verrà utilizzato per lo sviluppo è quello di andare a sviluppare la procedura per un singolo ciclo di lavoro, per poi estenderlo al *part number* e infine a tutti gli altri. Fondamentale sarà anche effettuare l'importazione di tutti i *control plan* già effettuati per avere un controllo più semplice di tutti i collaudi.

Il software divide tutte le operazioni che può gestire in maschere e quindi il primo passo del progetto è stato quello di andare ad aggiungere alla maschera delle operazioni correnti di un certo articolo la sezione relativa ai collaudi. Da qui si apre una finestra che riproduce in tutto un file *excel* ed è possibile quindi importare i dati da una tabella già esistente o esportarne una. Una volta completato questo passaggio si tratta di ampliare il tutto a tutti gli articoli.

La grande comodità di avere un software gestionale di questo tipo è data dal poter avere tutte le informazioni necessarie gestite da un software solo: prima il collaudatore doveva aprire il foglio corretto di un file *excel* (o seguire il ciclo cartaceo), andare a cercare il disegno relativo su *INFOR*, procedere al controllo e poi compilare i campi esatti sul file. Utilizzando solo *INFOR* la produttività e la comodità vengono aumentate e allo stesso tempo si riduce la possibilità di errore umano.

Discorso simile vale per i controlli visivi: questi collaudi vengono effettuati spesso non alla postazione fissa del collaudatore ma lungo la linea di produzione o in accettazione e quindi l'operatore non con sè il computer per controllare cosa dica esattamente una specifica o quali zone del pezzo siano da controllare (magari per uno scatto di revisione del disegno). Se invece il collaudatore è dotato di un *tablet* con *INFOR* installato sopra può accedere da qualunque parte dell'azienda ai disegni e alle specifiche richieste.

Come già detto inoltre si sta cercando di passare la gestione degli strumenti di collaudo sul software: quando questa sarà ultimata sarà possibile avere un controllo aggiuntivo: nella compilazione della tabella occorre inserire con quale strumento si è effettuato una certa misurazione. Usando i file *excel* è l'operatore che scrive l'identificativo dello strumento usato e può succedere che digiti male il codice selezionando uno strumento diverso da quello utilizzato effettivamente, magari con taratura scaduta. Con *INFOR* questo errore verrà eliminato in quanto sarà il campo stesso a suggerire all'operatore gli strumenti adatti a fare tale controllo.

In sostanza l'utilizzo di questo software porterà ad una gestione sicuramente più rigida dei collaudi ma di conseguenza più sicura e priva di errori. Il costo di questa sicurezza sarà dato dall'obbligo di seguire una procedura di lavoro senza possibilità di modificare il processo. Dal lato umano sarà quindi necessario valutare come i collaudatori e tutta l'azienda reagiranno a questo cambio di gestione verso la rigidità.

## 5.1 Fase di Test dell'Interfaccia INFOR

Partiamo dal caso più importante: il collaudo dimensionale attraverso *control plan*.

Il primo passo è stato quello di prendere un piano di controllo convalidato già esistente e di importarlo nella sezione delle operazioni correnti, ovvero la maschera in cui sono riportate tutte le fasi del processo relativo ad un articolo. Selezionando quindi la fase del collaudo si apre la finestra con le operazioni da effettuare.

Il modello di tabella che si presentava al collaudatore è quello sotto (Figura 5.1) mentre quello che si vuole proporre è una finestra di INFOR come mostrato in figura 5.2.

La schermata che si presenta è sostanzialmente la stessa in cui si ha il vantaggio di avere i campi con riempimento semplificato. L'importazione dei campi è una operazione da effettuare a mano. Qui si è presentata la prima piccola criticità del progetto: i caratteri speciali legati al disegno tecnico non sono supportati di base da INFOR ma sono da installare computer per computer. Il primo miglioramento che sarà fatto alla tabella sarà quello di aggiungere i campi con i valori accettabili di minimo e massimo in modo da avere un controllo automatico della conformità di un quota nel momento del suo inserimento, ovvero senza dover controllare "manualmente" che il valore rilevato dalla macchina CMM o dalla persona fisica sia effettivamente conforme. Questo semplice ma fondamentale passaggio è molto utile in termini di tempo risparmiato, in quanto l'inserimento dei dati rilevati avviene tramite una maschera separata.

