



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE DIN

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA MECCANICA
CURRICULUM IMPIANTI INDUSTRIALI**

***METODO DEL DESIGN FOR ASSEMBLY
APPLICATO AD UNA VALVOLA
“FLOATING BALL”***

**TESI DI LAUREA MAGISTRALE
IN
INGEGNERIZZAZIONE DEL PRODOTTO**

Relatore

Prof.essa Daniela Francia

Presentata da

Paolo Martone

Correlatore

Prof. Alfredo Liverani

Sessione II

Anno Accademico 2022/2023

RINGRAZIAMENTI

INDICE

INTRODUZIONE.....	6
1.METODO DEL DESIGN FOR ASSEMBLY	10
1.1 Dal Design inteso come disciplina fino all'Industrial Design	10
1.2 Il Design for X	11
1.3 Il Design for Assembly	14
1.3.1 Approcci di base per l'implementazione di Design for Assembly	15
1.3.2 Obiettivi	15
1.3.3 Attuazione del metodo	16
1.3.4 Principi di progettazione per l'assemblaggio.....	17
1.3.5 Considerazioni sul processo di assemblaggio	20
1.3.6 Impatto del DFA	20
1.4 I metodi di analisi del Design for Assembly	21
1.4.1 Metodo di valutazione dell'assieme Hitachi.....	22
1.4.2 Il metodo Boothroyd-Dewhurst	26
1.4.3 Il metodo di valutazione Lucas DFA	31
2.RIPRODUZIONE CAD VALVOLA FLOATING BALL.....	36
2.1 Introduzione sulle valvole a sfera	36
2.1.1 Il principio di funzionamento della valvola a sfera.....	37
2.1.2 Principio di struttura di valvola a sfera	38
2.1.3 Classificazione delle valvole a sfera	38
2.1.4 Vantaggi della valvola a sfera	40
2.1.5 Svantaggi della valvola a sfera.....	41
2.2 Installazione e manutenzione della valvola a sfera	42
2.2.1 Smontaggio	42
2.2.2 Rimontaggio.....	43
2.3 Valvola a sfera flottante ASME B16.34 API608	44
2.4 Riproduzione su software CAD Creo Parametric 7.0.8.0	49
2.4.1 Involucro esterno.....	51
2.4.2 Meccanismo interno	53
2.4.3 Meccanismo di avviamento on/off.....	55
2.4.4 Assieme completo della valvola a sfera flottante.....	59
3.APPLICAZIONE DEI METODI DEL DFA AL CASO STUDIO .	61
3.1 Il caso studio	61

3.2 Applicazione del metodo AEM.....	64
3.3 Applicazione del metodo Boothroyd-Dewhurst.....	67
3.4 Applicazione del metodo Lucas	71
3.5 Ottimizzazione della valvola a sfera flottante	74
3.5.1 AEM Method	78
3.5.2 Metodo DFA	79
3.5.3 Metodo Lucas.....	80
CONCLUSIONI.....	81
SITOGRAFIA	84

INTRODUZIONE

Albert Einstein una volta disse:

"Il miglior design è quello più semplice che funziona".

Obiettivo del presente elaborato è l'applicazione del Design for Assembly ad una valvola a sfera flottante, denominata *floating ball*.

In un ambito competitivo come quello dell'industria odierna, dove innovazione, efficienza e velocità di adattamento alle nuove esigenze sono requisiti fondamentali, assume sempre più importanza l'acquisizione e l'impiego di elevate competenze progettuali che consentano di poter sviluppare un nuovo prodotto, o migliorare uno esistente, nel minor tempo possibile e minimizzando i costi per la sua implementazione.

Il modo di agire è teso alla qualità totale, che si manifesta nella vocazione al miglioramento continuo, che può non essere sufficiente; occorre determinazione nell'immaginare le cose anche in un modo diverso e che siano realizzabili considerandone i costi.

L'innovazione propone continue sfide d'ingegno che devono contemplare idee e costi, per giungere alla sfida fondamentale rappresentata dal mercato, perché alla fine del percorso ciò che è stato ideato deve essere tempestivamente a disposizione dei potenziali utilizzatori.

In particolare, il software assume un ruolo sempre più importante ed è chiamato sempre più spesso a gestire esigenze di programmazione, simulazione, studio di fattibilità, monitoraggio e molto altro ancora. La quarta rivoluzione industriale ha cambiato e sta tuttora cambiando il ruolo del software che sempre più spesso abbandona la tradizionale programmazione a bordo macchina per creare attraverso i CAM percorsi di lavorazione. Ad oggi la macchina utensile deve essere considerata a tutti gli effetti come un terminale; le tecnologie del software industriale sono in continua evoluzione e, con esse, i benefici derivanti dalle infrastrutture IT nel percorso di digitalizzazione delle imprese.

Tra i tanti suoi effetti la globalizzazione ha anche quello di rendere alcune tipologie di prodotti elettronici indistinguibili tra loro; per ovviare a ciò occorre riconoscere l'importanza del design industriale come punto di forza per conferire carattere, riconoscibilità e valore aggiunto al prodotto.

Tutti questi motivi e la maturità acquisita all'interno del percorso di studi, mi hanno spinto a intraprendere un lavoro di tesi su queste tematiche che reputo fondamentali e di primo impatto nel contesto storico odierno.

L'intero panorama del settore AEC, Architecture Engineering Construction, ha subito nell'ultimo decennio un rapido cambiamento ed il design è divenuto sempre più importante nell'industria moderna giungendo al concetto di *industrial design*, che attraverso la progettazione del prodotto industriale, definisce fine, forma, materiale e tecnologia per realizzare un bene.

Tutti gli strumenti impiegati costituiscono il Design For X, DFX; alla X si associa un processo, *manufacturability*, *inspectability*, *assembly*, del quale sia possibile misurare efficienza e/o efficacia al fine di poter stabilire obiettivi da conseguire.

La progettazione ingegneristica tradizionale segue una determinata sequenza dalla ricerca al collaudo per il miglioramento della progettazione ed il DFX presenta caratteristiche che lo rendono un'alternativa migliore alle procedure tradizionali in quanto sposta identificazione e risoluzione di problemi da dopo a prima della fase di progettazione, risparmiando tempo e denaro.

Il capostipite dei tools DFX è il Design for Manufacturing and Assembly, DFMA, che consiste nella semplificazione del design di un prodotto al fine di facilitarne la produzione.

L'avvento del paradigma Industria 4.0, con i principi di *mass customization*, ha ulteriormente rilanciato l'utilità e il potenziale del DFA che si colloca in fase di ingegnerizzazione di prodotto e di processo.

I tipici punti di partenza sono la distinta base del prodotto, l'esploso e il diagramma di assemblaggio ed il processo è iterativo e mirato. Al DFA è associato un costo diretto inteso come maggior onere in fase di progettazione e, con esso, un probabile allungamento della fase di design dei nuovi prodotti.

I metodi di analisi del Design for Assembly sono: Assembly Evaluation Method, AEM, il metodo DFA Boothroyd Dewhurst e The Lucas Design for Assembly Methodology.

La valvola a sfera è stata ideata intorno al 1950 e si è rapidamente sviluppata in una delle principali classi di valvole; essa è composta principalmente da sede valvola, sfera, anello di tenuta, valvola, asta e altri dispositivi di guida.

La valvola oggetto di studio è la Valvola a sfera flottante ASME B16.34 API608, con il software *PTC Creo Parametric*, una soluzione CAD, CAM e CAE 3D parametrica per ambiente Windows, ideale per progettazioni che richiedono modellazione solida, modellazione e disegno di assiemi, modellazione parametrica, superfici e analisi di elementi finiti., vengono modellati i singoli componenti in CAD 3D, con le relative tavole CAD 2D e la costruzione dell'assieme completo con le relative viste in sezione ed esplose.

Nello specifico vengono analizzati, come aree di componenti: involucro esterno, meccanismo interno ed il meccanismo di avviamento on/off.

Successivamente si applicano i tre metodi di valutazione dell'assemblaggio alla valvola, al fine di poter esaminare il dispositivo così come presente in commercio; ne viene poi proposto un modello alternativo seguendo le linee guida per migliorare il design per l'ottimizzazione dell'assemblaggio, verificando successivamente un eventuale miglioramento degli indici di montaggio. Preliminarmente, si fornisce una vista esplosa del dispositivo riprodotta al CAD e la rispettiva distinta base.

Si determina la sequenza ottimale di assemblaggio dei componenti, punto di partenza per il calcolo dell'indice di assemblaggio con il *metodo di Hitachi*.

Stabilito il numero di componenti e la loro ricorrenza si applica il *metodo DFA Boothroyd Dewhurst* per valutare l'ottimizzazione dell'assemblaggio attraverso il parametro *Design efficiency* e per determinare il numero minimo teorico di parti per un funzionamento efficiente.

Infine, con il *metodo Lucas* si distinguono i componenti indispensabili e non per il funzionamento del prodotto e viene calcolato il parametro *Design efficiency* attraverso la *feeding analysis* e la *fitting analysis*.

A valle dell'applicazione dei tre metodi viene proposto un modello ottimizzato della valvola a sfera flottante sottoponendolo a successiva analisi con i predetti metodi per valutare l'effettivo miglioramento dei parametri.

1. METODO DEL DESIGN FOR ASSEMBLY

1.1 Dal Design inteso come disciplina fino all'Industrial Design

Il design è stato tradizionalmente inteso sia come una competenza disciplinare specifica, attribuzione di struttura, forma e caratteristiche agli artefatti che ci circondano, che come un processo capace di mediare tra le varie componenti intangibili dei prodotti: ovvero i fattori relativi all'uso, alla fruizione e al consumo individuale e sociale del prodotto, fattori funzionali, simbolici o culturali, con fattori associati alla produzione, fattori tecnico-economici, tecnico-costruttivi, tecnico-sistemici, tecnico-produttivi, tecnico-distributivi.

L'intero panorama del settore AEC, Architecture Engineering Construction, ha subito nell'ultimo decennio un rapido cambiamento, grazie principalmente all'evoluzione e all'adozione di tecnologie digitali all'interno dei processi progettuali, dalle fasi di progettazione preliminare fino alla fabbricazione e costruzione. Il design ha incominciato così ad occupare una fetta importante dell'industria moderna, giungendo ad un concetto importante quale quello dell'industrial design.

Industrial design è il processo di progettazione teso a soddisfare un determinato bisogno; attraverso la progettazione del prodotto industriale vengono definiti lo scopo, la forma, il materiale e la tecnologia per la realizzazione del bene.

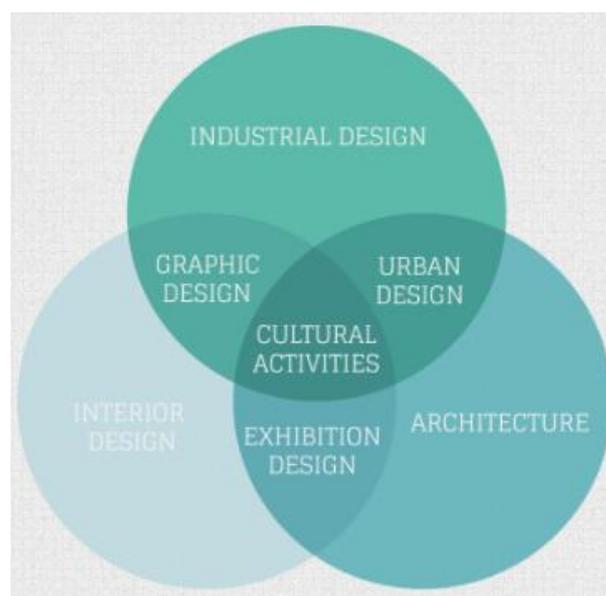


Figura 1.1: Panoramica del settore AEC

1.2 Il Design for X

Per Design for X, DFX, si intendono tutti gli strumenti utilizzati in progettazione che abbiano come scopo il miglioramento delle prestazioni di un processo inerente alla fabbricazione di un prodotto. Alla X si associa pertanto un processo, che può essere manufacturability, inspectability, assembly, del quale sia possibile misurare l'efficienza e/o l'efficacia in modo da poter stabilire obiettivi da conseguire con l'applicazione della tecnica.

È essenzialmente composto da quattro parametri di progettazione di cui bisogna tener conto per una corretta esecuzione lavorativa:

DFM: Design for Manufacturing

DFA: Design for Assembly

DFD: Design for Disassembly

DFE: Design for Environment



Figura 1.2: Il Design nelle varie fasi del ciclo di vita di un prodotto

Pensare al design for X vuol dire approcciarsi ad un modo completamente nuovo di guardare alla progettazione ingegneristica. La progettazione ingegneristica tradizionale segue una determinata sequenza dalla ricerca al collaudo per il

miglioramento della progettazione. Una sequenza generale di progettazione ingegneristica è:

- Identificare un problema mediante osservazione, indagine, sperimentazione o una combinazione di entrambi.
- Ricercare il problema in dettaglio per raccogliere quante più informazioni pertinenti possibili.
- Brainstorming di possibili soluzioni; si effettua una selezione ottimale dopo aver valutato i pro e i contro di ogni soluzione.
- Stilare il progetto ed eseguire i calcoli necessari.
- Creare un prototipo.
- Effettuare test su vari fronti per garantire che il prototipo possa risolvere il problema originale.
- Migliorare il prodotto secondo necessità prima della produzione di massa.

Questo tipo di approccio lineare può essere problematico e costoso in molti casi, impedendo di raggiungere il pieno potenziale della progettazione ingegneristica. Il design per il processo X presenta alcune caratteristiche che lo rendono un'alternativa migliore alle sue alternative tradizionali.

I problemi nel tradizionale processo di progettazione ingegneristica vengono solitamente identificati e corretti dopo la fase di progettazione; correggere tali problemi può rivelarsi estremamente costoso in molti casi. Il DFX sposta la risoluzione di questi problemi ad una fase iniziale di progettazione, risparmiando tempo e denaro. Infatti:

- Si impegna a ridurre il numero di iterazioni del prodotto e cerca di ottenere il design migliore fin da subito, creando vari progetti virtuali e svolgendo simulazioni in alternativa ai test fisici.
- Riduce il numero di strumenti necessari per la progettazione limitandolo ad un set standard per una maggiore efficienza, area toccate dal DFM.
- Il suo ambito è più ampio e inclusivo rispetto alla normale progettazione ingegneristica; utilizzando i principi di progettazione all'interno delle varie aree la metodologia DFX aumenta il valore riducendo i costi dei prodotti.

- Considerando DFX molti aspetti dello sviluppo del prodotto si ha che il ruolo del team di progettazione è molto più importante di quello nella progettazione ingegneristica tradizionale; pertanto, DFX incentiva una maggiore collaborazione tra progettisti, fornitori e produttori.
- Aumentando la comunicazione e riducendo i costi di rilavorazione, DFX riduce considerevolmente il time-to-market per qualsiasi prodotto.

Altre caratteristiche salienti di DFX abbastanza auto esplicative sono:

- Riduzione dei costi totali di sviluppo del prodotto
- Riduzione del rischio di errore di montaggio del prodotto
- Maggiore efficienza operativa
- Aumento della resa produttiva
- Maggiore soddisfazione del cliente

Il capostipite dei tools DFX è il Design for Manufacturing and Assembly, DFMA. Il Design for Manufacture and Assembly è un approccio progettuale che ha origine durante il secondo conflitto mondiale, quando i due produttori automobilistici Ford e Chrysler lo applicarono ai processi produttivi del comparto bellico; esso combina due discipline distinte in unico approccio: il Design for Manufacturing e il Design for Assembly.

Il Design for Manufacturing consiste nella semplificazione del design di un prodotto al fine di facilitarne la produzione; si occupa di selezionare i materiali più idonei e di definire i processi produttivi più efficienti ed efficaci, con l'obiettivo di minimizzarne la complessità di ogni operazione.

Il Design for Assembly consiste nella progettazione al fine di semplificare l'assemblaggio di un prodotto e delle sue parti costituenti; si preoccupa di ridurre i costi di assemblaggio e di minimizzare il numero di operazioni necessarie.

L'integrazione di tali discipline consente una progettazione conscia dei processi necessari alla produzione e all'assemblaggio di un determinato prodotto, modificando l'approccio tradizionale di natura sequenziale con uno non lineare, interessato all'intero ciclo vitale del prodotto.

1.3 Il Design for Assembly

Sebbene i principi di Design for Assembly e Design for Manufacturing siano spesso considerati come un unico soggetto e combinati in Design for Manufacturing and Assembly sono metodologie separate.

Il processo di assemblaggio comprende le procedure di montaggio di utensili, dispositivi di controllo e maschere necessarie per eseguire le operazioni di assemblaggio. Al fine di stabilire il metodo di assemblaggio ottimale, nonché il suo grado di differenziazione, devono essere analizzati i principali fattori che influenzano il processo di assemblaggio come ad esempio batch di produzione, caratteristiche costruttive del prodotto e attrezzature di produzione disponibili. I progettisti hanno utilizzato nel tempo il DFA per analizzare efficacemente la facilità di assemblaggio dei prodotti o dei sottoassiemi che progettano. Applicando il DFA, la comunicazione tra la produzione e l'ingegneria di progettazione viene migliorata e le idee, i ragionamenti e le decisioni prese durante il processo di progettazione diventano ben documentate per riferimenti futuri.

Il processo di progettazione di base per l'assemblaggio prevede tre quesiti per ogni parte di un assieme:

1. Se la parte deve spostarsi rispetto alle altre parti dell'assieme
2. Se la parte è realizzata in materiale diverso per motivi estetici o funzionali
3. Se la parte deve essere separata per garantire l'accesso ad altre parti o per poter effettuare riparazioni e manutenzioni

Quando non si riesce ad evadere tutti i succitati quesiti, la parte dovrebbe molto probabilmente essere combinata con un'altra parte dell'assieme.

Con il DFA sostanzialmente si progetta il prodotto per facilitarne e ottimizzarne la produzione ed in particolare il montaggio, fase tuttora ad elevato valore aggiunto e spesso poco automatizzabile. L'avvento del paradigma Industria 4.0, con i principi di *mass customization*, ha ulteriormente rilanciato l'utilità e il potenziale del DFA.

Naturalmente, il contributo innovativo degli esperti è necessario quando si utilizza il software per DFA. Difatti nel momento di stabilire la sequenza delle procedure di

assemblaggio e di selezione delle apparecchiature appropriate, gli utenti del software devono utilizzare la loro esperienza.

1.3.1 Approcci di base per l'implementazione di Design for Assembly

Esistono quattro approcci di base per l'implementazione di Design for Assembly:

1. Principi e regole di progettazione: basati sulla conoscenza orientata all'uomo; possono anche coinvolgere, progettare collettivamente i dati e convertire la conoscenza dell'assieme in progettazione di principi, regole e linee guida.
2. Procedure di valutazione quantitativa: si basano sulla procedura di valutazione e devono anche determinare il processo di assemblaggio operazione per operazione. Quindi, viene calcolato tutto il quantitativo misurato.
3. Approccio esperto/basato sulla conoscenza: si basa sulla conoscenza e sulla tecnologia. Esso è una base di conoscenza, inferenza, comunicazione e acquisizione di conoscenza.
4. Metodi DFA assistiti da computer: i sistemi DFA sono integrati con il software CAD il cui scopo è la rappresentazione di oggetti tecnici e procedure per l'estrazione e l'elaborazione degli attributi di assemblabilità da modelli CAD 3D.