Grazie ad un progetto parallelo, di cui ho anche assistito alle fasi finali, è stato quello dell'inserimento della gestione degli strumenti su INFOR stesso. Questi

Part Number/Numero Identificativo		Issue/Revisione		Part Name/Denominazione			Check operation/Op. di controllo		Quantity/Quantità		Route Card/ODL		S/N/S/N
Characteristics/Definizione caratteristiche		Tolerances (Tolleranze)		SIN			Tooling (Attrezzature)		Unit time for check/Tempo unitario di collaudo		Reference standards (Norme di Riferimento)		N.A.
Char. No. (N. Car.)	Reference Location (Rif. zona)	Requirements (Requisiti)	Results (Risultati)					Tooling Code (Cod. Attrez.)	NC num. (num. di NC)	Control Frequency (Frequenza di Controllo)			
1	B7	$\oplus$   $\varnothing$ .030 $\oplus$   A   B   C	MAX					CMM		10%			
2	B7	$\varnothing$ .280 $\pm$ .287						Caliper		100%			
3	C6	$\perp$   .010   A   B	MAX					CMM		10%			
4	C7	$\perp$   .010   A	MAX					CMM		10%			
5	D6	$\oplus$   $\varnothing$ .020 $\oplus$   A   B   C	MAX					CMM		10%			
6	D6	$\varnothing$ .127 $\pm$ .133						Caliper		100%			
7	C7	$\square$   .005	MAX					CMM		10%			
8	C6	.070	$\pm$ .007					Caliper		100%			
9	C7	.075	$\pm$ .007					Caliper		100%			
10	C6	.075	$\pm$ .007					Caliper		100%			
11	B6	2X .075	$\pm$ .007					External Caliper Gauge		100%			
12	A7	.075	$\pm$ .007					Caliper		100%			
13	A7	$\square$   .010   A   B   C	MAX					CMM		10%			

Figura 5.1: Control Plan Excel

Collaudi Presenti

	N. Car.	Rif. Zona	Requisiti	Tolleranze	Attrezzature	% Frequenza...	Norme di Rife...	Rev. N.
1	1	B7	Ø .030  A   B   C	MAX		10,00		
2	2	B7	Ø .280±.287			100,00		
3	3	C6	.010   A   B	MAX		10,00		
4	4	C7	.010   A	MAX		10,00		
5	5	D6	Ø .020  A   B   C	MAX		10,00		
6	6	D6	Ø .127±.133			100,00		
7	7	C7	.005	MAX		10,00		
8	8	C6	.070	±.007		100,00		
9	9	C7	.075	±.007		100,00		
10	10	C6	.075	±.007		100,00		
11	11	B6	2X.075	±.007		100,00		
12	12	A7	.075	±.007		100,00		
13	13	A7	.010   A   B   C	MAX		10,00		
	*							

Figura 5.2: Control Plan INFOR

sono gestiti tramite famiglie: se un certo controllo richiede un certo tipo di strumento, un calibro ad esempio, nella colonna "attrezzature" verrà visualizzata appunto la famiglia di strumenti da utilizzare e in una colonna aggiuntiva verrà specificato l'identificativo dello strumento effettivamente utilizzato. In questo campo sarà automaticamente attivo un filtro che mi permetterà di selezionare solo uno strumento della famiglia corretta.

Per quanto riguarda la gestione delle revisioni si è deciso di procedere come segue: nella sezione generale dell'articolo sono presenti tutti i controlli da effettuare durante la fase di collaudo, compresi quelli che appartengono ad una eventuale vecchia revisione (questa decisione è stata presa per poter mantenere in ogni caso la storicità legato al singolo *part number*): ogni controllo ha due attributi aggiuntivi, oltre a quelli legati al collaudo effettivo, lo **stato** e la **data di cambio stato**. Il primo indica se il relativo controllo è tra quelli ancora attivi sull'articolo ("approvato") oppure se questo è stato superato ("sospeso"), mentre il secondo indica la data in cui lo stato viene modificato. In questo modo quando l'operatore apre la fase del collaudo, vengono caricati nella tabella mostrata sopra solo i controlli con lo stato "approvato". Il numero della revisione è indicato sopra la tabella per semplicità.