1.3.2 Obiettivi

Dalla sua definizione si colgono due delle possibili strade da poter percorrere per progettare in logica DFA:

1. Ridurre il numero di parti da montare
2. Ridurre o semplificare il numero di interfacce parte-parte, cioè il numero o la complessità delle azioni elementari di montaggio utili ad unire tra loro due o più parti.
3. Risparmiare nei costi di assemblaggio e fabbricazione
4. Aumentare la flessibilità e la velocità di distribuzione
5. Ridurre i costi e i tempi di sviluppo prodotto
6. Aumentare la competitività nel proprio segmento di mercato

7. Soddisfare esigenze del cliente
8. Progettare in maniera “robusta” il prodotto/sistema.

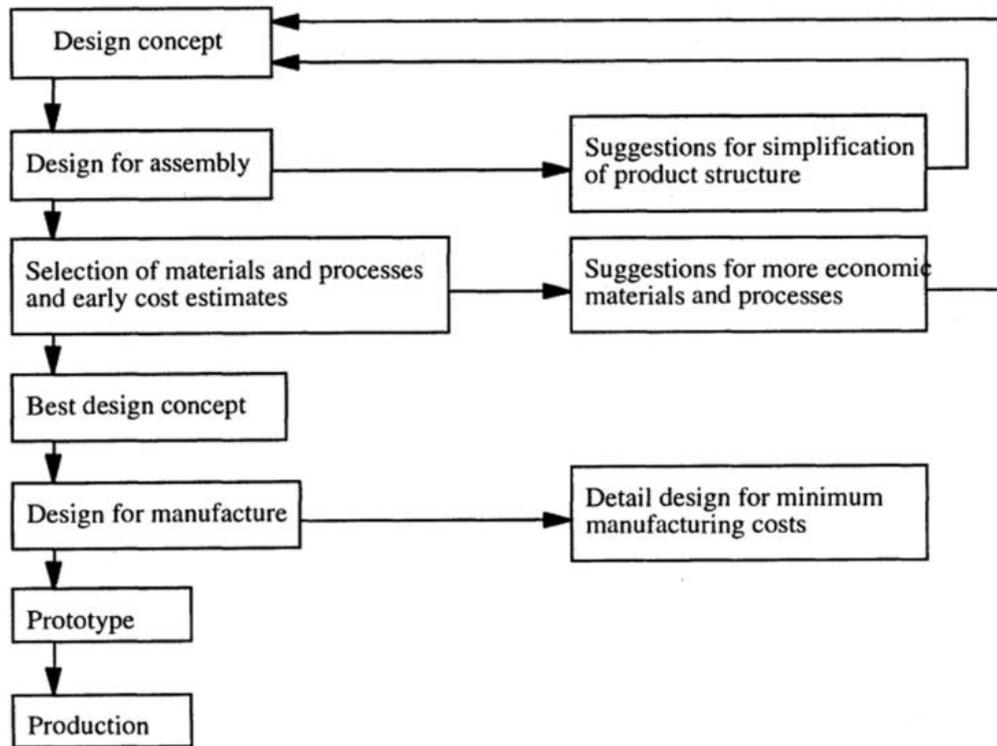


Figura 1.2: Obiettivi e schematizzazione delle operazioni del DFA

1.3.3 Attuazione del metodo

L’attuazione del DFA si colloca in fase di ingegnerizzazione di prodotto e di processo, quindi a valle dello sviluppo/prototipazione e prima della messa in produzione. Si configura come una tipica attività di squadra richiedendo competenze multidisciplinari, dal progettista al tecnologo di processo, all’esperto di materiali fino agli operatori di linea e ai montatori che più di tutti conoscono le migliori strategie.

I tipici punti di partenza sono la distinta base del prodotto, l’esploso e il diagramma di assemblaggio, ancorché preliminari. Il processo è iterativo e mirato, per ogni componente, o insieme di componenti identici, a un suo passaggio ai raggi X con lo scopo di coglierne l’essenzialità per assicurare la funzionalità del prodotto finito.

Concluso il processo, restano individuati i componenti costitutivi: la cosiddetta quantità minima teorica, limite inferiore del numero di componenti distinti da

realizzare e montare per ottenere il prodotto finito integro e funzionante. Motivazioni pratiche, di semplicità realizzativa, di fattibilità attesi i mezzi di produzione in dotazione potranno far eccedere tale valore minimo. La buona pratica progettuale suggerisce un rapporto tra quantità minima teorica di componenti e numero effettivo di componenti a distinta base definitiva non inferiore al 60%.

In sintesi, le linee guida che il metodo DFA introduce nella progettazione sono:

- Ridurre il numero di componenti e la loro varietà
- Ridurre e semplificare le interfacce di montaggio e quindi il rischio di montaggi sbagliati attraverso:
 - Interfacce autocentranti
 - Interfacce auto-allineanti
 - Interfacce visibili e facilmente accessibili ai montatori
 - Interfacce facilmente manipolabili
 - Simmetrie di montaggio e/o evidenti asimmetrie
 - Ridotti riposizionamenti del pezzo sul piano di lavoro

1.3.4 Principi di progettazione per l'assemblaggio

I principi fondamentali del DFA da tener presenti sono:

- Riduzione al minimo del numero di parti: il numero totale di parti in un prodotto è un indicatore chiave della qualità del design. I buoni prodotti in realtà hanno meno parti e di solito finiscono per essere più durevoli e più facili da produrre e riparare. Mantenere l'inventario delle parti il più basso possibile contribuirà a ridurre i tempi di assemblaggio e quindi i relativi costi. Meno componenti diversi eviteranno confusione con conseguente riduzione dei problemi di assemblaggio. Occorre tener conto che componenti eccessivamente complessi potrebbero anche avere un effetto indesiderato sui costi di produzione. Quando si implementano i principi del DFA, la comunicazione tra progettisti e altri reparti è la chiave per determinare l'alternativa più economica.

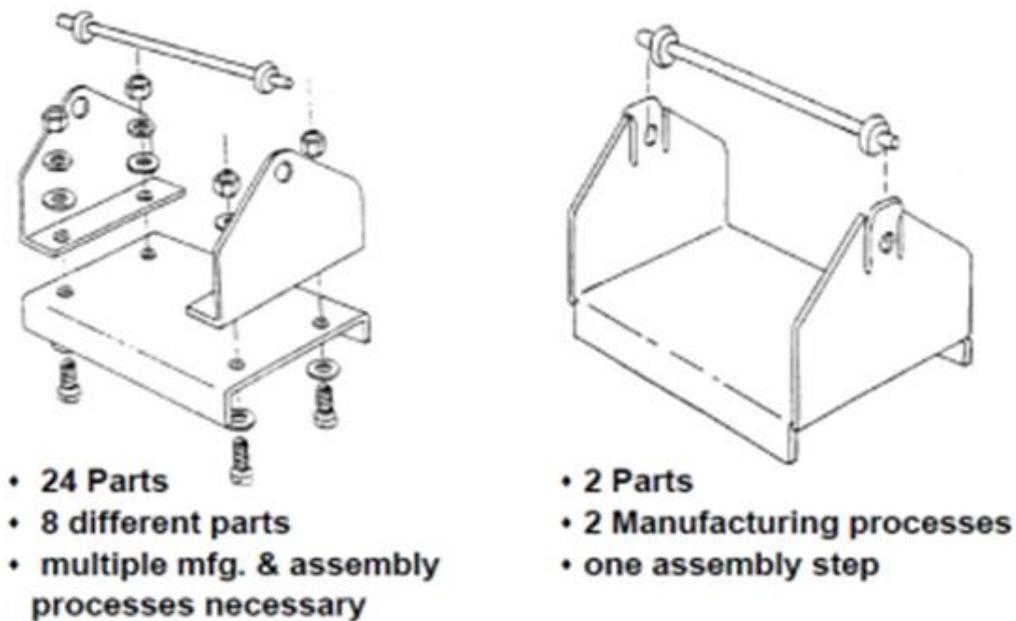


Figura 1.3: Esempio di riduzione del numero di parti di un componente

- Modularità: incorporare assemblaggi modulari nella produzione può essere uno dei maggiori risparmi di tempo, soprattutto se si dispone di una gamma di prodotti simili. Il design modulare ha anche vantaggi secondari in quanto i prodotti sono spesso più facili da riparare e personalizzare, aumentando di fatto la loro utilità e il ciclo di vita.
- Elementi di fissaggio incorporati: diversi tipi di elementi di fissaggio, come viti, rivetti e bulloni, dovrebbero sempre essere considerati come cruciali per la progettazione. Sebbene gli elementi di fissaggio siano piuttosto economici da soli, il processo di installazione richiede davvero molto tempo. Inoltre, gli elementi di fissaggio filettati sono noti per essere la causa della maggior parte dei difetti della catena di montaggio. Si possono incorporare elementi di fissaggio nella progettazione del prodotto per accelerare l'assemblaggio. Gli elementi di fissaggio incorporati come i bottoni automatici e gli elementi di fissaggio adesivi spesso non richiedono alcuna attrezzatura di produzione speciale e semplificano l'assemblaggio. Potrebbe non essere sempre possibile eliminare completamente gli elementi di fissaggio, ma per facilità di montaggio, è possibile utilizzare una quantità minima di diversi tipi e dimensioni. Idealmente, si dovrebbe mirare a utilizzare parti comuni e gli stessi strumenti non solo per l'intero assemblaggio, ma per l'intera linea di prodotti.

- Simmetria delle parti: la creazione di un progetto simmetrico riduce il tempo necessario per il riorientamento. È necessario adattare i componenti in entrambi i sensi, in modo che l'addetto all'assemblaggio non debba sprecare tempo a capire il modo corretto di inserire una parte.
- Correzione degli errori: utilizzare i principi del *poka-yoke*, termine giapponese che identifica uno strumento o una procedura che previene la creazione di difetti nel processo di gestione ordini o in quello produttivo sotto forma di ostacoli fisici per impedire che i componenti vengano montati in modo errato. Anche l'aggiunta di una semplice tacca renderà più facile l'identificazione e l'assemblaggio; assicurarsi che una parte non possa essere assemblata in modo errato eviterà molti problemi lungo la linea.
- Utilizzo di parti standard in commercio: ridurre la quantità di lavorazioni e lavorazioni personalizzate realizzate internamente e incorporare prodotti commerciali pronti all'uso, COTS, nella progettazione del prodotto può far risparmiare molto tempo e denaro. Alcuni esempi includono motori, ingranaggi, molle, custodie. Ciò non solo ridurrà i costi di assemblaggio nella produzione, ma contribuirà anche ad accelerare il processo di progettazione del prodotto con meno parti su cui concentrarsi.
- Uso di tolleranze ragionevoli: sebbene con le moderne attrezzature di ingegneria meccanica sia possibile produrre parti con tolleranze estremamente precise, ciò non significa che sia sempre necessario. La lavorazione di precisione richiede più tempo e aumenta i costi di produzione; avere tolleranze troppo stringenti può causare potenziali problemi di assemblaggio, anche se le parti finiscono per essere leggermente fuori specifica.
- Ottimizzazione della manovrabilità dei componenti: quando possibile, i componenti rigidi sono preferiti a quelli flessibili, perché la loro manipolazione è più facile. Le superfici adeguate sono progettate per la presa meccanica.
- Fornitura di parti con caratteristiche di autobloccaggio integrate
- Evitare elementi di presa separati

Considerare tutti questi aspetti durante la fase di sviluppo del prodotto garantirà costi di produzione complessivi inferiori, aumentando a sua volta le entrate potenziali.

Benché il DFA possa sembrare molto incentrato sul produttore, molte di queste caratteristiche saranno apprezzate anche dal cliente finale.

1.3.5 Considerazioni sul processo di assemblaggio

Bisogna tener conto di evitare componenti troppo piccoli o troppo grandi e fornire alle parti caratteristiche che ne facilitino la presa, lo spostamento, l'orientamento e l'inserimento. L'utilizzo di parti e feature auto-allineanti e auto-posizionanti nella progettazione del prodotto può accelerare notevolmente l'assemblaggio. A volte aggiungere solo un piccolo smusso o una fossetta al design può fare un'enorme differenza, così come prestare attenzione a certi tipi di elementi (molle, oggetti a forma di coppa, ecc.) che sono noti per aggrovigliarsi e incastrarsi insieme.

Quando un addetto all'assemblaggio deve dedicare tempo a districare o separare parti nidificate, si spreca denaro e potenziale.

1.3.6 Impatto del DFA

Al DFA è associato un costo diretto inteso come maggior onere in fase di progettazione e, con esso, un probabile allungamento della fase di design dei nuovi prodotti. A fronte di ciò, con effetto di gran lunga più che proporzionale, se ne ricavano ampi benefici in reparto. Non soltanto in termini di riduzione dei tempi ciclo e, quindi, di aumento della produttività ma anche e soprattutto per certi aspetti, in termini di riduzione netta delle non conformità, dei montaggi errati e delle conseguenti rilavorazioni a valle dell'ispezione intermedia o finale senza sprechi di tempo, materiali e risorse produttive. A ciò si aggiunga l'aiuto offerto dai moderni sistemi di fabbricazione 4.0: taglio, punzonatura e piega sono sempre più frequentemente realizzati con flessibilità, rapidità e precisione, ottenendo, a costi decrescenti ed in sempre minore tempo, componenti a geometria anche molto complessa. Il saldo netto è generalmente più che positivo e l'impatto del DFA sul sistema impresa è, in molti settori, dirimente. Ciò è tanto più vero quanto più le consegne sono ravvicinate ed i margini di errore limitati.

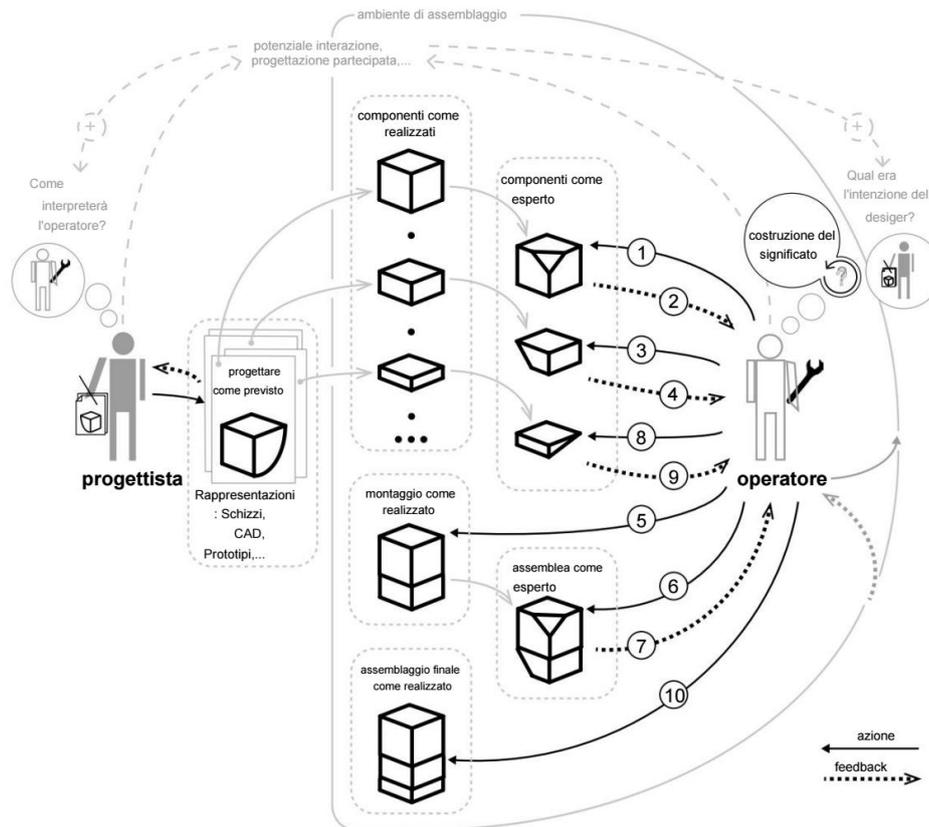


Figura 1.4: Esempio di mediazione di componenti e sottoinsiemi, fino alla costruzione dell'assieme partendo dalla fase di progettazione alla fase di costruzione

1.4 I metodi di analisi del Design for Assembly

I metodi di analisi del Design for Assembly sono:

- *Assembly Evaluation Method*, AEM, di Hitachi Ltd, Giappone
- *Il metodo DFA* utilizzato da *Boothroyd Dewhurst Inc*, USA
- *The Lucas Design for Assembly Methodology* di Lucas-Hull, Regno Unito.

Negli anni '60 e '70 furono proposte varie regole e raccomandazioni per guidare i progettisti a considerare i problemi di assemblaggio durante il processo di progettazione; molte di esse sono state presentate insieme ad esempi pratici che hanno mostrato come migliorare la procedura di montaggio. Tuttavia, è stato solo negli anni '70 che sono stati sviluppati metodi di valutazione numerica per consentire di eseguire studi di progettazione per l'assemblaggio su progetti esistenti e proposti.

Uno dei primi metodi DFA, denominato metodo Hitachi, non rendeva esplicita la distinzione tra assemblaggio automatico e manuale nella sua procedura di valutazione; ciò non sembra aver indebolito l'attrattiva del metodo di valutazione dell'assemblabilità per le aziende giapponesi e per alcune statunitensi.

Altre tecniche DFA emergenti come Boothroyd-Dewhurst negli Stati Uniti e Lucas nel Regno Unito senza dubbio sono state promosse nell'ambito del periodo di automazione del momento e, di conseguenza, forniscono esplicitamente i meccanismi per valutare i progetti di prodotto per l'assemblaggio automatico.

Il nome completo del metodo Hitachi è *Assemblability Evaluation Method*, AEM, ed è stato sviluppato per la prima volta alla fine degli anni '70. Il termine progettazione per l'assemblaggio è stato introdotto più tardi, circa nel 1980, per descrivere la metodologia ed i database associati sviluppati da Geoffrey Boothroyd presso l'Università del Massachusetts negli anni '70.

La dicitura progettazione per la fabbricazione e l'assemblaggio, DFMA, è stata introdotta poco dopo per denominare il lavoro continuato dei professori Boothroyd e Dewhurst all'Università di Rodi Isola, mediante il loro progetto per produzione di moduli: come lavorazioni meccaniche, lamiere, stampaggio ad iniezione.

I termini DFA e DFMA sono stati ampiamente adottati e spesso usati come termini generici; tuttavia, Boothroyd-Dewhurst Inc. conserva un marchio registrato su DFMA quando si fa riferimento alla loro suite software di programmi. Il DFA funge da driver per l'ingegneria concorrente e può essere utilizzato per dirigere l'impegno del team e fornisce una metrica per il controllo manageriale.

1.4.1 Metodo di valutazione dell'assieme Hitachi

Il metodo si basa sul principio di "un movimento per una parte". Per i movimenti più complicati si utilizza uno standard di perdita di punti e si valuta la facilità di montaggio dell'intero prodotto sottraendo i punti persi. Il metodo è stato originariamente sviluppato per valutare gli assiemi per facilitare l'assemblaggio automatico e facilitare i miglioramenti del progetto mediante l'adozione di due indici:

1. Il punteggio di valutazione dell'assemblabilità "E" che viene utilizzato per valutare la qualità del progetto o la difficoltà delle operazioni di assemblaggio nella prima fase del processo.
2. Il rapporto del costo di assemblaggio stimato "K" che viene utilizzato per stimare i miglioramenti dei costi di assemblaggio.

La valutazione dell'assemblabilità si basa sulla valutazione di quelle che vengono denominate operazioni di assemblaggio che riguardano in particolare i processi di inserimento e fissaggio. Non è disponibile alcuna analisi diretta per l'alimentazione e l'orientamento delle parti e pertanto il design per l'assemblaggio automatico non è esplicitamente fruibile. Tuttavia, è valido nella misura in cui, il tempo stimato di funzionamento ottenuto da AEM include il tempo per l'alimentazione e l'orientamento delle parti. La procedura AEM è illustrata nella Figura 1.6, dove le fasi 1 e 2 sono principalmente fasi preparatorie prima della valutazione degli indici nella fase 3.

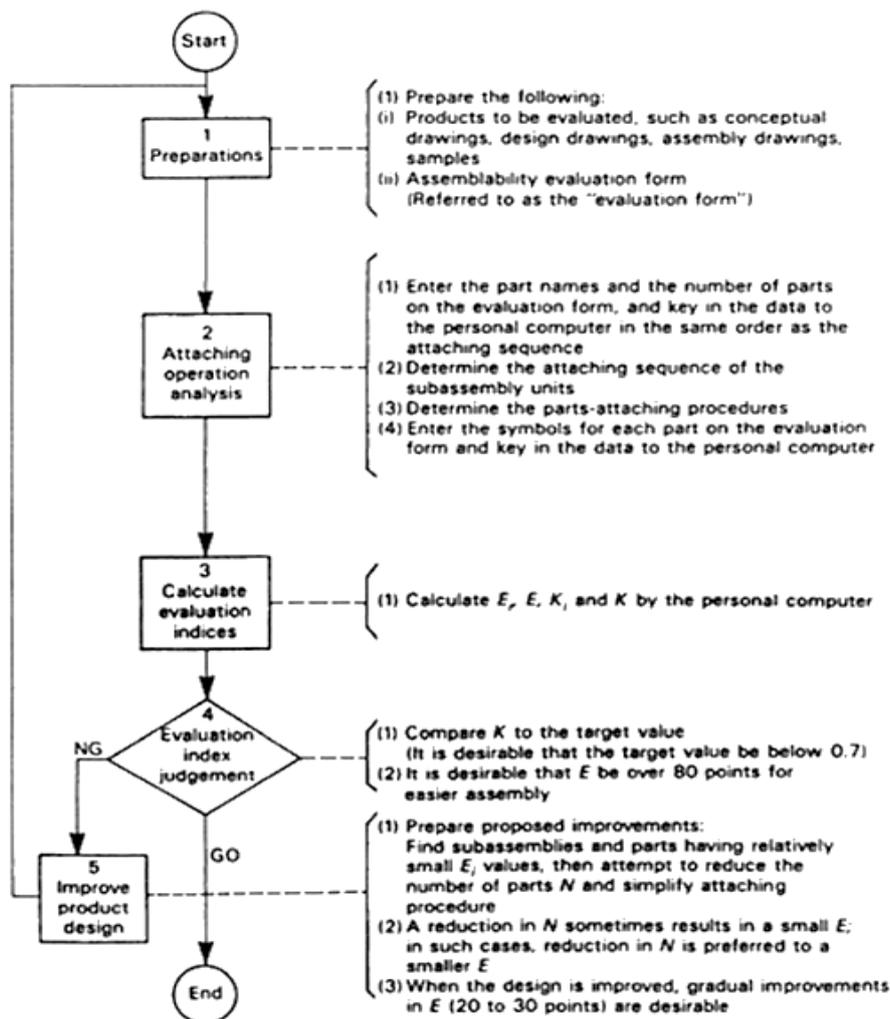


Figura 1.6: Procedura di valutazione dell'assemblabilità del metodo Hitachi

La procedura generale di valutazione del progetto è presentata gradualmente come segue:

- L'insieme delle operazioni di assemblaggio è classificato in venti attività di assemblaggio elementari: ad ogni attività è assegnato un simbolo che ne indica il contenuto e ognuna di esse si riferisce specificamente ai processi di inserimento e fissaggio e non alla manipolazione delle parti.
- Ciascuno dei compiti elementari è soggetto a un punteggio di penalità che riflette il grado di difficoltà del compito: i punteggi di penalità sono ottenuti dall'analisi dei dati dell'officina e vengono costantemente rivisti per riflettere i cambiamenti nella tecnologia e nei metodi. I fattori che influenzano le attività elementari vengono estratti come coefficienti e i punteggi di penalità vengono modificati di conseguenza.
- Le condizioni di collegamento/contatto appropriate per ciascuna parte sono espresse utilizzando ulteriori simboli AEM.
- Il totale dei vari punteggi di penalità per un singolo componente viene quindi modificato dai coefficienti di contatto e sottratto dal miglior punteggio possibile, 100, per ottenere il punteggio di valutazione dell'assemblabilità per la parte.
- Il punteggio totale per il prodotto è definito come la somma dei punteggi di assemblabilità per le singole attività divisa per il totale numero di compiti.

Alcuni dei concetti alla base del metodo Hitachi sono illustrati nella Figura 1.7 che mostra una valutazione semplificata dell'assemblabilità con esempi di miglioramenti progettuali dove lo scopo è posizionare e fissare il blocco indicato con B rispetto al telaio A.

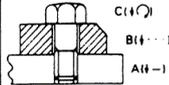
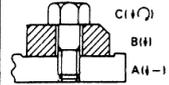
Step Examples	Product structure and assembly operations	E _i : Part assembly evaluation score	E: Assembly evaluation score	K: Assembly cost ratio	Part to be improved	
Structure 1 (before improvement)		1. Set chassis A	100	73	0.1	B
		2. Bring down block B and hold it to maintain its orientation	50			
		3. Fasten screw C	65			
Structure 2		1. Set chassis A	100	88	Approx. 0.8	C
		2. Bring down block B (orientation is maintained by spot-facing)	100			
		3. Fasten screw C	65			
Structure 3		1. Set chassis A	100	89	Approx. 0.5	B
		2. Bring down and pressfit block B	80			

Figura 1.7: Esempio di miglioramento dell'assemblabilità di componenti tramite il metodo Hitachi

La procedura inizia con la definizione dei movimenti e delle operazioni necessarie per inserire ogni parte del prodotto. I punti di penalità sono assegnati a ogni movimento o operazione che è diversa da un semplice movimento verso il basso che è considerato l'operazione di assemblaggio più veloce e semplice da eseguire per un essere umano o una macchina. Questo è il movimento di base su cui movimenti o processi aggiuntivi accumulano punti di penalità. L'AEM utilizza simboli per rappresentare movimenti e processi specifici.

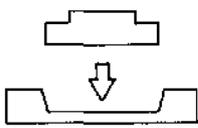
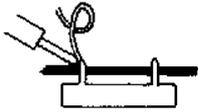
Elemental operation		AEM symbol	Penalty score
	Downward movement	↓	0
	Soldering	S	20

Figura 1.8.: Simboli per rappresentare movimenti e processi specifici

La procedura di valutazione si basa sulla compilazione di un modulo nello stesso ordine della sequenza di assemblaggio prevista. Ogni riga occupa una parte e le colonne intersecanti contengono informazioni relative a quella parte, come la descrizione della medesima e i simboli che rappresentano movimenti e processi specifici chiamati operazioni elementari per allegare quella parte. I punteggi di penalità sono utilizzati per assegnare un punteggio di valutazione dell'assemblabilità per ogni parte E_i all' i -esima parte e quindi tutti i valori di E_i sono combinati con N , il numero totale di parti, per produrre il punteggio di valutazione totale di assemblabilità, " E ". Se ciascuna delle parti dovesse essere assemblata con un semplice movimento verso il basso ogni E_i avrebbe un valore di 100 e il totale E sarebbe 100 che rappresenta la situazione ideale. Per facilità di interpretazione il punteggio E può essere pensato come Efficienza di Assemblabilità del progetto e quindi un'efficienza del 100% indicherebbe quindi che tutte le operazioni di assemblaggio necessarie sono le migliori possibili, cioè con un semplice movimento verso il basso. Un punteggio auspicabile è

80, maggiore è il punteggio e minore sono i costi di assemblaggio manuale e maggiore è la facilità di automazione dell'assemblaggio. La regola generale è che i prodotti con un punteggio E superiore ad 80 possono essere assemblati automaticamente.

Il punteggio E non fornisce feedback sui vantaggi della riduzione delle parti, per tale scopo viene utilizzato il rapporto di costo di assemblaggio K che può essere interpretato come costo totale dell'operazione di assemblaggio del nuovo design del prodotto diviso per il costo totale dell'operazione di assemblaggio del precedente, o standard o di base o vecchio, design del prodotto. Il metodo per determinare i costi di assemblaggio comprende un meccanismo per la calibrazione dei costi stimati con i costi effettivi storici. Questo viene fatto assegnando un tempo ed un costo all'operazione elementare di base o al semplice movimento verso il basso. Il calcolo di K dipende dai calcoli precedenti per E; l'obiettivo di progetto suggerito è quello di raggiungere un valore K inferiore o uguale a 0,7 che comporta un risparmio di costi almeno del 30% e ciò può essere ottenuto riducendo il numero di parti nella riprogettazione e/o facilitando le operazioni di assemblaggio. L'analisi AEM supporta il progettista per concentrarsi sulle aree problematiche nella progettazione al fine di raggiungere i valori obiettivo di E e K.

1.4.2 Il metodo Boothroyd-Dewhurst

Questo metodo DFA cerca di ridurre il numero totale di parti in un assieme tentando di ridurre la quantità di tempo di movimentazione manuale e il tempo di inserimento. Originariamente il manuale era disponibile separatamente dal software DFMA mentre ora i manuali sono disponibili solo per coloro che detengono la licenza software; il manuale consente di effettuare una valutazione DFA su supporto cartaceo. La prima fase del metodo consiste nello stabilire se il sistema di assemblaggio previsto per il prodotto sarà mediante montaggio manuale, montaggio automatico ad alta velocità o assemblaggio robotizzato. Tale scelta si basa su un'analisi del volume di produzione annuale previsto, del periodo di recupero, del numero di parti nell'assemblaggio e, nel pacchetto software, dei costi delle apparecchiature. È chiaro che quanto più elevati sono i costi delle attrezzature rispetto ai costi della manodopera, tanto meno redditizia diventa l'automazione.

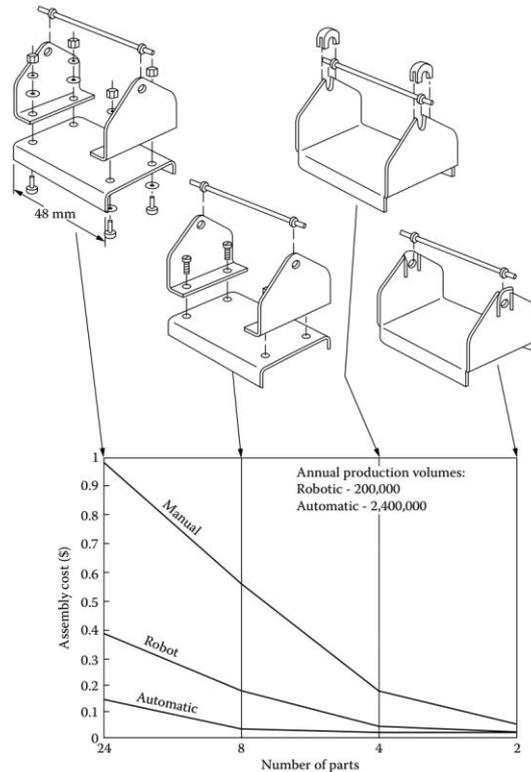


Figura 1.9: Esempio di valutazione del tipo di montaggio di un componente

Il particolare meccanismo di valutazione DFA intrapreso dipende quindi da quale dei tre sistemi di assemblaggio è previsto. L'assemblaggio automatico ad alta velocità è centrato su una macchina di indicizzazione o a trasferimento libero ed è fattibile solo per volumi molto elevati, l'assemblaggio manuale per volumi ridotti e quello robotizzato per volumi intermedi.

Boothroyd distingue tre sistemi di assemblaggio robotizzati in ordine di riduzione dei requisiti di cambio utensile: singola stazione con robot singolo, singola stazione con due robot e linea di robot multistazione. Un'estensione aggiunta di recente al metodo Boothroyd-Dewhurst consente di valutare il costo di assemblaggio dei circuiti stampati, o prodotti contenenti policlorobifenili, PCB, e di applicare il DFA a parti di grandi dimensioni. Indipendentemente dal fatto che un progetto debba essere valutato per l'assemblaggio manuale, automatico ad alta velocità o robotico, il primo passaggio è concepito come una riduzione delle parti. L'opportunità di ridurre le parti è individuata valutando ciascuna parte dell'assemblaggio a sua volta e determinando se tale parte esiste come parte separata per ragioni fondamentali.

Boothroyd-Dewhurst suggerisce che ci sono solo tre ragioni fondamentali:

- La parte si muove rispetto a tutte le altre parti già assemblate
- La parte è di materiale diverso da quelli già assemblati
- La parte è separata per consentire il montaggio o lo smontaggio di parti già assemblate

Se l'esistenza di una parte non può essere giustificata da almeno uno di questi motivi, essa guadagna un valore minimo teorico di 0 mentre se la parte esiste per ragioni fondamentali, guadagna un valore di 1; questa informazione è usata per stabilire l'efficienza di progettazione. Tutti i meccanismi di valutazione di Boothroyd-Dewhurst sono incentrati sulla determinazione dei costi di movimentazione ed inserimento dei componenti, sia che ciò avvenga manualmente che tramite macchine.

Il progetto per la tecnica di valutazione dell'assemblaggio robotico può essere considerato come un'estensione dello stesso approccio adottato per l'assemblaggio automatico, manuale e ad alta velocità. Qualsiasi ulteriore complicazione nella progettazione per l'assemblaggio robotico è associata alla necessità di tenere conto dei tre sistemi di assemblaggio robot identificati in precedenza. Inoltre, è necessario tenere conto del costo generale delle attrezzature e di quelli delle attrezzature speciali nonché delle penali per i tempi di cambio delle pinze.

Le tre tecniche di valutazione DFA basate su carta dipendono tutte dalla compilazione di un foglio di lavoro con ogni singolo componente dell'assemblaggio che occupa una riga. Man mano che si procede lungo la fila vengono prese in considerazione le difficoltà di manipolazione e di inserimento, con conseguente costo dell'operazione per pezzo.

Il costo totale di movimentazione ed inserimento di tutte le parti rappresenta quindi il costo totale di assemblaggio del prodotto. Se il prodotto viene ridisegnato, il costo totale di assemblaggio può essere rivalutato e, sebbene esso sia espresso in termini monetari, occorre prestare attenzione nell'interpretare il valore in senso assoluto. In primo luogo, il valore dovrebbe essere utilizzato come mezzo comparativo per valutare se una modifica di progetto è buona o meno e se vale la pena attuarla o meno. Se la decisione non è netta e vi è la necessità di conoscere una buona stima del costo reale di montaggio, ulteriore valutazione può derivare dalle costanti di calibratura nel calcolo che si riferisce a parametri come i costi effettivi dei salari di officina,

apparecchiature di automazione, periodo di recupero richiesto e previsioni accurate del volume di produzione richiesto.

La procedura DFA per l'assemblaggio manuale comporta risolvere quesiti su potenziali difficoltà di manipolazione, dimensioni, peso e quantità di orientamento necessarie, ciò occorre per ottenere un tempo di manipolazione da un grafico di dati sintetici di assemblaggio generalizzato costruito nel corso di anni di osservazione e di ricerca da Boothroyd e i suoi collaboratori. Dopo aver stabilito il tempo di manipolazione, la stessa procedura viene applicata all'operazione di inserimento, si cercano di effettuare restrizioni all'inserimento come accesso, visione, resistenza all'inserimento. Da qui un tempo di inserimento viene identificato da un grafico di dati sintetici. Il tempo totale di funzionamento per quella parte è quindi la somma del tempo di manipolazione e inserimento moltiplicato per il numero di occorrenze di quella parte.

Il costo operativo è il tempo moltiplicato per il tasso salariale che includa almeno una parte delle spese generali. Un'efficienza di progettazione è definita dal tempo di assemblaggio ideale diviso per il tempo di assemblaggio stimato. Il tempo di assemblaggio stimato è la somma dei tempi di funzionamento per tutti i componenti e il tempo di assemblaggio ideale è dato da $3NM$ dove NM rappresenta il numero minimo teorico totale di parti. Il numero 3 deriva dal presupposto che un componente ideale richiede 1,5 secondi per essere maneggiato e 1,5 secondi per essere inserito, 3 secondi per il funzionamento.

Il presupposto nella progettazione per la valutazione manuale dell'assemblaggio è che i costi dell'apparecchiatura sono piccoli e non influenzano significativamente il costo di assemblaggio. L'opposto è vero nella progettazione per assemblaggio speciale. Un foglio di lavoro diverso è utilizzato per l'assemblaggio automatico, ma il formato è simile a quello utilizzato per l'assemblaggio manuale. Ulteriori domande vengono poste quando si considera l'alimentazione automatica. Le ulteriori domande spiegano la maggiore difficoltà nell'utilizzare le macchine per alimentare automaticamente un componente dalla massa e presentare la parte nella giusta posizione e orientamento per il meccanismo della testa di lavoro, inserimento. Dai grafici di dati sintetici vengono estratte informazioni relative all'efficienza di orientamento e ai relativi costi di feeder. Questo viene utilizzato per calcolare il costo di movimentazione per componente.

Questo costo è essenzialmente stabilito ammortizzando i costi di attrezzature rispetto al numero totale di componenti da gestire nel periodo di recupero. Una procedura simile viene effettuata per l'inserimento.

Quando il foglio di lavoro è completato, il costo totale di movimentazione e inserimento per assemblaggio è fornito dalla somma di tutti i costi di funzionamento dei componenti. Se è richiesto il costo totale effettivo del montaggio automatico, si deve tener conto del costo di base della macchina, che può essere una macchina di indicizzazione o di trasferimento libero, e dei costi del personale. Questi calcoli sono effettuati separatamente dal foglio di lavoro e vengono quindi aggiunti ai costi di gestione e inserimento stabiliti nel foglio di lavoro.

Il DFA nel metodo Boothroyd-Dewhurst fornisce una duplice conoscenza: la prima è posta nelle domande per l'identificazione dei codici di manipolazione ed inserimento e la seconda consiste nei dati sintetici utilizzati nei grafici. Nello specifico:

- I dati sintetici per la valutazione manuale dell'assemblaggio sono incorporati nei tempi di movimentazione e inserimento, che si riferiscono ai costi monetari mediante il tasso salariale che può essere calibrato per fornire costi assoluti realistici, comprese le spese generali.
- I dati sintetici per la valutazione automatica dell'assemblaggio sono incorporati nell'efficienza di orientamento e nei relativi costi di feeder stabiliti per ogni parte.

Il costo relativo dell'alimentatore è un indice che fornisce una misura della manipolazione, ad esempio alimentazione e difficoltà, se il valore dell'indice è 1 corrisponde all'alimentatore di base, le cui capacità sono definite, mentre se l'indice di costo relativo dell'alimentatore è superiore ad 1, significa che le difficoltà di alimentazione, benché non definite, sono state identificate e quantificate. Se necessario viene utilizzato anche un indice extra, denominato costo aggiuntivo dell'alimentatore. Ciò spiega i fattori speciali che potrebbero esistere, come una tendenza ad aggrovigliarsi e ad annidarsi. I costi effettivi di assemblaggio sono stabiliti definendo il costo effettivo dell'alimentatore di base, in quanto questo è il modo in cui i costi calcolati sono calibrati con i costi reali in fabbrica.

L'esperienza ha dimostrato che la valutazione di Boothroyd-Dewhurst dei progetti di prodotti per l'assemblaggio automatico, ha un valore reale nell'anticipare le difficoltà che altrimenti emergerebbero molto più tardi in officina. In altre parole, il metodo

Boothroyd-Dewhurst pone il giusto tipo di domande e gli indici di penalità successivamente attribuiti forniscono preziose informazioni. Tale metodo può essere piuttosto dispendioso in termini di tempo a causa della quantità di dettagli coinvolti nella procedura di analisi che segue i seguenti passi:

1. Selezionare un metodo di assemblaggio per ciascuna parte
2. Analizzare le parti per i metodi di assemblaggio dati
3. Perfezionare il progetto in risposta alle carenze identificate dall'analisi
4. Fare riferimento al passaggio 2 finché l'analisi non produce un progetto soddisfacente

1.4.3 Il metodo di valutazione Lucas DFA

Il metodo Lucas DFA è nato da un lavoro di collaborazione tra Lucas Engineering e Systems con l'Università di Hull, in Inghilterra. La prima versione commerciale per computer fu lanciata nell'ottobre 1989 dopo un periodo di applicazione della versione cartacea ed il metodo ruota intorno alla necessità di completare un modulo chiamato diagramma di flusso di assemblaggio. Nel 1995 Lucas Engineering and Systems è stata rilevata da CSC, una grande società di servizi IT.