Un punto critico è quello della "firma" dell'avvenuto collaudo, ovvero il timbro dell'operatore. Per garantire la sicurezza necessaria si è deciso di utilizzare il badge del lavoratore come firma digitale univoca. Solo passandolo sul relativo lettore è possibile andare a aprire la scheda dei collaudi, immettere le misure rilevate e terminare la fase facendo procedere la parte nel suo flusso all'interno dell'azienda.

La gestione degli altri collaudi è sostanzialmente analoga a quello riportato sopra per la verifica dimensionale. Per i controllo visivi ad esempio sarà presente un report che riporta le specifiche richieste e un campo che ne approva la realizzazione o meno.

## 5.2 Analisi dell'operatività

Andiamo ad analizzare ora come è andrà ad operare effettivamente l'operatore seguendo la logica e il flusso dei pezzi. Quando le parti sono da controllare, l'operatore scansiona il codice a barre della fase di collaudo sull'ODL cartaceo e si aprirà una maschera di INFOR in cui saranno scritti i controlli da effettuare su quella parte. Questi sono prelevati dalla tabella relativa dell'articolo e all'operatore sono mostrati solo i controlli il cui stato è "approvato", ovvero quelli relativi alla revisione corrente.

Una volta visti i controlli da eseguire, il collaudatore prepara gli strumenti da utilizzare per il *part number* in questione, nel caso che analizziamo quindi un calibro a scorrimento classico, un calibro da esterni per gli spessori e la macchina CMM. Gli strumenti vanno calibrati prima dell'utilizzo seguendo delle procedure approvate. Riporto a titolo di esempio le procedure da seguire per i tre strumenti utilizzati nel caso particolare di studio

- Calibro e Spessimetro

L'azzeramento di questi strumenti viene effettuata utilizzando i blocchetti Johnson (figura 5.3) che sono di fatto dei pezzi di metallo rettificati e di cui è noto lo spessore. Il collaudatore posiziona quindi uno di questi blocchi



Figura 5.3: Blocchetti Johnson

nello strumento per "azzerarlo". In questo modo si ha la sicurezza che la misura successiva sarà corretta.

- CMM

Per le macchine CMM l'azzeramento è concettualmente simile: la punta di misura della macchina, anche detto tastatore, va a toccare una sfera di misura di geometria nota e certificata (figura 5.6). Si costruisce quindi il modello andando e si verifica lo scostamento tra la misura e la sfera fisica. Se questo rientra in un certo range allora si può procedere alla misura dei pezzi.

Effettuata la calibrazione, il pezzo viene quindi ancorato a dei supporti specificamente progettati dall'ufficio tecnico aziendale. I supporti variano ovviamente a seconda del *part number*, anche se in fase di progetto si cerca accoppiare, ad esempio, tutti i PN di una famiglia per non produrre troppi supporti. Come si vede figura 5.7 infatti, questi hanno diversi fori adatti per poter fissare in posizione molti *part number*



Figura 5.4: Dea Delta



Figura 5.5: Dea Jota



Figura 5.6: Sfera di Azzeramento



Figura 5.7: Supporto di Misura

### 5.3 Primo Test della Piattaforma

Il primo test effettivo è stato realizzato scegliendo assieme al collaudatore un *part number*, con relativo ODL, che potesse rispecchiare tutte le caratteristiche possibili previste. Ovviamente questo non era possibile e quindi si è scelto di utilizzarne uno non serializzato ma allegando a puro scopo di prova un numero seriale ad alcuni pezzi.

La prima operazione è stata quella di creare l'ODL di riferimento per il sistema, per poi andare a caricare il piano di controllo relativo fornito dal collaudatore. La schermata che si presenta a questo punto è la seguente

Art: [REDACTED] [REDACTED] ...