Il metodo consiste nell'assegnare e sommare i fattori di penalizzazione associati ai potenziali problemi di progettazione in un modo che ricorda Hitachi AEM, anche se il metodo Lucas include come valutazione la manipolazione, o alimentazione, e l'inserimento, o montaggio.

I fattori di penalizzazione sono assegnati mediante tre indici di assemblabilità chiamati: efficienza di progettazione, rapporto di alimentazione e rapporto di raccordo, che sono confrontati con soglie o valori stabiliti per progetti precedenti. La valutazione DFA non si basa sui costi monetari e in questo senso differisce da Hitachi e Boothroyd-Dewhurst; i fattori di penalità e gli indici di Lucas danno una misura relativa della difficoltà di assemblabilità. I fattori di penalizzazione sono stabiliti per l'alimentazione di ciascuna parte e per le successive operazioni di montaggio.

Le analisi di alimentazione e montaggio sono precedute da un'analisi funzionale e tutte le informazioni sono inserite nel diagramma di flusso dell'assemblaggio che

comprende una descrizione del componente nella prima colonna seguita da colonne contenenti il numero del componente, un'analisi funzionale e l'analisi di alimentazione.

L'analisi di montaggio, che comprende le operazioni di assemblaggio, è costruita sul resto del modulo utilizzando simboli di forma diversa per diverse operazioni di assemblaggio.

Il metodo Lucas distingue tra assemblaggio manuale e automatico, ma non distingue diversi tipi di assemblaggio automatico, il suo approccio si configura tra quello Hitachi, in quanto non considera esplicitamente l'automazione, e Boothroyd-Dewhurst, che ha un approccio completo all'automazione dell'assemblaggio. Esso utilizza il termine manipolazione quando i componenti sono gestiti manualmente e usa il termine alimentazione quando i componenti sono gestiti automaticamente. Nell'analisi dell'alimentazione i quesiti da porsi per l'analisi dell'automazione sono più ampi e molto diversi rispetto a quelli relativi all'analisi manuale e, in linea di massima, sono simili a quelli necessari nel metodo Boothroyd-Dewhurst anche se non con lo stesso dettaglio. L'analisi del montaggio è molto simile per il montaggio manuale o automatico ed i quesiti sono molto simili in entrambi i casi, ma le differenze emergono principalmente negli indici di pena assegnati.

Nel dettaglio:

1. L'analisi funzionale consiste nell'analizzare ogni componente e stabilire se ogni singola sua parte è essenziale o meno: una parte essenziale è denominata parte A mentre una non essenziale parte B. Tali valori sono inseriti nel diagramma di flusso dell'assemblabilità. Un'efficienza di progettazione allora \tilde{A} è definita come parti essenziali divise per tutte le parti, con riferimento all'esempio precedente $\tilde{A} = A/(A+B)$. Le parti essenziali e non essenziali sono valutate in un modo analogo al metodo di Boothroyd-Dewhurst. Il metodo Lucas fa riferimento ai requisiti della specifica di progettazione del prodotto, Product Design Specification PDS, e consente di svilupparne il design rispettandone le specifiche. Altro vantaggio di organizzare la valutazione eseguendo un'analisi funzionale su tutte le parti prima di effettuare le analisi di alimentazione e raccordo, è che, se l'efficienza fosse bassa, potrebbe essere richiesta una riprogettazione prima che un'analisi più dettagliata proceda. La soglia di efficienza di progettazione raccomandata è del 60%, ma un

obiettivo pratico di lavoro è spesso fissato al 45% e si rileva dall'esperienza che valori dal 3% al 12% non sono atipici per i prodotti prima della riprogettazione.

2. L'analisi di alimentazione consiste nel rispondere a quesiti su ciascuna parte del componente al fine di identificare un indice di alimentazione. Per l'alimentazione automatica l'analisi del metodo Lucas fornisce all'utente una linea guida verso la tecnologia di alimentazione appropriata come:

- MT - utensili meccanici: ad esempio alimentazione ciotola utilizzando caratteristiche di parte esterna.
- LT - utensili laser: ad esempio formazione laser con caratteristiche interne.
- RO - orientamento mantenuto: ad esempio in un caricatore o rotolo.
- M - orientamento manuale, quando tutto il resto fallisce.

L'indice minimo di alimentazione è "I": la soglia raccomandata è 1,5, il che significa che, se un componente comporta un indice di alimentazione superiore a 1,5, l'attenzione del progettista deve soffermarsi sulla possibilità di miglioramenti nella progettazione del pezzo per l'alimentazione. Un indice molto alto si verifica a volte a causa di un accumulo di caratteristiche di penalità come, ad esempio, una parte del componente potrebbe essere abrasiva e avere la tendenza a nido.

3. Dopo l'analisi di alimentazione l'utente effettua un'analisi di montaggio che viene utilizzata per identificare i valori per ogni possibile operazione durante il montaggio, essi vengono poi inseriti nel diagramma di flusso dell'assemblaggio. I processi trattati comprendono:

- Inserimento e fissaggio, ad esempio mediante rivettatura, avvittatura, piegatura.
- Operazioni di non-assemblaggio, ad esempio aggiustamenti; o riorientamenti, ad esempio fatturato.
- Serraggio del pezzo, ad esempio collocare una parte temporanea come guida all'inserimento.
- Gripping: valido solo per l'analisi dell'automazione perché non è un problema nel montaggio manuale.

Gli indici di raccordo hanno una soglia raccomandata di 1,5 a parte l'indice di presa, nell'analisi dell'automazione, che ha soglia 0. Qualsiasi operazione o processo con valori superiori alla soglia raccomandata attira l'attenzione del

progettista alla ricerca di miglioramenti. In alternativa, i risultati complessivi possono essere valutati esaminando l'efficienza progettuale, il rapporto di alimentazione e il rapporto di raccordo dove:

- Rapporto di alimentazione = $\text{Indice di alimentazione totale} / \text{Numero delle parti essenziali}$, con soglia raccomandata 2.5
- Rapporto di adattamento = $\text{Indice di raccordo} / \text{Numero delle parti essenziali}$, con soglia raccomandata 2.5

Queste misure di prestazione possono essere utilizzate per indicare lo “stato di salute” del prodotto per quanto riguarda il montaggio; la soglia di rapporto di alimentazione 2.5 sembra essere numericamente uguale a tutti gli indici di alimentazione a 1,5, valore di soglia, per un'efficienza di progettazione al 60% come raccomandato. L'implicazione di avere la soglia del rapporto di adattamento a 2,5 implica che l'indice medio di adattamento dovrebbe essere inferiore a 1,5.

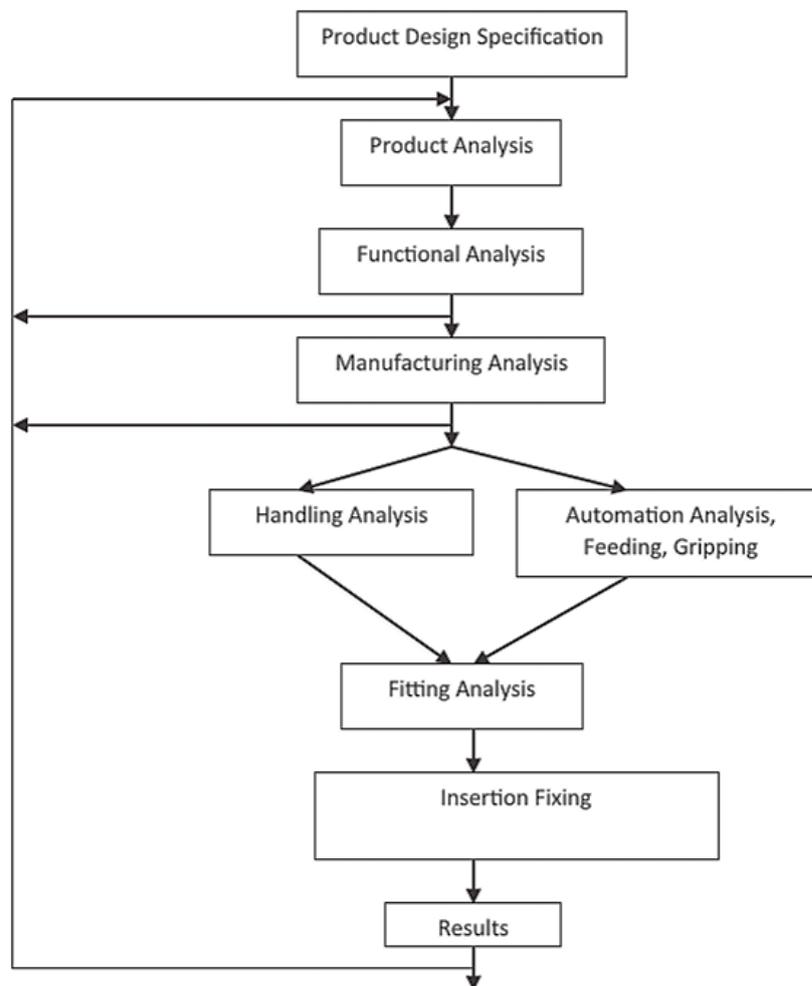


Figura 1.10: Diagramma della sequenza di assemblaggio per il modello di valutazione Lucas

Quello che segue è un sistema decisionale gerarchico seguito dal metodo Lucas:

1. Specifiche di progettazione del prodotto.
2. Analisi del prodotto.
3. Analisi funzionale: prima analisi di Lucas e prevede di ritornare al passaggio 2 se l'analisi produce problemi
4. Analisi dell'alimentazione: seconda analisi di Lucas
5. Analisi di adattamento: terza analisi di Lucas
6. Valutazione
7. Possibilmente tornare alla fase 2 se le analisi fanno evincere problemi

2. RIPRODUZIONE CAD VALVOLA FLOATING BALL

2.1 Introduzione sulle valvole a sfera

La valvola a sfera è stata ideata intorno al 1950; in seguito, con il rapido sviluppo della scienza e della tecnologia ed il continuo miglioramento della tecnologia di produzione e della struttura del prodotto, in un breve periodo di circa 50 anni, si è rapidamente sviluppata in una delle principali classi di valvole. Nei paesi sviluppati occidentali, il suo uso aumenta di anno in anno.

Il Sistema valvola a sfera è composto principalmente da: sede valvola, sfera, anello di tenuta, valvola asta ed altri dispositivi di guida. La valvola può essere aperta e chiusa ruotando la sua asta di 90 gradi; l'intero sistema può essere utilizzato per chiudere, distribuire, regolare il flusso e modificare la direzione del flusso del fluido sulla tubazione. Prestandosi in particolar modo all'uso come interruttore e valvola di intercettazione.

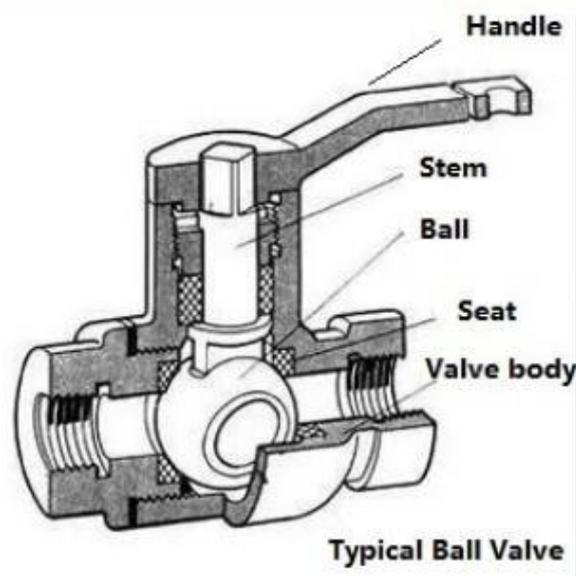


Figura 2.1: Valvola a sfera

Poiché la valvola a sfera utilizza solitamente gomma, nylon e politetrafluoroetilene, PTFE, come materiale dell'anello di tenuta della sede, la sua temperatura di utilizzo è limitata dal materiale dell'anello. La funzione di intercettazione si ottiene premendo la

sfera metallica contro la sede della valvola in plastica sotto l'azione del fluido, pertanto valvola a sfera flottante. Sotto l'azione di una certa pressione di contatto, l'anello di tenuta della sede presenta deformazioni elasto-plastiche in alcune zone che possono incrementare la precisione di fabbricazione, compensare la rugosità superficiale della sfera e garantire le prestazioni di tenuta della valvola a sfera.

2.1.1 Il principio di funzionamento della valvola a sfera

La parte di apertura e chiusura della valvola a sfera è costituita da una sfera con un passaggio circolare, che ruota attorno all'asse perpendicolare al passaggio, e la sfera ruota con lo stelo per aprire e chiudere il canale; è possibile utilizzare solo 90 gradi di rotazione e una coppia ridotta per chiuderlo saldamente. Diversi dispositivi di azionamento possono essere assemblati in base alle condizioni di lavoro per formare varie valvole a sfera con diversi metodi di controllo: come valvole a sfera elettriche, valvole a sfera pneumatiche, valvole a sfera idrauliche. Quando la valvola a sfera ruota di 90 gradi l'ingresso e l'uscita della sfera dovrebbero mostrare l'apertura della sfera, aprendo così il flusso, fondamentalmente non c'è resistenza al flusso.



Figura 2.2: Rappresentazione del funzionamento della valvola a sfera

2.1.2 Principio di struttura di valvola a sfera

Una valvola a sfera ha le seguenti caratteristiche:

- Non è limitata dalla direzione di installazione e la direzione del flusso del mezzo può essere arbitraria; la resistenza del fluido è piccola e la valvola a sfera con diametro pieno non ha resistenza al flusso.
- Ha i vantaggi di avere una struttura semplice, un volume relativamente piccolo, un peso leggero ed una manutenzione facile.
- Due superfici di tenuta e i materiali di tenuta delle valvole a sfera sono ampiamente utilizzati in vari tipi di materie plastiche; le prestazioni di tenuta sono buone e possono essere completamente sigillate.
- Sono adatte per il funzionamento frequente, l'apertura e la chiusura sono rapide e facili; il giro completo a spazio pieno è solo 90 gradi di rotazione, aspetto conveniente per il controllo da remoto.
- La manutenzione è conveniente, la struttura della valvola a sfera è semplice, l'anello di tenuta è generalmente attivo, lo smontaggio e la sostituzione sono facili.
- Ha buone prestazioni di tenuta: una volta completamente aperto o completamente chiuso, la superficie di tenuta della sede della valvola e della sfera è separata dal fluido così con il passaggio di esso la superficie di tenuta della valvola non viene erosa.
- Ha un ampio campo di applicazione, da diversi millimetri a diversi metri, e può essere applicata da alto vuoto ad alta pressione.
- Viene pulita nel processo di apertura e chiusura, può essere utilizzata in fluidi con solidi sospesi.
- La resistenza del fluido è piccola, nessuna vibrazione, poco rumore.

2.1.3 Classificazione delle valvole a sfera

La valvola a sfera è una valvola a globo chiusa, composta principalmente da corpo valvola, sede valvola, sfera, stelo, maniglia o altri dispositivi di azionamento, come attuatore elettrico, attuatore pneumatico o attuatore idraulico, azionato dallo stelo. L'asse viene utilizzato per il movimento rotatorio, che viene utilizzato principalmente

per tagliare, distribuire e modificare la direzione del flusso nella tubazione. Esistono cinque tipologie di corpo delle valvole a sfera:

- corpo singolo.
- corpo in tre pezzi.
- corpo diviso.
- ingresso dall'alto.
- ingresso saldato.

La differenza si basa sul modo in cui i pezzi della valvola, in particolare l'involucro che contiene la sfera stessa, vengono fabbricati e assemblati; il funzionamento della valvola è lo stesso in ogni caso.

Inoltre, esistono diverse tipologie legate al foro del meccanismo a sfera:

- Una valvola a sfera a passaggio pieno, o più comunemente nota a passaggio totale: ha una sfera sovradimensionata in modo che il foro nella sfera abbia le stesse dimensioni della tubazione, con conseguente minore perdita per attrito. Il flusso è illimitato ma la valvola è più grande e più costosa; quindi, viene utilizzata solo dove è richiesto un flusso libero, ad esempio nelle tubazioni che richiedono il *pigging*, un metodo utilizzato per pulire i tubi.
- Nelle valvole a sfera a passaggio ridotto, le più note, il flusso attraverso la valvola è di dimensione più piccola di quella del tubo della valvola, con il risultato che l'area di flusso è più piccola del tubo. Poiché la portata del flusso rimane costante ed è uguale all'area del flusso moltiplicata per la velocità v , $A_1v_1 = A_2v_2$; la velocità aumenta con la riduzione dell'area del flusso.
- La valvola a sfera della porta AV ha una sfera a forma di "V" o una sede a forma di "V" che consente di aprire e chiudere l'orifizio in modo più controllato con una caratteristica di flusso più vicina a quella lineare. Quando la valvola è in posizione chiusa e l'apertura ha inizio, l'estremità piccola della "V" viene aperta per prima, consentendo un controllo stabile del flusso durante questa fase. Questo tipo di progettazione richiede una costruzione generalmente più robusta a causa delle velocità più elevate dei fluidi, che potrebbero danneggiare una valvola standard.

- Una valvola a sfera Trunion ha un ulteriore ancoraggio meccanico della sfera in alto e in basso, adatto per valvole più grandi e con pressioni più elevate, ad esempio, sopra 10 cm e 40 bar.
- La valvola a sfera di riempimento cavità è strutturata in modo tale da evitare che i fluidi entrino nella cavità, che deve essere tappata, estendendo le sedi in modo che siano sempre a contatto con la sfera. Infatti, molte industrie riscontrano problemi con i residui nella valvola a sfera che si formano perché nella posizione semiaperta della valvola a sfera si crea uno spazio tra il foro della sfera e il corpo in cui il fluido può essere intrappolato. Laddove il fluido è destinato al consumo umano, i residui possono anche rappresentare un pericolo per la salute e, poiché il fluido cambia di tanto in tanto, può verificarsi la contaminazione di un fluido con un altro.

2.1.4 Vantaggi della valvola a sfera

- Ha la resistenza al flusso più bassa, in realtà 0.
- Può essere utilizzata in modo affidabile in fluidi corrosivi e liquidi a basso punto di ebollizione perché non si attacca durante il funzionamento. in assenza di lubrificante.
- Può ottenere una tenuta completa in un ampio intervallo di pressione e temperatura.
- Può realizzare un'apertura e una chiusura rapide ed il tempo di apertura e chiusura di alcune strutture è di soli 0.05 ~ 0.1 s, in modo da garantire che possa essere utilizzato nel sistema di automazione del banco di prova. Quando la valvola viene aperta e chiusa rapidamente, non vi è alcun impatto durante il funzionamento.
- La parte sferica di chiusura può essere posizionata automaticamente in corrispondenza della posizione limite.
- Il fluido di lavoro è sigillato in modo affidabile su entrambi i lati.
- Quando la valvola è completamente aperta e chiusa, la superficie di tenuta della sfera e della sede della valvola è isolata dal fluido; quindi, il fluido che passa attraverso la valvola ad alta velocità non causerà l'erosione della superficie di tenuta.
- Ha una struttura compatta e un peso leggero, quindi può essere considerata la struttura della valvola più ragionevole per un sistema medio a bassa temperatura.

- Il corpo valvola è simmetrico, in particolare la struttura del corpo valvola è saldata e può sopportare bene lo stress della tubazione.
- La parte di chiusura può sopportare l'elevata differenza di pressione durante la chiusura.
- La valvola a sfera con corpo valvola completamente saldato può essere collocata direttamente nel terreno, in modo che le parti interne della valvola non siano corrose e la vita massima può raggiungere i 30 anni. È la valvola più consona per oleodotti e gasdotti.

2.1.5 Svantaggi della valvola a sfera

- Il materiale principale dell'anello di tenuta della sede della valvola è il PTFE che è inerte a quasi tutte le sostanze chimiche e presenta un piccolo coefficiente di attrito, prestazioni stabili, non facile da invecchiare, ampia gamma di applicazioni di temperatura ed eccellenti prestazioni di tenuta. Le caratteristiche fisiche del PTFE, tra cui l'elevato coefficiente di dilatazione, la sensibilità al flusso a freddo e la scarsa conducibilità termica, richiedono che il progetto della tenuta della sede della valvola sia basato su queste caratteristiche. Pertanto, quando il materiale di tenuta diventa duro, l'affidabilità della tenuta viene inficiata. Inoltre, il grado di resistenza alla temperatura del PTFE è basso e può essere utilizzato solo in condizioni di temperatura inferiori a 180 °C. Oltre questa temperatura, il materiale di tenuta si deteriora. In considerazione dell'uso a lungo termine, viene generalmente utilizzato solo a 120 °C.
- Le sue prestazioni di regolazione sono peggiori di quelle della valvola di arresto, in particolare della valvola pneumatica, o valvola elettrica.

2.2 Installazione e manutenzione della valvola a sfera

L'installazione della valvola a sfera è strutturata come segue:

- si deve confermare che la tubazione e la valvola siano state pulite prima del funzionamento;
- gli attuatori della valvola funzionano in base alla dimensione del segnale di ingresso per far ruotare lo stelo: quando l'anello rotante è in avanti la valvola è chiusa, quando si ruota l'anello in direzione inversa la valvola si apre;
- quando la direzione dell'attuatore è parallela alla tubazione la valvola è aperta; quando è perpendicolare è chiusa

La manutenzione delle valvole è un processo importante per garantirne una lunga durata. La maggiore durata e il tempo senza manutenzione dipendono da diversi fattori, quali il mantenimento di un rapporto temperatura/pressione equilibrato e dati di corrosione ragionevoli in condizioni di lavoro normali. Prima della riparazione occorre rimuovere la pressione della linea e lasciare la valvola in posizione aperta, poi si può scollegare l'alimentazione o la fonte del gas prima della manutenzione assicurandosi che l'attuatore e la staffa sono staccati.

Procedimenti principali da seguire all'atto della manutenzione:

1. Chiusura dell'imballo: se il condotto di riempimento è in microperdita, bloccare il dado dello stelo. Occorre fare attenzione a non bloccare saldamente, di norma è sufficiente 1/4 di anello per arrestare la perdita.
2. Sostituire la sede della valvola e la guarnizione

2.2.1 Smontaggio

Sequenza di operazioni per lo smontaggio:

1. Lasciare la valvola in posizione semiaperta e togliere le potenziali sostanze pericolose all'interno e all'esterno della valvola.
2. Chiudere la valvola a sfera, rimuovere i bulloni e i dadi su entrambi i lati della flangia e rimuovere completamente la valvola dal tubo

3. Smontare il dispositivo di azionamento, l'attuatore, la staffa di collegamento, la rondella allentata, il dado dello stelo, le schegge della farfalla, il Glan, la pellicola resistente all'usura e la guarnizione dello stelo.
4. Rimuovere i bulloni e i dadi di collegamento del coperchio del corpo, il coperchio viene separato dal corpo della valvola e la guarnizione del coperchio della valvola viene rimossa.
5. Verificare che la sfera della valvola sia in posizione "off", in modo che estrarre la sfera dal corpo della valvola sia più facile.
6. Spingere lo stelo verso il basso dal foro centrale del corpo valvola finché non è completamente rimosso, quindi rimuovere l'O-ring e l'anello di tenuta.

Va posta attenzione a non graffiare la superficie dello stelo della valvola e la guarnizione della guarnizione della valvola.

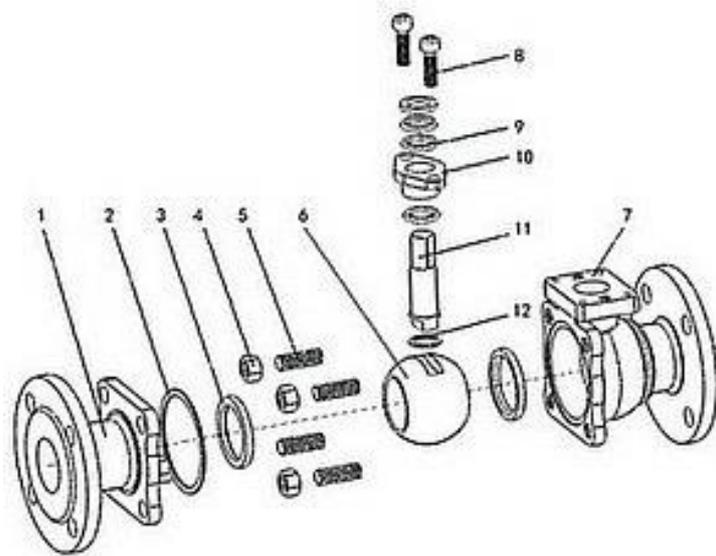


Figura 2.3: Smontaggio componenti di una valvola a sfera

2.2.2 Rimontaggio

Sequenza per il rimontaggio

1. Per la pulizia e il controllo delle parti controllate, si consiglia vivamente di sostituire le sedi e le guarnizioni e le tenute con pezzi di ricambio.
2. Assemblare secondo la sequenza di smontaggio e montaggio.
3. Utilizzare la coppia specificata per bloccare i bulloni della flangia.

4. Utilizzare la coppia specificata per bloccare il dado.
5. Dopo aver installato l'attuatore, la bobina viene ruotata; per guidare la bobina a ruotare il segnale di ingresso corrispondente, in modo che la valvola possa essere aperta e chiusa.
6. Se possibile, eseguire il test della pressione di tenuta e il test delle prestazioni della valvola secondo lo standard dopo l'installazione del tubo.

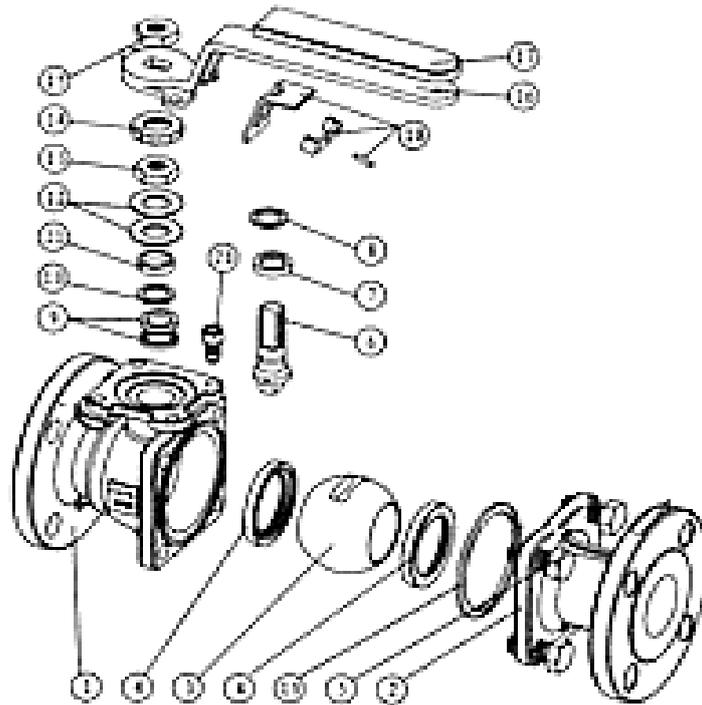


Figura 2.4: Rimontaggio componenti di una valvola a sfera

2.3 Valvola a sfera flottante ASME B16.34 API608

La valvola a sfera flottante corrisponde ad una valvola a sfera a corpo diviso in due parti, una sfera, anelli di sede, stelo e altri elementi interni inseriti all'interno della parte più grande del corpo e tenuti insieme alla parte più piccola mediante bulloni.

Nelle valvole a sfera flottante, la sfera è tenuta in posizione dalla compressione delle due sedi elastomeriche contro la sfera che è libera di fluttuare all'interno del corpo valvola.

La parte evidenziata nell'immagine mostra la differenza rispetto alla valvola a sfera montata su trunnion, dove vi è un un'asta corta come un prolungamento che si chiama

perno incastonato nel corpo che corrisponde a una soluzione al problema della coppia eccessiva richiesta dalla valvola a sfera flottante operante ad alta pressione.

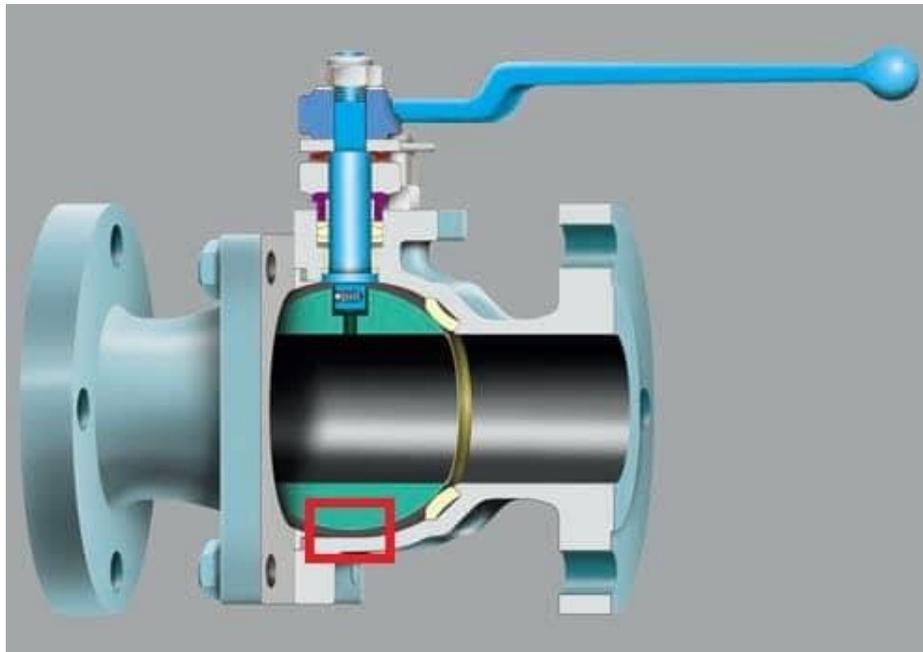


Figura 2.5: Valvola a sfera flottante

Lo stelo è collegato a una fessura nella parte superiore della sfera che consente alla sfera di ruotare di un quarto di giro, 90 gradi. L'albero consente una certa quantità di movimento laterale della sfera che viene generato dalla pressione a monte che agisce su di essa. Tale piccolo movimento laterale, infatti, produce un carico sulla sfera che la preme contro la sede a valle migliorando la tenuta della valvola.

Questo tipo di design della valvola a sfera è quindi in grado di eseguire l'arresto bidirezionale. La valvola a sfera flottante è molto difficile da azionare quando la pressione a monte è elevata.

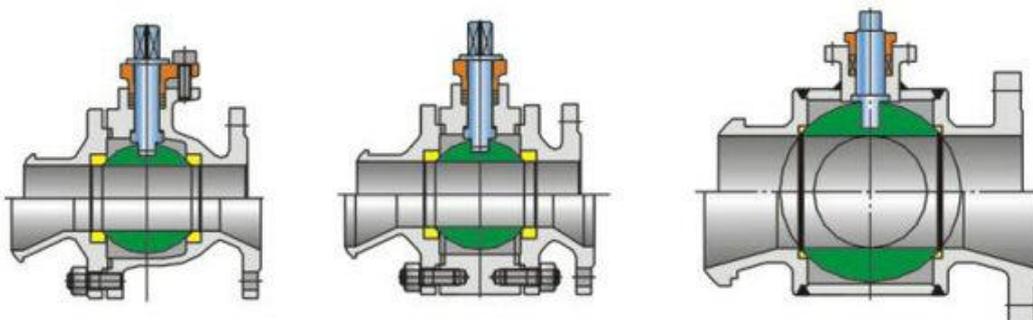


Figura 2.6: Vista interna di una valvola a sfera flottante

Sotto l'azione della pressione media, la sfera può produrre un certo spostamento e premere saldamente sulla superficie di tenuta sul lato di uscita, in modo da garantire la tenuta dell'estremità di uscita. La valvola a sfera flottante presenta i vantaggi di una struttura semplice e di una buona tenuta, ma il carico della sfera che porta il mezzo di lavoro viene trasferito all'anello di tenuta dell'esportazione. Pertanto, occorre considerare se il materiale dell'anello di tenuta può sopportare il carico di lavoro del mezzo sferico. Questa struttura trova largo impiego nelle valvole a sfera a media bassa pressione. Essa è composta principalmente da queste parti assemblate tra loro:

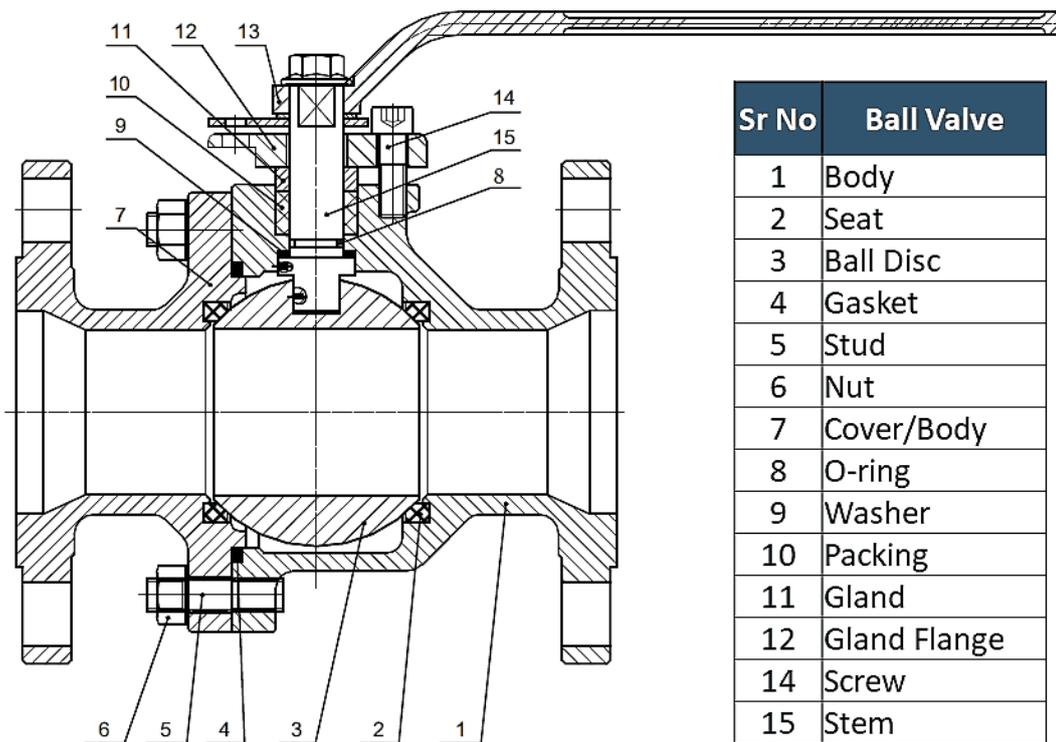


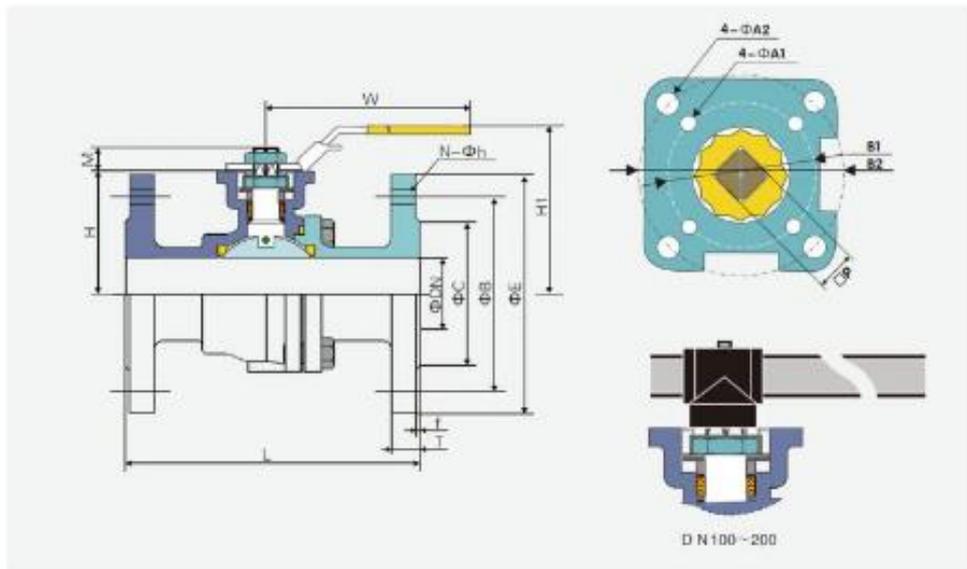
Figura 2.7: Vista sezionata di una valvola a sfera flottante con scheduling dei componenti

La valvola a sfera può essere a sede metallica o a sede morbida.; può essere unidirezionale, bidirezionale o multidirezionale, a seconda del numero di porte della valvola e del numero di sedi della valvola, uguale alla valvola a maschio multiporta.

Le specifiche di progetto della valvola ASME B16.34 API608 sono:

- Cassaforte antincendio: API 607 4th1993
- Faccia a faccia: JIS B 2002
- Flangia terminale: JIS B2212~B213
- Ispezione e test: JIS B2003, API6D

- Porti: porto pieno
- Stile del corpo: due pezzi
- Intervallo di dimensioni: ½" – 12" (12 mm – 300 mm)
- Intervallo di temperatura: da -50°C a 650°C (da -46°F a 343°F)
- Valori di pressione: 10K 20K
- Connessioni finali: JIS 10K 20K
- Materiali del corpo: acciaio inossidabile (CF8, CF8M, CF3M), acciaio al carbonio (WCB)
- Materiali della seduta: PTFE, PEEK
- Applicazioni: processi, parchi serbatoi, rifornimento di carburante, petrolio e gas



JIS 10K

NPS	D	L	E	B	C	T	f	N- Φh	H	H1	W	M	P	ΦA1	ΦA2	B1	B2
15	15	108	95	70	52	12	1	4-15	48	79	135	9	9	6	6	36	42
20	20	117	100	75	58	14	1	4-15	53	84	135	9	9	6	6	36	42
25	25	127	125	90	70	14	1	4-19	64	95	170	11	11	6	7	42	50
32	32	140	135	100	80	16	2	4-19	71	103	170	11	11	6	7	42	50
40	38	165	140	105	85	16	2	4-19	76	111	200	14	14	7	9	50	70
50	50	178	155	120	100	16	2	4-19	85	120	200	14	14	7	9	50	70
65	64	190	175	140	120	18	2	4-19	104	153	300	17	17	9	11	70	102
80	76	203	185	150	130	18	2	8-19	114	163	300	17	17	9	11	70	102
100	100	229	210	175	155	18	2	8-19	140	182	400	22	22	no	11	no	102
125	125	356	250	210	185	20	2	8-23	183	260	800	27	27	14	no	125	no
150	150	394	280	240	215	22	2	8-23	202	280	800	27	27	14	no	125	no
200	200	457	330	290	265	22	2	12- 23	253	no	800	27	27	14	no	125	no

NPS	D	L	E	B	C	T	f	N- Φh	H	H1	W	M	P	ΦA1	ΦA2	B1	B2
15	15	140	95	70	52	14	1	4-15	48	79	135	9	9	6	6	36	42
20	20	152	100	75	58	16	1	4-15	53	84	135	9	9	6	6	36	42
25	25	165	125	90	70	16	1	4-19	64	95	170	11	11	6	7	42	50
32	32	178	135	100	80	18	2	4-19	71	103	170	11	11	6	7	42	50
40	38	190	140	105	85	18	2	4-19	76	111	200	14	14	7	9	50	70
50	50	216	155	120	100	18	2	8-19	85	120	200	14	14	7	9	50	70
65	64	241	175	140	120	20	2	8-19	104	153	300	17	17	9	11	70	102
80	76	283	200	160	135	22	2	8-23	114	163	300	17	17	9	11	70	102
100	100	305	225	185	160	24	2	8-23	140	182	400	22	22	no	11	no	102
125	125	381	270	225	195	26	2	8-25	183	260	800	27	27	14	no	125	no
150	150	403	305	260	230	28	2	12- 25	202	280	800	27	27	14	no	125	no
200	200	502	350	305	275	30	2	12- 25	253	no	800	27	27	14	no	125	no

Figura 2.8: Parametri progettuali di una valvola a sfera flottante

Le applicazioni della valvola a sfera:

- Può essere utilizzata in diversi tipi di servizi fluidi come valvola di arresto on-off che fornisce una chiusura a tenuta stagna.
- Può essere utilizzata nei servizi di aria, gassosi e vapore, nonché nei servizi di idrocarburi.
- Le valvole a sede metallica possono essere utilizzate in applicazioni ad alta pressione e temperatura.
- Sono ampiamente utilizzate con i tubi degli strumenti per collegare gli strumenti

I vantaggi della valvola a sfera sono diversi, tra i quali:

- È di tipo rapido da aprire e chiudere e fornisce una tenuta affidabile a tenuta di bolle in applicazioni ad alta pressione e temperatura.
- È più piccola e leggera della valvola a saracinesca della stessa dimensione.
- Diversi modelli di valvole a sfera offrono la flessibilità di selezione in modo da poter scegliere la valvola più adatta alle proprie esigenze.