ID Alternativo: 0

Oper: 50  Nota Inserita

CdL: \* ICO01 COLLAUDO PRIMARIO

Codice operazione: \* C-DIM

Standards Risorse Costi Operazioni Esterne LMA - Collaudi

Collaudi Presenti

	Rif. Zona	Requisiti	Tolleranze	Attrezzature	% Frequenza...	Norme di Rife...	Rev. N.	Stato
1 ▶	E7	3X Ø.220	-.000/+ .006	LMA-ID638	100,00		A,2	Approvato
2	E7	POS 3X .050	±.010	LMA-ID638	100,00		A,2	Approvato
3	C6	3X Ø .127±.133		LMA-ID638	100,00		A,2	Approvato
4	E5	7X .050	±.010	LMA-ID638	100,00		A,2	Approvato
*								

Figura 5.8: Operazioni Correnti Test 1

Al momento della prima prova invece la maschera che si presenta all'operatore è questa

OdL	Suff. OdL	Oper	Duplic
1 21OP001934	0000	0000	50
2 21OP001934	0000	0000	50
3 21OP001934	0000	0000	50
4 21OP001934	0000	0000	50

OdL: **21OP001934** Suff. OdL: 0000 Oper: 50

**LMA - Piano di Controllo** Riprova Accesso Con Badge

Duplicato da Operazioni Correnti

N. Car.: 10  
 Rif. Zona: E7  
 Requisiti: 3X Ø 220  
 Tolleranze: - 000/+ 006  
 Attrezzature: **LMA-ID638**  
 % Frequenza di Controllo: 100,00  
 Norme di Riferimento:  
 Rev. N.: A.2  
 Stato: **Approvato**  
 Data Cambio Stato:  
 Risultati:

Traccia SN  
 Serial Number per Char No.

Serial Number	Risultati
1 1	.221
*	

Figura 5.9: Maschera Collaudo Test 1

in cui sulla destra c'è la parte che deve essere compilata dall'operatore. La prima operazione da effettuare è quella di inserire l'ODL nell'apposita casella. Una volta inserito apparirà la richiesta di passare il badge per avere l'autorizzazione a procedere.



Figura 5.10: Richiesta Badge

Effettuata l'identificazione verranno mostrate a sinistra tutte le righe dei controlli da effettuare, mentre sulla destra sono mostrati i dettagli del singolo controllo selezionabile sulla sinistra. Le informazioni riportate in questa sezione sono quelle necessarie al collaudatore per effettuare la misura: zona di riferimento del disegno, il requisito della misura, le tolleranze, lo strumento da utilizzare (modificabile dall'operatore), la frequenza del controllo, le norme di riferimento, la revisione del disegno e lo stato di approvazione dei singoli controlli. Nella parte inferiore invece c'è la sezione del vero e proprio inserimento dei dati in cui si può inserire il numero seriale (se presente) e la misura rilevata. Nel caso di parti serializzate bisognerà avere un numero di righe uguali al numero di parti presenti nel lotto e una misura rilevata per ogni riga, mentre nel caso contrario verrà riportata la misura più bassa e quella più alta misurata sull'intero lotto.

La piatta forma a questo punto funziona ma non presenta ancora alcune criticità osservate dall'operatore:

- mancanza del *part number* nell'intestazione
- richiesta del disegno e del modello
- richiesta delle specifiche di lavorazione
- richiesta di poter avere, data la quantità del lotto, un numero di righe da inserire già esploso e non da dover inserire manualmente
- mancanza del controllo relativo alla misura inserita

Le prime tre richieste sono date dalla volontà di avere una efficienza lavorativa maggiore: il collaudatore ha bisogno di poter vedere il disegno e le specifiche se ha qualche dubbio relativo a quanto scritto sul piano di controllo. La quarta osservazione invece nasce dalla necessità di poter interrompere il collaudo garantendo la rintracciabilità dell'ultimo pezzo verificato: in questo modo l'operatore può riprendere da dove ha lasciato il lavoro senza saltare dei collaudi.

L'ultima osservazione invece riguarda il vero valore aggiunto del progetto: la verifica automatica della misura inserita. Assieme all'operatore sono state

decise le variazioni da apportare alle maschere sia in fase di preparazione del *control plan* sia in fase di compilazione. In preparazione sarà divisa la cella delle richieste per poter avere il valore minimo e quello massimo accettabili, analogamente in fase di misura (per le parti non serializzate) sarà *splittata* la cella della misurazione per poter inserire il range effettivamente misurato in due celle con massimo e minimo.