- Manutenzione facile da usare e conveniente.

Mentre, per quanto riguarda gli svantaggi della valvola a sfera:

- Non può essere utilizzata in un servizio che richiede la limitazione.
- Nei fanghi o in altre applicazioni simili, le particelle sospese possono depositarsi e rimanere intrappolate nelle cavità del corpo causando usura, perdite o guasti alle valvole.
- A causa della rapida apertura e chiusura, possono verificarsi picchi di pressione che potrebbero danneggiare le apparecchiature a valle.

2.4 Riproduzione su software CAD Creo Parametric 7.0.8.0

Ex Pro-Engineer, *Creo Parametric* è stato il primo software per la modellazione solida parametrica ad essere distribuito sul mercato. Realizzato da PTC, Parametric Technology Corporation, e rilasciato nel 2011, Creo è una soluzione CAD, CAM e CAE 3D parametrica per ambiente Windows, ideale per progettazioni che richiedono modellazione solida, modellazione e disegno di assiemi, modellazione parametrica, superfici e analisi di elementi finiti. Utilizzando questo software è possibile realizzare modelli tridimensionali di oggetti reali, andandoli a stressare e movimentare, così da poterne osservare i comportamenti all'interno di un ambiente reale, anche in base alla specifica finalità di utilizzo.

Creo Parametric è dotato di quasi 1000 estensioni complementari che lo rendono uno strumento indispensabile all'interno di questo settore. Il software permette di seguire lo sviluppo del prodotto dall'idea alla produzione, intervenendo in ogni fase e permettendo al cliente di ottenere un prodotto estremamente innovativo e di qualità, contenendo i costi di progettazione e produzione, e ottimizzando i tempi. Con Creo, infatti, il progettista verifica ogni fase, proseguendo nelle varie tappe di realizzazione solo a seguito di un'analisi specifica e personalizza delle funzionalità del progetto in questione.

L'estensione del programma che si è utilizzata nel presente elaborato è la progettazione di parti ed assiemi 3D. Al suo interno sono presenti tutte le principali funzionalità per lavorare professionalmente a progetti 3D. Inoltre, il software dispone di ulteriori

specifiche come progettazione generativa, realtà aumentata, additive manufacturing MBD, model-based definition, progettazione intelligente e connessa.

La struttura del software permette di avere sempre lo stesso livello di performance e intervento, anche con l'inserimento di componenti più complessi. Include inoltre disegno 2D, rendering e animazione 3D, funzionalità di simulazione di base e gestione degli assiemi.

L'oggetto rappresentato e progettato all'interno dell'elaborato è una Valvola Floating Ball ASME B16.34 API608 con intervallo di dimensioni 1/2" – 12" (12 mm – 300 mm), prodotta e venduta dal fornitore cinese ePOWERMETALS.



Figura 2.9: Valvola a sfera flottante ASME B16.34 API608 prodotta da ePOWERMETALS

Il lavoro è partito dall'analisi del complessivo sezionato in figura 2.7, valutando in seguito anche in base alle specifiche di progetto ed ai parametri progettuali, raffigurati nella figura 2.7, quale fosse il funzionamento e il meccanismo interno della valvola stessa. Il tutto è stato suffragato grazie all'interfacciamento con un ingegnere di

progetto dell'Epowermetals; casa produttrice della valvola in esame. Da quanto emerso dal succitato confronto e per praticità, il lavoro della rappresentazione progettuale CAD della valvola è stato sviluppato dividendo la valvola in 3 macrogruppi principali:

- Involucro esterno
- Meccanismo interno
- Meccanismo di azionamento e spegnimento

Partendo da questi macrogruppi sono stati progettati e raffigurati i componenti di cui essi sono composti.

2.4.1 Involucro esterno

L'involucro esterno della valvola a sfera flottante in esame è composto da due componenti non simmetrici tra loro, entrambi caratterizzati da un'estremità di collegamento adibita a tubazione. L'altra, invece, è utilizzata per il collegamento stesso tra le componenti destra e sinistra dell'involucro tramite l'utilizzo di viti a testa esagonale ISO 4017 - UNI 5739.

La componente di sinistra dell'involucro esterno è caratterizzata da un'estremità superiore circolare aperta, sede del meccanismo di azionamento.

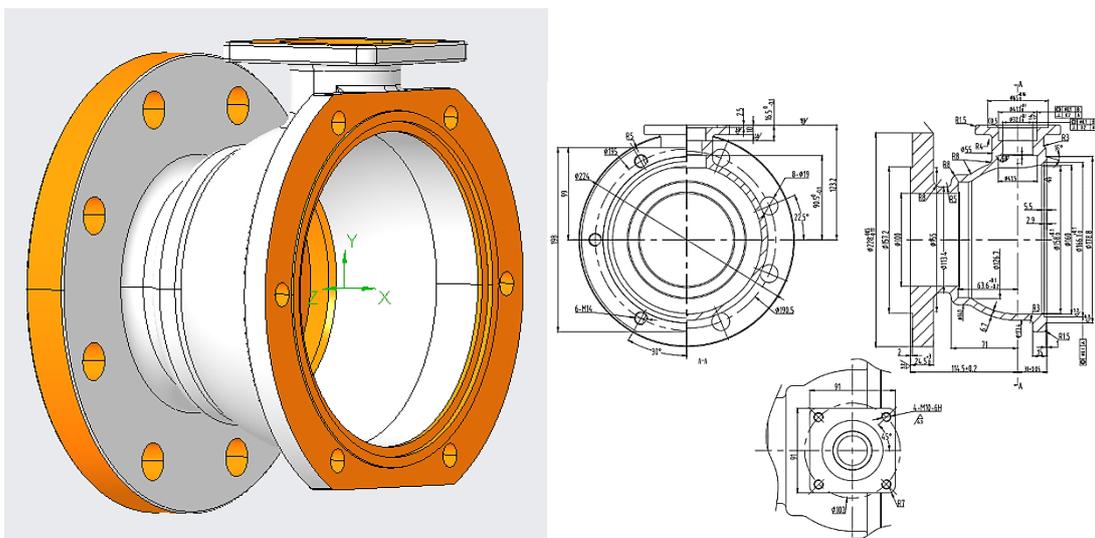


Figura 2.10: Involucro esterno sinistro della valvola a sfera flottante.

2.4.2 Meccanismo interno

L'interno della valvola a sfera flottante è composto dalla sfera a sede metallica e dallo stelo, collegato a una fessura nella parte superiore della sfera che le consente di ruotare di un quarto di giro, 90 gradi. Questi due componenti alloggianno all'interno dell'involucro esterno, dove sono state considerate le misure accurate ed il centraggio dello stelo all'interno dell'apertura superiore dell'involucro esterno sinistro e della fessura nella parte superiore della sfera.

Per una comprensione costruttiva e progettuale, accanto alle figure dei componenti viene riportata anche la tavola 2D dei singoli componenti con le relative grandezze.

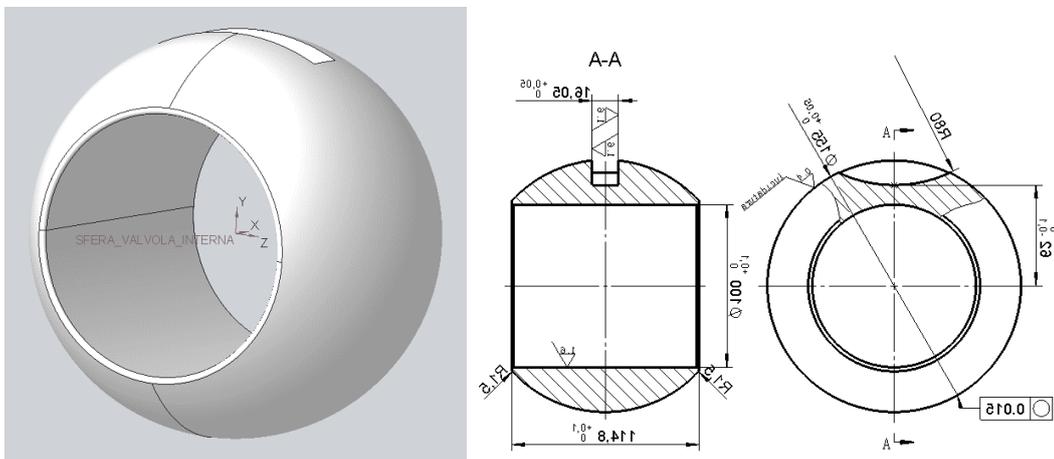


Figura 2.13: Sfera metallica interna con relativa tavola 2D progettuale

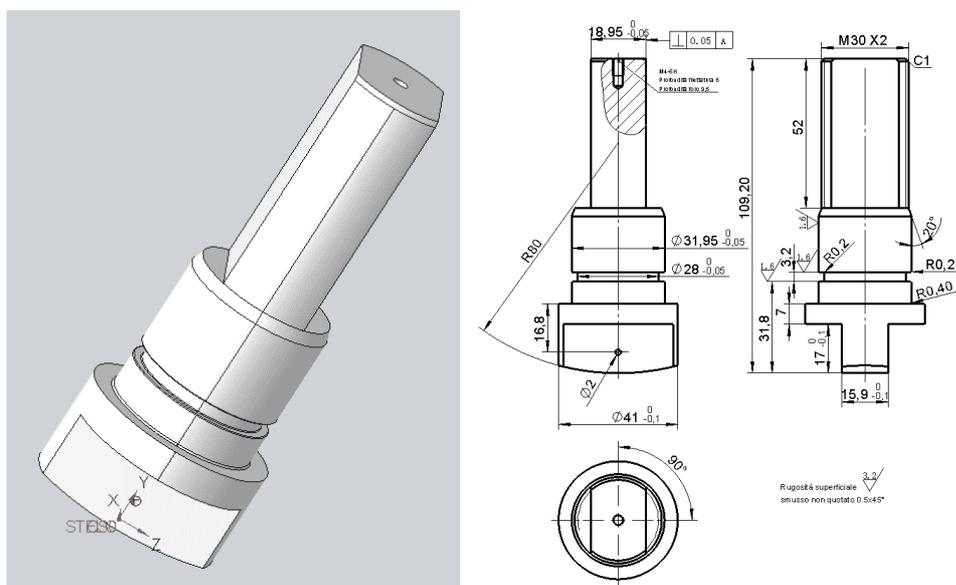


Figura 2.14: Stelo del meccanismo interno della valvola flottante con relativa tavola 2D progettuale

Per dare l'idea del meccanismo interno della valvola si è creato un assieme con i rispettivi componenti. Il complessivo è composto dalla sfera interna, lo stelo e le 2 guarnizioni PTFE, raffigurate in figura 2.10, alloggiare sulle superfici sezionate aperte della sfera metallica.

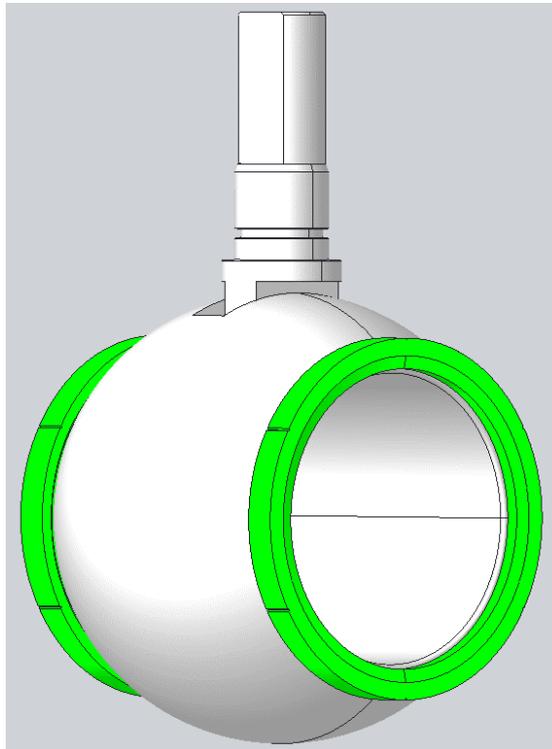


Figura 2.15: Accoppiamento meccanismo interno valvola a sfera flottante

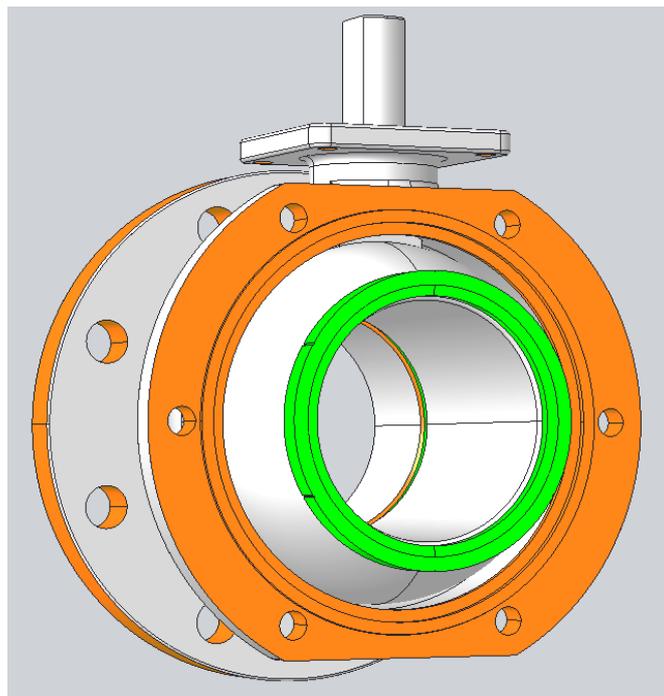


Figura 2.16: Alloggiamento del meccanismo interno della valvola nell'involucro esterno sinistro

2.4.3 Meccanismo di avviamento on/off

La parte più elaborata da rappresentare e progettare è il meccanismo di apertura e chiusura della valvola, che si incentra principalmente su elementi collegati allo stelo.

L'apertura e la chiusura sono determinate dalla rotazione dello stelo, e quindi di conseguenza anche della sfera ad esso collegata, di 90°. Tale rotazione avviene grazie all'utilizzo di componenti fondamentali, quali un interruttore di fine corsa adagiato sopra due molle a tazza CB EN 16983 (DIN 2093); il tutto fissato tramite un anello di bloccaggio posto nella parte inferiore delle molle e un dado esagonale sottile-ISO 8675 con diametro M3 posto nella parte superiore.

Il bloccaggio di tutto l'insieme all'estremità superiore dell'involucro esterno sinistro è poi garantito da quattro organi di tenuta circolari posti al di sotto dell'anello di bloccaggio.

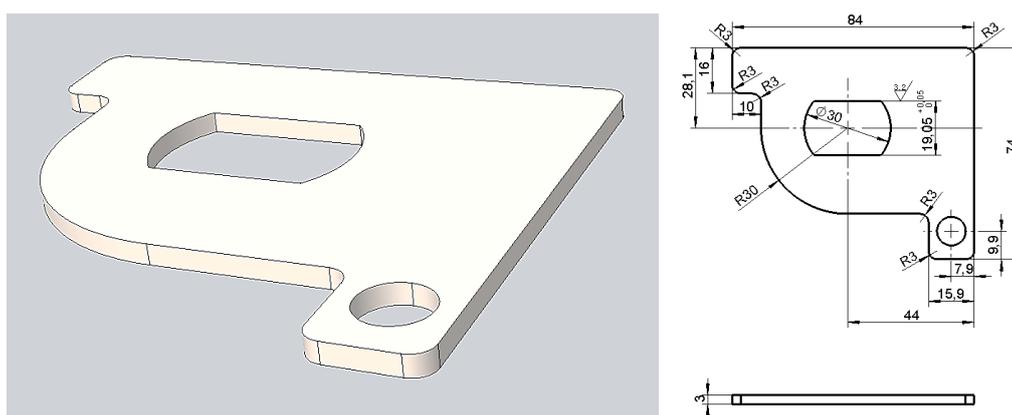


Figura 2.17: Interruttore di fine corsa del meccanismo di avviamento della valvola a sfera flottante con relativa tavola 2D progettuale

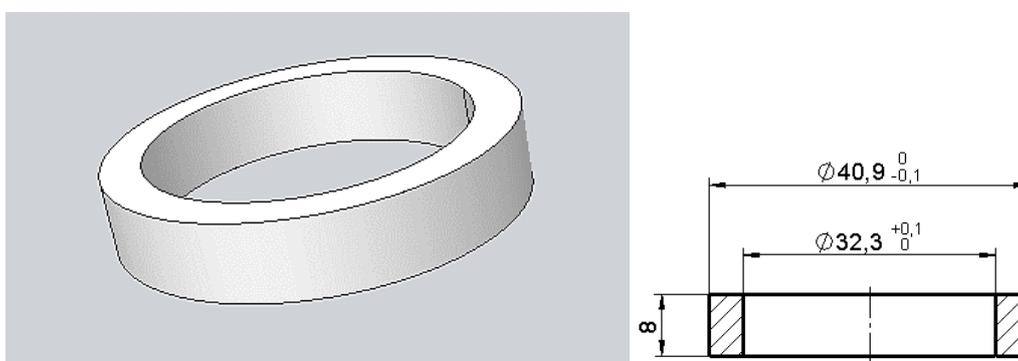


Figura 2.18: Anello di bloccaggio inferiore del meccanismo di avviamento della valvola a sfera flottante con relativa tavola 2D progettuale

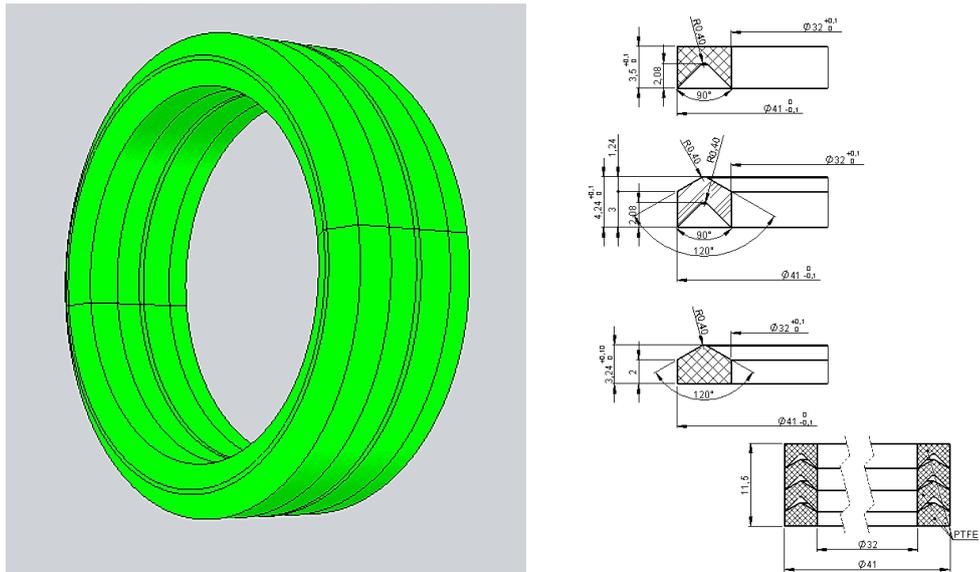


Figura 5.19: Organi di tenuta circolari del meccanismo di avviamento della valvola a sfera flottante con relativa tavola 2D progettuale

Le molle a tazza CB EN 16983 (DIN 2093) e il dado esagonale sottile ISO 8675 M3 sono stati ricavati tramite normativa e scelti all'interno della libreria dei componenti standardizzati del software Creo Parametric.

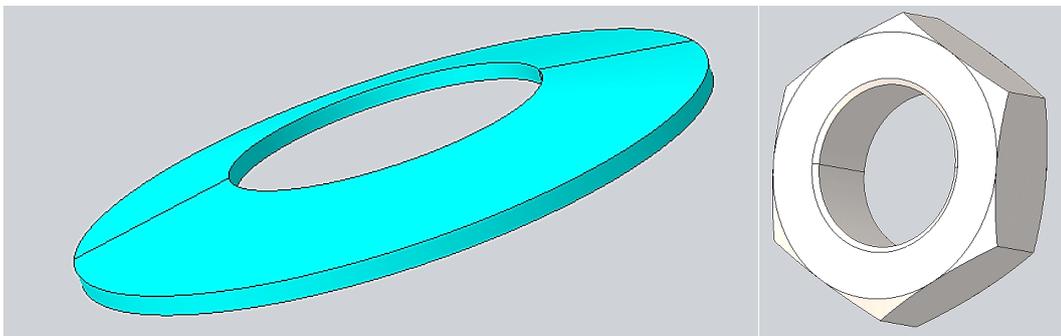


Figura 2.20: Molla a tazza e dado esagonale del meccanismo di avviamento della valvola a sfera flottante

Per dare l'idea del meccanismo di avviamento è stato prodotto un assieme parziale con i rispettivi componenti. Il complessivo è composto dall'interruttore di fine corsa, dalle due molle a tazza, dall'anello di bloccaggio, dal dado esagonale sottile e da 4 organi di tenuta circolari in serie tra loro.

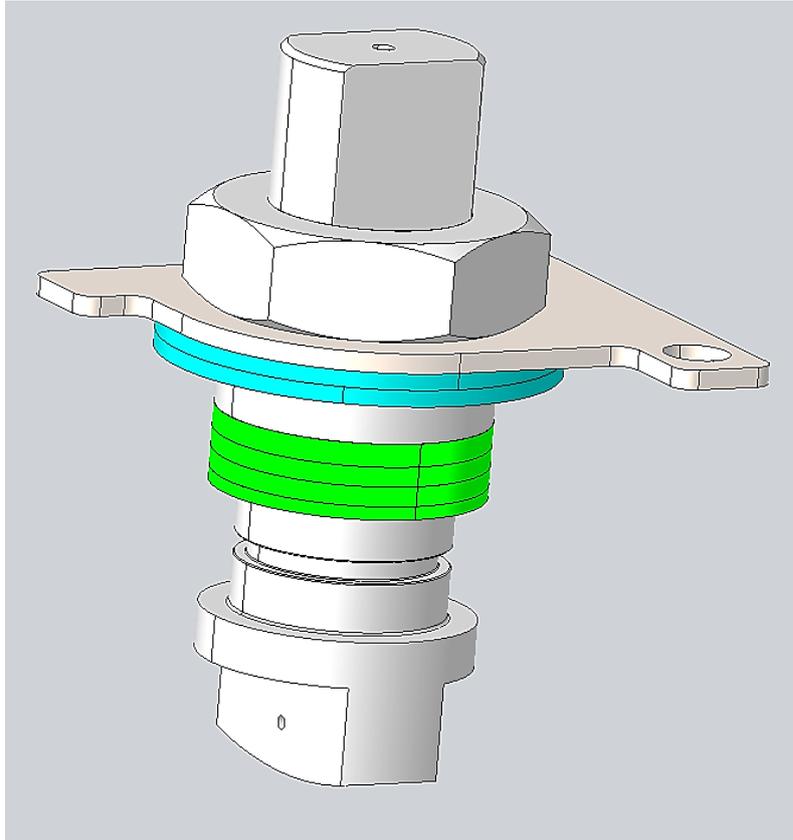


Figura 6.21: Accoppiamento dei componenti del meccanismo di avviamento della valvola a sfera flottante

Come ultimo passaggio è stato progettato un manicotto manuale per facilitare la rotazione dello stelo di 90°, da disporre nella parte superiore dello stelo che fuoriesce dal dado esagonale, come raffigurato in figura 2.19.

Per la sua realizzazione è stato necessario produrre tre componenti non presenti nelle librerie del software, quali:

- Un manicotto di collegamento per maniglia che funge proprio per il collegamento dello stelo alla maniglia.
- Una piastra di pressione utilizzata per il bloccaggio del manicotto di collegamento allo stelo
- Una maniglia circolare, inserita nell'apposita sede ricavata all'interno del manicotto, per l'attivazione manuale della valvola da parte dell'operatore.

Essi sono stati progettati secondo dimensioni progettuali precise raffigurate in figura 2.8 e vengono riportati di seguito.

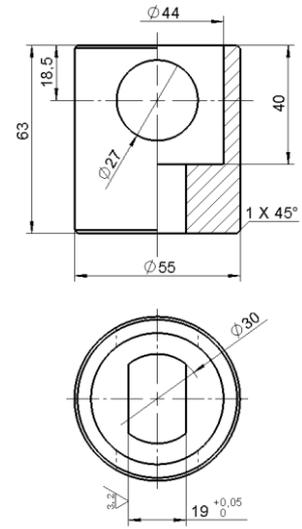
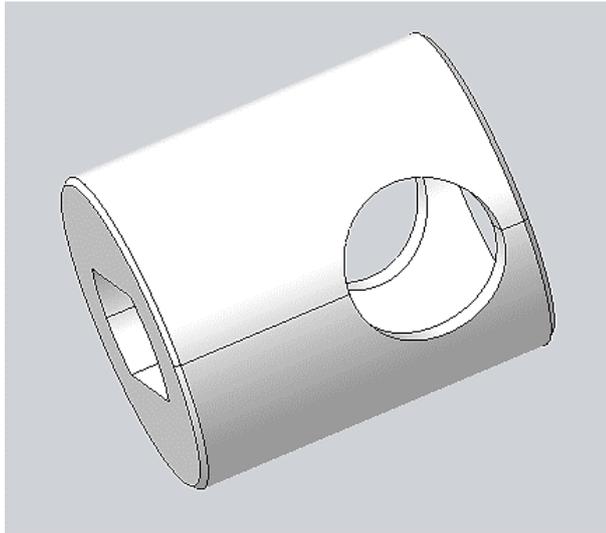


Figura 7.22: Manicotto di collegamento per la maniglia della valvola a sfera flottante

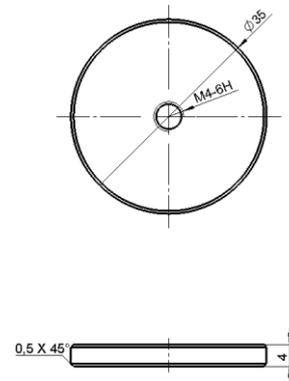
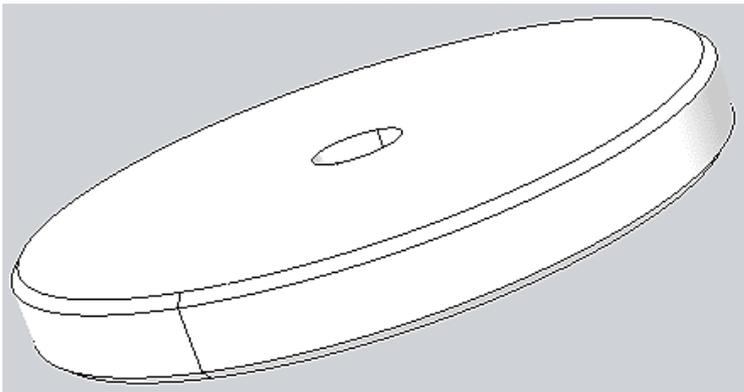


Figura 8.23: Piastra di pressione per il bloccaggio del manicotto della valvola a sfera flottante

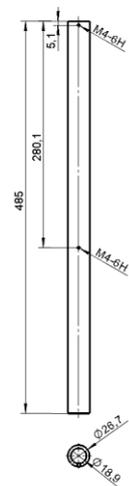
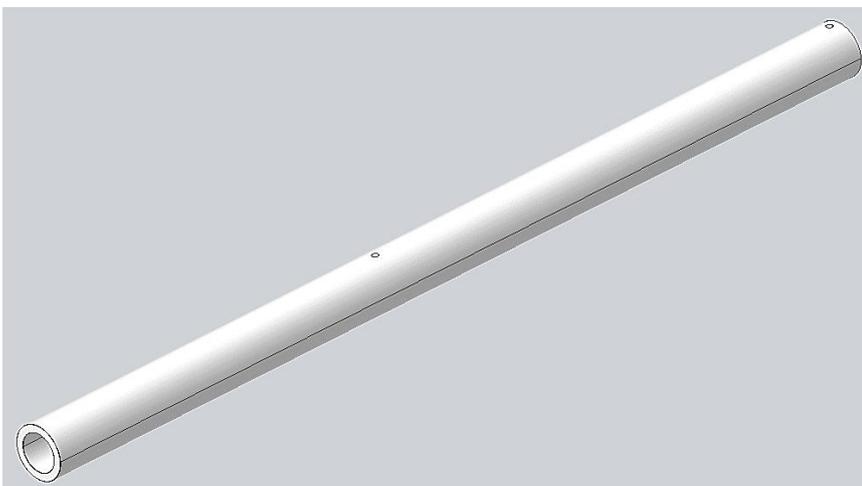


Figura 9.24: Maniglia manuale on/off della valvola a sfera flottante

Infine, per dare completezza alla progettazione del meccanismo di azionamento e spegnimento manuale della valvola a sfera flottante è stato prodotto un assieme raffigurante tutte le componenti accoppiate tra loro comprendendo anche quelle per la realizzazione del manicotto, secondo le specifiche di progetto.



Figura 10.25: Meccanismo di azionamento e spegnimento manuale completo della valvola a sfera flottante

Come elementi di giunzione e di serraggio tra varie componenti sono stati utilizzati:

- 6 Viti a testa esagonale ISO 4017 M14x30 utilizzate per il serraggio degli involucri esterni sinistro e destro della valvola a sfera flottante.
- 3 Viti a testa cilindrica con cava esagonale ISO 4762 M4x6 utilizzate per fissare la piastra di pressione per il bloccaggio del manicotto allo stelo e per fissare la maniglia all'interno del manicotto di collegamento della valvola a sfera flottante.
- 1 Vite a testa cilindrica con cava esagonale ISO 4762 M10X14 utilizzata per bloccare l'interruttore di fine corsa del meccanismo di avviamento all'estremità superiore dell'involucro esterno sinistro della valvola a sfera flottante.

2.4.4 Assieme completo della valvola a sfera flottante

Avendo a disposizione tutti i componenti modellati in 3D è stato prodotto l'assembly definitivo della valvola a sfera flottante assicurando i collegamenti tramite gli elementi di giunzione e vincolando le parti selezionando gli assi comuni e le superfici di appoggio tra i vari componenti.

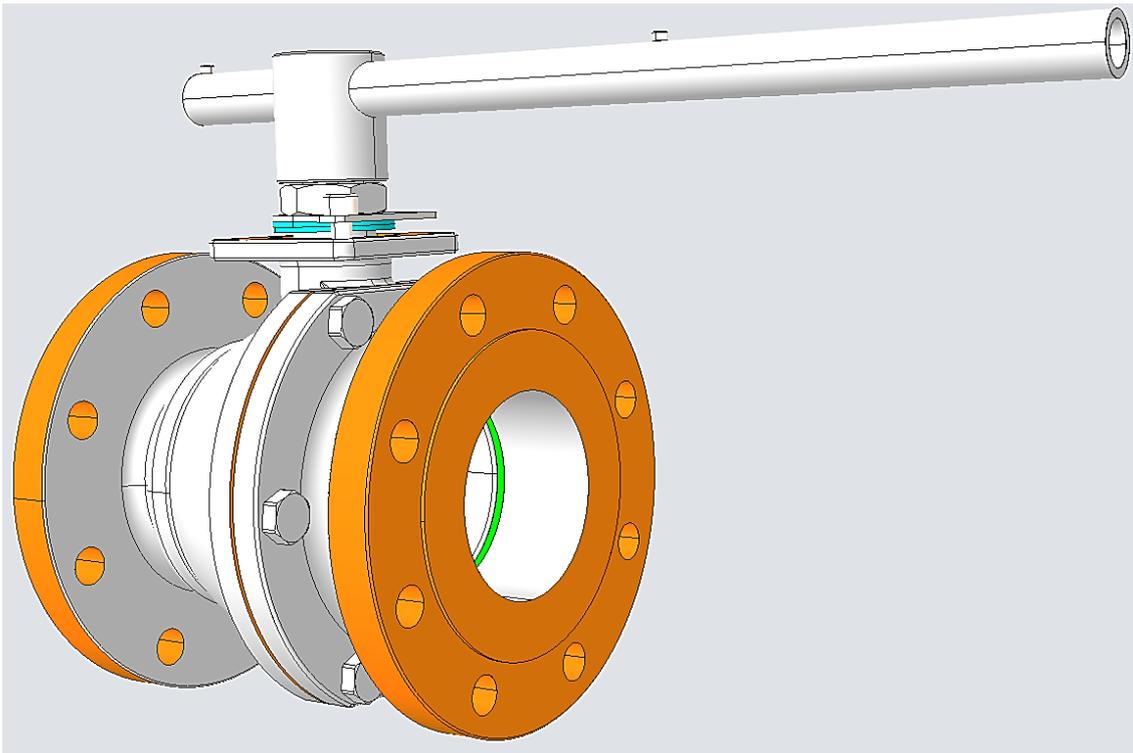


Figura 11.26: Rappresentazione modello 3D valvola a sfera flottante.

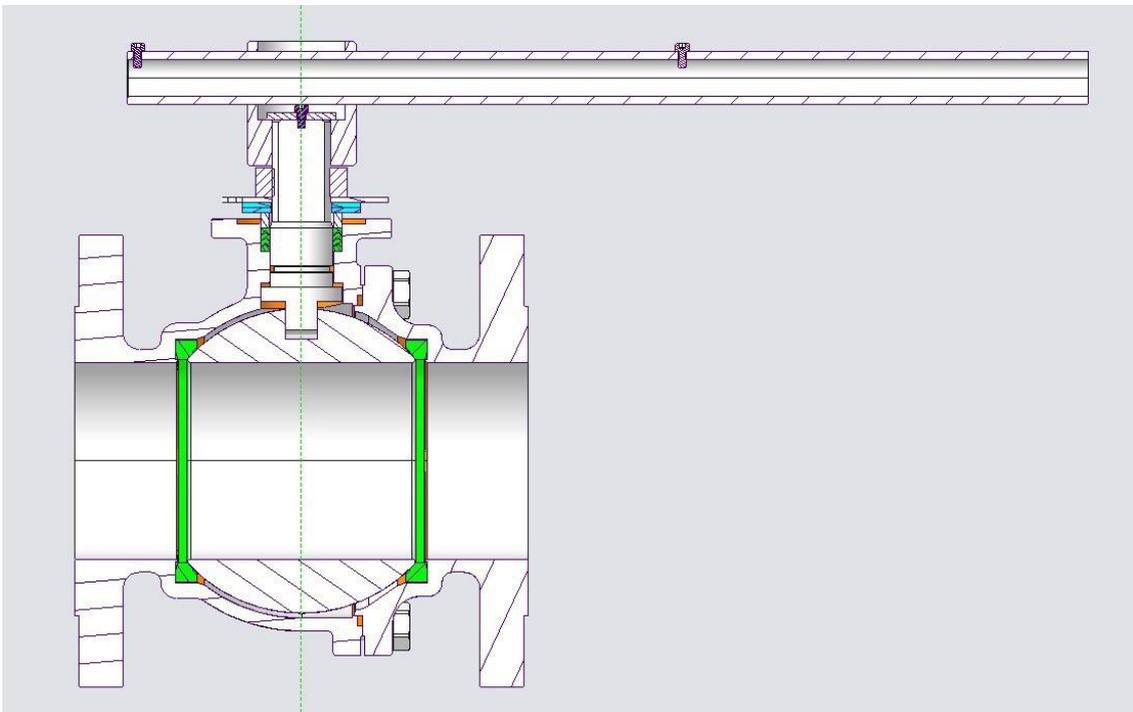


Figura 12.27: Vista in sezione del modello 3D della valvola a sfera flottante.

3. APPLICAZIONE DEI METODI DFA ALLA VALVOLA FLOATING BALL

3.1 Il caso studio

Vengono applicati i tre metodi di valutazione dell'assemblaggio alla valvola a sfera flottante al fine di poter esaminare il dispositivo così come presente in commercio.

Di seguito viene proposto un modello alternativo della valvola, seguendo le linee guida per migliorare il design per un'ottimizzazione dell'assemblaggio, verificando successivamente un eventuale miglioramento degli indici di montaggio.

Preliminarmente, fornendo una vista esplosa del dispositivo riprodotta al CAD e la rispettiva distinta base, si procede a determinare la sequenza ottimale di assemblaggio dei componenti della valvola.