Un'altra possibile richiesta da valutare riguarda il posizionamento dei pezzi in macchina di misura: ad oggi il problema ricade sulla grande esperienza dei collaudatori. L'idea proposta è quella di generare nel tempo un database di immagini per raccogliere tutte le informazioni utili a futuri collaudatori che dovranno lavorare sugli stessi pezzi presenti ora. Le immagini che verranno raccolte potranno essere usate sia in formazione sia in caso di dubbi durante l'operatività.

La versione finale della piattaforma presenta quindi in fase di preparazione dell'articolo la seguente schermata

Standards Risorse Costi Operazioni Esterne LMA - Collaudi

Collaudi Presenti

Car.	Rif. Zona	Requisiti - Des...	Requisito Min.	Requisito Max	Tolleranza - D...	Tolleranza - M...	Tolleranza - M...	Att
1	E7	3X Ø.220			-.000/+0.006			LM.
2	E7	POS 3X .050			±.010			LM.
3	C6	3X Ø .127+.133						LM.
4	E5	7X .050			±.010			LM.
*								

Figura 5.11: Operazioni Correnti versione Finale

in cui si sono andati a esplicitare come richiesto i valori massimi e minimi accettabili. In questo modo sarà poi possibile effettuare automaticamente il controllo della misura inserita. Sono stati inseriti i campi di massimo e minimo per sia per requisito che per la tolleranza per garantire il funzionamento della piattaforma per ogni caso possibile. È chiaro però che essendo dei campi ridondanti, ne saranno utilizzati solo due, presumibilmente quelli denominati "requisito max" e "requisito min" per una maggiore chiarezza.

Per quanto riguarda la maschera propria del operatore, non mi è stato possibile vedere le modifiche effettuate in quanto le ore previste dal tirocinio sono esaurite prima di poterle vedere e in quanto il progetto è diventato, per esigenze aziendali, meno urgente.

## 5.4 Procedura di Utilizzo del Sistema

Il requisito di utilizzo del progetto era rivolto alla più totale praticità e semplicità per l'operatore in sala di collaudo.

Nella pratica l'operatore come prima cosa dovrà scansire il codice a barre presente sull'ODL con il tablet apposito oppure con il lettore dedicato e a questo punto gli sarà richiesto di passare il badge per l'autenticazione. Fatto questo potrà vedere i controlli da effettuare, misurerà quindi le quote necessarie e compilerà i campi.

Una volta inseriti i dati delle misurazioni sarà possibile allegare anche le foto dei pezzi per dimostrare che il controllo sia stato effettivamente eseguito ma anche per portare in evidenza una eventuale non conformità dei pezzi. In questo modo in fase di *quality clinic*, durante la chiusura delle ODC o semplicemente in caso di consultazione sarà possibile avere accesso alle foto per poter ricostruire in modo più preciso la vita delle parti. Grazie al controllo automatico dei dati sarà molto più facile ed efficiente per i collaudatori capire se la parte è conforme al disegno, migliorando i tempi di collaudo ed aumentando di conseguenza la produttività dell'intera azienda.

Se tutte le misurazioni risultano in tolleranza il pezzo proseguirà nel processo produttivo, altrimenti verrà aperto una non conformità che sarà da gestire in un momento differente.

## Capitolo 6

# Conclusione

Il sistema proposto presenta buonissime potenzialità. Al momento della sua ultimazione credo che sarà un ottimo strumento per limitare i possibili errori che si possono presentare per motivi umani. È però un sistema molto rigido da punto di vista del processo: in ottica anche di possibile vendita della piattaforma sarà necessario che gli acquirenti considerino pesantemente il fatto di non poter in nessun caso saltare la fase di collaudo di un pezzo, eliminando di fatto il controllo a campione che viene a volte effettuato per velocizzare la produzione e la fatturazione.

Per quanto riguarda *L.M.A.* invece è una buona rampa di lancio per ottimizzare tutta la catena di collaudo in vista del prossimo *step* della piattaforma che comincerà ad essere implementato nei primi mesi dell'anno 2022. Questo passaggio in più sarà la gestione delle non conformità su INFOR, ad oggi eseguita tramite un database *access*. Anche in questo caso la scomodità di avere la gestione su due programmi diversi, che ha portato in passato a lavorare alcuni non conformi, sarà superata. L'ambiguità era data dal fatto che al file di delle non conformità ha accesso solo l'ente qualità e di conseguenza è possibile che, tra tutte le parti prodotte, qualcuna sia stata mandata avanti erroneamente. Questo tipo di errori saranno quindi evitati nel momento in cui su INFOR, e quindi per tutti gli uffici, i pezzi risulteranno non conformi e quindi bloccati. Quando sarà implementata anche questa parte del programma sarà quindi molto più semplice gestire tutte le fasi della qualità interna ed esterna andando a migliorare in realtà tutta la gestione dei pezzi all'interno di tutta l'azienda. In particolare i settori che beneficeranno di questo miglioramento sono la logistica e i *program manager*.

# Glossario

## Macchine a 3 assi

Sono macchine che effettuano una lavorazione meccanica, ad esempio una sgrossatura, una finitura o una alesatura potendo spostare la punta dell'attrezzo lungo i tre assi principali.

## Macchine a 5 assi

Sono macchine che effettuano le stesse operazioni di una macchina a 3 assi ma hanno il vantaggio di poter ruotare la punta dell'attrezzo lungo 2 degli assi garantendo una maggiore precisione della lavorazione. Un altro vantaggio è il poter svolgere le stesse operazioni di una macchina a 3 assi in modo più semplice per l'operatore, diminuendo quindi il tempo di produzione di un pezzo e riducendo di conseguenza i costi di produzione.

## Calibro Digitale

È la versione digitale del calibro classico.

Tipo di Misura	Campo di Misura [mm]	Risoluzione [mm]
Lunghezze	0-150	0.01

Tabella 6.1: Calibro



Figura 6.1: Calibro Digitale

## Spessimetro

Serve per misurare gli spessori. È molto importante perché serve per effettuare delle misurazioni complementari alle macchine CMM per il funzionamento stesso della macchina.



Figura 6.2: Spessimetro

Tipo di Misura	Campo di Misura [mm]	Risoluzione [mm]
Spessori	0.05-1.00	0.05

Tabella 6.2: Spessimetro

## Rugosimetro Digitale

Serve per misurare le rugosità dei materiali.



Figura 6.3: Rugosimetro Digitale

Tipo di Misura	Campo di Misura [Ra]	Risoluzione [ $\mu\text{m}$ ]
Rugosità	0.05-50	0.01

Tabella 6.3: Rugosimetro Digitale

## Tampone Liscio e Filettato

Servono per misurare le dimensioni dei fori, sia filettati che non filettati. Il campo di misura varia a seconda del tampone scelto perché è specifico per ogni foro e la risoluzione è data dal passaggio o meno del tampone stesso.



Figura 6.4: Tampone Filettato

Tipo di Misura	Campo di Misura [mm]	Risoluzione [mm]
Dimensioni Foro e Filetto	Variabile	/

Tabella 6.4: Tampone Filettato



Figura 6.5: Tampone Liscio

Tipo di Misura	Campo di Misura [mm]	Risoluzione [mm]
Dimensioni Foro	Variabile	/

Tabella 6.5: Tampone Liscio

## Chiave Dinamometrica

Serve per misurare il serraggio delle viti. Il suo campo di misura e la sua risoluzione variano, quella in foto ad esempio ha le caratteristiche scritte in tabella



Figura 6.6: Chiave Dinamometrica

Tipo di Misura	Campo di Misura [N m]	Risoluzione [N m]
Coppia di Serraggio	4-20	0.01

Tabella 6.6: Chiave Dinamometrica

### Misuratore di Spessori a Ultrasuoni

Serve per misurare gli spessori di grandezze non rilevabili in altro modo con prove non distruttive.



Figura 6.7: Spessimetro a Ultrasuoni

Tipo di Misura	Campo di Misura [mm]	Risoluzione [mm]
Spessori	0.2-400	0.1

Tabella 6.7: Spessimetro a Ultrasuoni

## Hexagon DELTA SLANT

La nuova macchina di misura



Figura 6.8: Hexagon Delta Slant

## Letto Badge

Il lettore utilizzato per la firma digitale



Figura 6.9: Lettore Badge

# Bibliografia

- [1] *Dimensioning and Tolerancing - Engineering Product Definition and Related Documentation Practices* , about ASME Y14.5