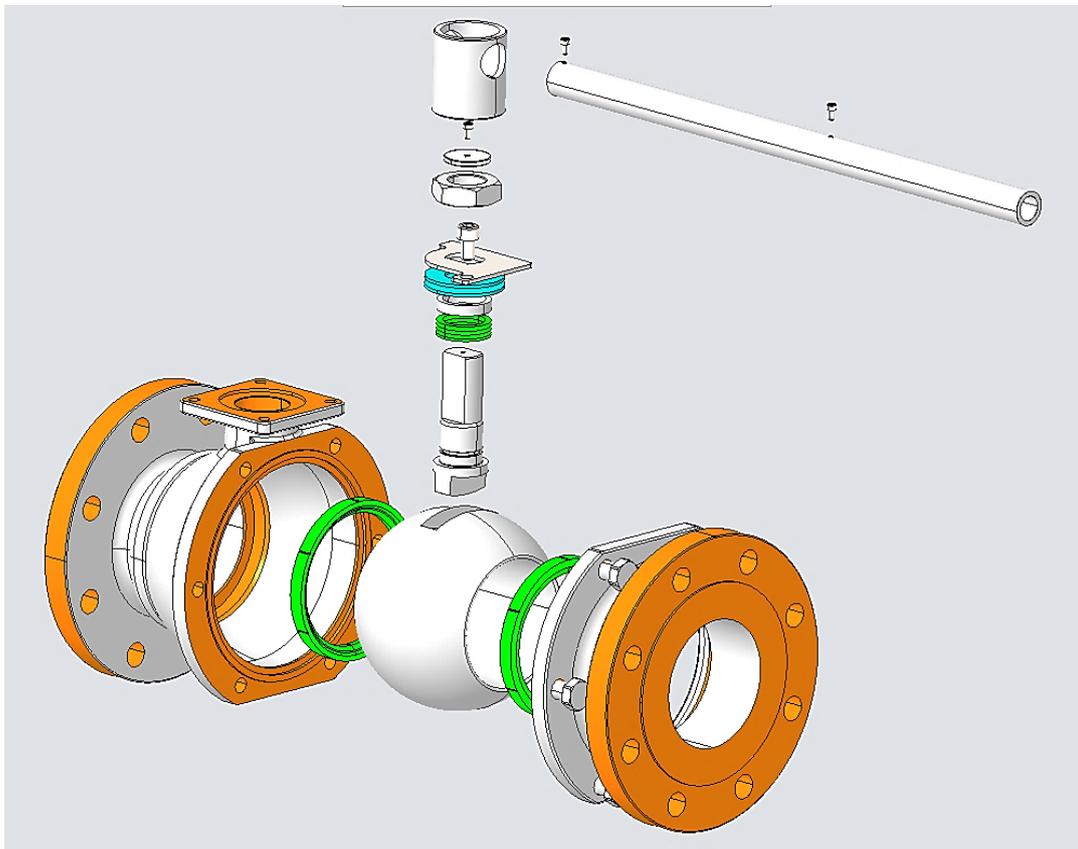


Figura 3.1: Vista esplosa prospettica dell'assime 3D della valvola a sfera flottante.

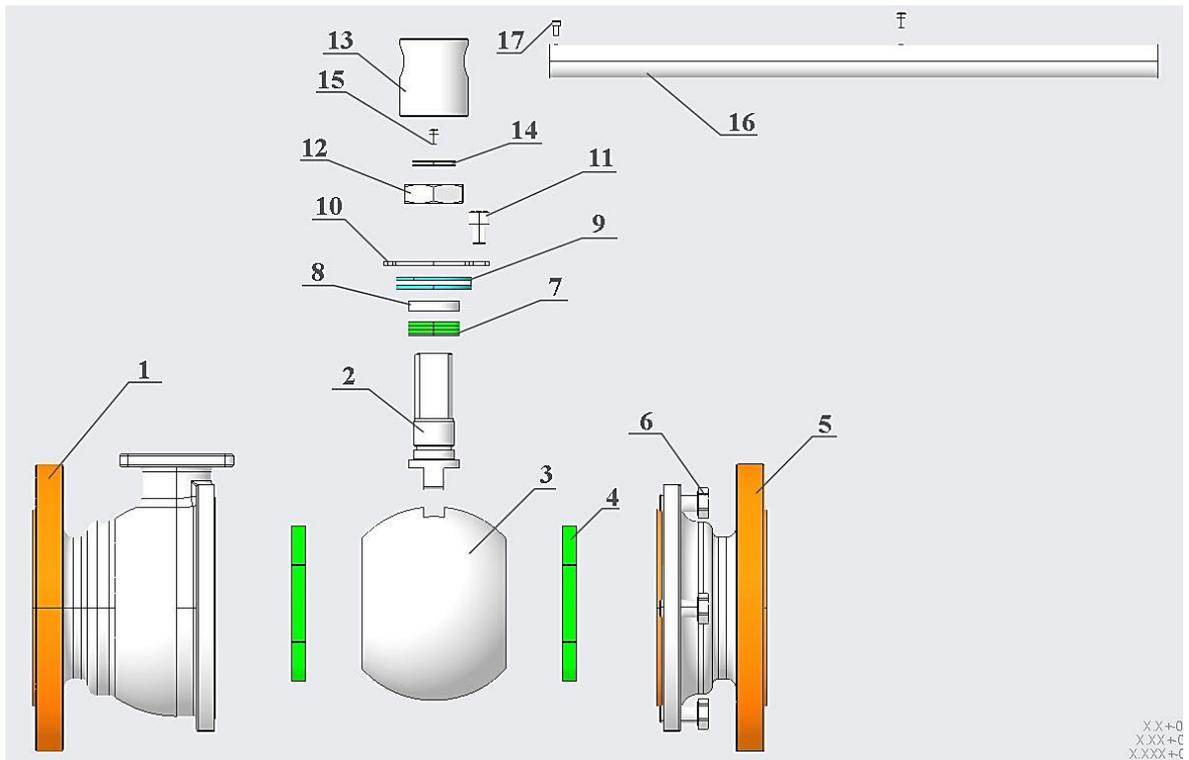


Figura 3.2: Vista esplosa prospettica dell'assime 2D della valvola a sfera flottante con numerazione componenti.

Report distinta base : VALVOLA_TESI

Asieme VALVOLA_TESI contiene:						
Quantità	Ipo	Nome	Azioni			
1	Parte	(12)_Dado_esagonale_sottile_ISO_8675_M3				
6	Parte	(6)_Vite_a_testa_esagonale_ISO_4017_M14x30				
1	Parte	(14)_Piastra_di_pressione				
2	Parte	(2)_Molla_a_tazza_60x30.5x2				
1	Parte	(13)_Manicotto_di_collegamento				
1	Parte	(10)_Interruttore_di_fine_corsa				
2	Parte	(4)_Guarnizione_circolare_PTFE				
1	Parte	(1)_Involucro_esterno_sinistro				
1	Parte	(5)_Involucro_esterno_destro				
1	Parte	(8)_Anello_di_bloccaggio				
1	Sottoassieme	(7)_Asieme_guarnizioni_circolari				
1	Parte	(2)_Stelo_mecanismo_interno				
1	Parte	(3)_Sfera_metallica_interna				
1	Parte	(16)_Maniglia_manuale_on/off				
3	Parte	(15-17)_Vite_a_testa_cilindrica_cava_esagonale_ISO_4762_M4x6				
1	Parte	(11)_Vite_a_testa_cilindrica_cava_esagonale_ISO_4762_M10x14				

Figura 3.3: Distinta base della valvola a sfera flottante.

La sequenza viene elencata per punti, premesso che guarnizioni ed organi di tenuta sono stati considerati già montati nelle apposite sedi dei componenti della valvola:

1. Si posiziona sulla base di lavoro l'involucro esterno sinistro.
2. Si inserisce lo stelo del meccanismo interno nell'apposita sede superiore dell'involucro esterno sinistro.
3. Si inserisce, all'interno dell'involucro esterno sinistro, la sfera metallica con le guarnizioni PTFE alle sue estremità aperte, facendo combaciare internamente i componenti stelo e sfera con il bloccaggio nell'apposita sede ricavata nella parte superiore della sfera.
4. Si chiude il tutto con il serraggio dell'involucro esterno destro tramite 6 viti a testa esagonale ISO 4017 M14x30
5. Si posiziona sullo stelo, con inserimento verticale, il meccanismo di avviamento della valvola in sequenza composto dai seguenti componenti:
 - Le guarnizioni per il bloccaggio del medesimo sull'involucro esterno sinistro.
 - L'anello di bloccaggio inferiore.
 - Le due molle a tazza CB EN 16983 (DIN 2093) che permettono il meccanismo di avviamento on/off.
 - L'interruttore di fine corsa, con l'apposita sede per il serraggio con l'involucro esterno sinistro tramite vite a testa cilindrica con cava esagonale ISO 4762 M10X14, che permette la rotazione di 90° gradi dello stelo e indirettamente anche della sfera interna.
6. Si avvita il dado esagonale sottile ISO 8675 M3 per il bloccaggio dei precedenti componenti.
7. Si applica al di sopra del dado esagonale il manicotto di collegamento per la maniglia della valvola a sfera flottante, caratterizzato da una sezione inferiore tagliata appositamente per inserirlo all'interno dello stelo.
8. Si inserisce poi una piastra di pressione per il serraggio completo in pressione dei componenti sottostanti.
9. Si avvita una vite a testa cilindrica con cava esagonale ISO 4762 M4x6 per il bloccaggio di tutto il meccanismo di avviamento on/off della valvola.
10. Si inserisce infine, all'interno delle sedi circolari ricavate nel manicotto di collegamento, la maniglia manuale on/off della valvola a sfera flottante, serrata tramite l'avvitamento di due viti a testa cilindrica con cava esagonale ISO 4762 M4x6.

3.2 Applicazione del metodo AEM

Partendo dalla sequenza di assemblaggio esposta, si calcola l'indice di assemblaggio con il metodo di Hitachi; si procede valutando ogni operazione di assemblaggio senza rilevanza per le dimensioni o per il tipo di pezzo, e si assegna un punteggio di 100, operazione ottimale, a ogni movimento e, tramite le tabelle fornite, si associa una penalità ad ogni step di assemblaggio.

Symbol	Penalty Point	Description of Operation
↓	0	Straight Downward
↑	30	Straight Upward
← →	20	Move Horizontally
↗ ↘	30	Move diagonally up/down
∩ C	30	Turn like a screw
R	40	Turn or lift the whole assembly to insert a part

Figura 3.4: Tabella per la direzione del movimento di una parte.

Symbol	Penalty Point	Description of Operation
f	20	Hold a part for next one operation
F	40	Hold a part for more than next one operation
G	40	Deform a soft/flexible part (O-ring/gasket)
P	20	Bend or cut (wire...)

Figura 3.5: Tabella per la direzione del movimento di una parte.

Symbol	Penalty Point	Description of Operation
B	20	Bond with adhesive or heat or lubricate a part
W	20	Weld
S	30	solder
M	60	Machine a part to join

Figura 3.6: Tabella per l'unione di pezzi deve essere.

Symbol	Penalty Point	Description of Operation
—	0	Base part for assembly
	0	Pipe to keep track of assembly

Figura 3.7: Tabella con altri simboli senza punti di penalità..

Osservando le tabelle, si nota come ogni operazione sia caratterizzata da una semplice icona di identificazione, permettendo così anche ad un neofita di applicare facilmente il metodo. Quando una parte o un'operazione è totalmente valutata, tutte le penalità vengono sommate algebricamente ad un valore pari a 100; se il punteggio è inferiore a una determinata soglia di riferimento, in genere 70, l'operazione o la parte deve essere sottoposta a valutazione, per migliorare il suo punteggio, che si svolge in due fasi:

- Ogni operazione viene valutata ottenendo un punteggio di valutazione E_i per l'operazione.
- Si calcola il valore dell'intero prodotto come la somma di tutti i punteggi delle singole operazioni, diviso il numero delle operazioni stesse.

Si applica quindi la valutazione secondo il metodo AEM all'oggetto di studio.

TABELLA DI VALUTAZIONE DEL METODO HITACHI			
N° operazione	Simboli	Punti di penalità	Punteggio operazioni di assemblaggio
1	↓-	0	100
2	↑	30	70
3	←	20	80
4a	←	20	80
4b	← nC	30	70
5a	↓	0	100
5b	↓	0	100
5c	↓	0	100
5d	↓	0	100
5e	↓ nC	30	70
6	↓ nC	30	70
7	↓	0	100
8	↓	0	100
9	↓ nC	30	70
10a	←	20	80
10b	↓ nC	30	70
		Ei	1360
		$E = \frac{N^{\circ} \text{ OPERAZIONI TOTALI}}{\text{PUNTEGGIO OPERAZIONI DI ASSEMBLAGGIO}} = 85$	

Figura 3.8: Tabella di valutazione secondo il metodo AEM del caso studio.

Osservando il caso della valvola a sfera flottante, la tabella di figura 3.7 mostra come il montaggio si svolge su due assi principali, orizzontale e verticale a piramide dall'alto, rendendo il montaggio semplice, efficace e abbastanza rapido; infatti, i valori per ogni operazione si avvicinano maggiormente al valore ottimale, tranne nei casi in cui l'operazione richiede un avvitamento, un movimento verticale e un movimento verso l'alto.

Di conseguenza l'indice di assemblaggio finale "E" assume un valore molto alto, il che rende il pezzo già ottimizzato e poco migliorabile ulteriormente. Il metodo, però, prevede che *"La riduzione del numero di parti è preferibile per un punteggio migliore"*, ma è possibile che un assemblaggio con meno parti abbia un punteggio più alto, semplicemente perché sono disponibili meno penalità per ridurlo. Tuttavia, il metodo non include un modo sistematico per identificare quale parte eliminare.

3.3 Applicazione del metodo DFA Boothroyd-Dewhurst

Per introdurre al meglio l'applicazione del metodo Boothroyd-Dewhurst necessita inizialmente fare una premessa sulla sua applicazione per comprendere al meglio la sua complessità.

Una delle principali caratteristiche del design che influisce sui tempi richiesti per afferrare e orientare una parte è la sua simmetria. Le operazioni di assemblaggio coinvolgono sempre almeno due componenti: la parte da inserire e la parte o il gruppo in cui essa viene inserita la parte. L'orientamento implica il corretto allineamento della parte da inserire rispetto all'alloggiamento corrispondente, e può sempre essere diviso in due operazioni distinte:

- Allineamento dell'asse della parte, che corrisponde all'asse di inserimento.
- Rotazione della parte su questo asse.

È quindi conveniente definire due tipi di simmetria per una parte o componente:

- *Simmetria Alfa α* : dipende dall'angolo del quale una parte deve essere ruotata su un asse perpendicolare all'asse di inserimento per ripetere il suo orientamento.
- *Simmetria Beta β* : dipende dall'angolo del quale una parte deve essere ruotata attorno l'asse di inserimento per ripetere il suo orientamento.

Per comprendere al meglio il concetto di simmetria si consideri un semplice prisma quadrato che deve essere inserito in un buco quadrato; per prima cosa deve essere ruotato attorno a un asse perpendicolare all'asse di inserimento. Con tale rotazione, il prisma ripete il suo orientamento ogni 180° e può essere definito l'angolo di simmetria alfa pari a 180° . Il prisma quadrato deve poi essere ruotato attorno all'asse di inserimento, e poiché l'orientamento del prisma attorno a tale asse si ripete ogni 90° , questo implica una simmetria beta pari a 90° . Tuttavia, se il prisma dovesse essere inserito in un buco circolare, avrebbe l'angolo alfa pari a 180° e quello beta pari a 0° .

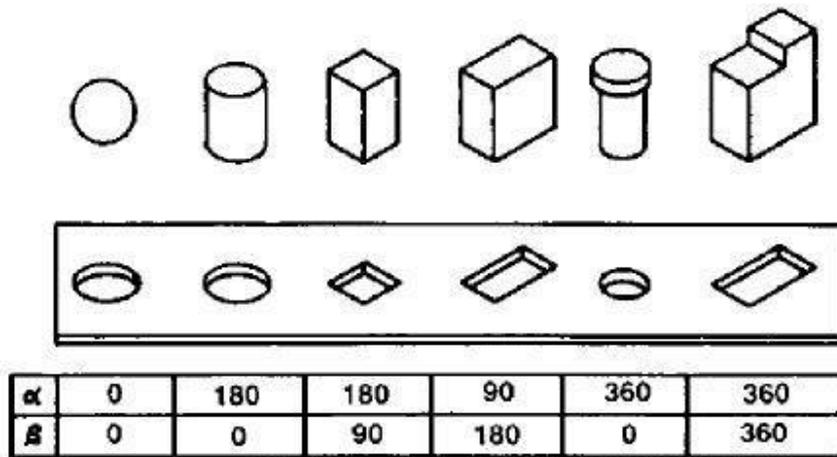


Figura 3.9: Esempi applicativi per la valutazione degli angoli α e β .

Una volta calcolata la somma di questi due angoli si valutano codice e tempi di gestione, *handling code e time handling*, di ogni pezzo, in base agli angoli di simmetria, prendendo i valori dalle tabelle riportate nelle figure 3.9 e 3.10.

sym (deg) = (alpha+ beta)		no handling difficulties			part nests or tangles		
		thickness > 2mm		< 2mm	thickness > 2mm		< 2mm
		size > 15mm	6mm < size < 15mm	size > 6mm	size > 15mm	6mm < size < 15mm	size > 6mm
		0	1	2	3	4	5
sym < 360	0	1.13	1.43	1.69	1.84	2.17	2.45
360 <= sym < 540	1	1.5	1.8	2.06	2.25	2.57	3.0
540 <= sym < 720	2	1.8	2.1	2.36	2.57	2.9	3.18
sym = 720	3	1.95	2.25	2.51	2.73	3.06	3.34

Figura 3.10: Tabella dei tempi per le parti che possono essere afferrate e manipolate con una sola mano senza aiuto di strumenti di presa.

	alpha <= 180		alpha = 360
	size > 15mm	6mm < size < 15mm	size > 6mm
	0	1	2
4	4.1	4.5	5.6

Figura 3.11: Tabella dei tempi per le parti che possono essere sollevate con una mano ma richiedono due mani per essere manipolate.

Le tabelle prendono in considerazione anche lo spessore, *thickness*, definito come la lunghezza del lato più corto del più piccolo prisma rettangolare che racchiude la parte, e la dimensione, *size*, definita come la lunghezza del lato più lungo del più piccolo prisma rettangolare che può racchiudere la parte. Inoltre, le colonne si suddividono in due categorie: componenti che non hanno difficoltà a essere maneggiati e componenti più complicati da maneggiare.

Stessa operazione viene fatta per valutare codice e tempo per l'inserimento del pezzo, *insertion code e insertion time*, prendendo come parametri nelle tabelle angoli di simmetria, difficoltà di allineamento del pezzo, necessità, o meno, di tenere premuta una parte per il montaggio o inserimento tramite scatto, *snap fit*.

		secured by separate operation or part				secured on insertion by snap fit	
		no holding down required		holding down required		easy to align	not easy to align
		easy to align	not easy to align	easy to align	not easy to align		
		0	1	2	3	4	5
no access or vision difficulties	0	1.5	3.0	2.6	5.2	1.8	3.3
obstructed access or restricted vision	1	3.7	5.2	4.8	7.4	4.0	5.5
obstructed access and restricted vision	2	5.9	7.4	7.0	9.6	7.7	7.7

Figura 3.12: Tabella dei tempi per una parte inserita ma non fissata immediatamente o fissata mediante inserimento a scatto.

		easy to align	not easy to align				
		0	1				
no access or vision difficulties	3	3.6	5.3				
restricted vision only	4	6.3	8.0				
obstructed access only	5	9.0	10.7				
				screw tighten with power tool	manipulation, reorientation or adjustment	addition of non solids	
				0	1	2	
				6	5.2	4.5	7

Figura 3.13: Tabella dei tempi per una parte inserita e fissata immediatamente mediante fissaggio a vite con elettroutensile.

Per ogni pezzo, quindi, si sommano *handling time e insertion time* e si calcola una stima del prezzo dell'operazione moltiplicando per 0,4 il tempo totale di assemblaggio del pezzo.

Come ultimo passaggio dell'analisi si stabilisce il numero minimo teorico di parti, per identificare possibili semplificazioni nella struttura del prodotto, seguendo i tre semplici criteri:

- Durante il funzionamento del prodotto, la parte si muove rispetto a tutte le altre parti già assemblate?
- La parte deve essere di un materiale diverso da tutte le altre parti già assemblate o isolato da loro?
- La parte deve essere separata da tutte quelle già assemblate perché altrimenti sarebbe impossibile il montaggio o lo smontaggio di altre parti separate?

Infine, per calcolare il valore di *design efficiency*, si sommano i tempi di tutte le operazioni, TM, i costi, CM, e la somma di tutte le parti minime teoriche valutate prima, NM. La formula quindi utilizza è:

$$DESIGN\ EFFICENCY = \frac{3 * NM}{TM} = \frac{3 * 20}{90.76} = 0.66$$

Si applica quindi l'analisi del metodo di Boothroyd-Dewhurst al caso studio, riscontrando i risultati riportati in figura 3.14.

TABELLA DI VALUTAZIONE DEL METODO DI BOOTHROYD - DEWHURST									
Componente	N° di volte	Angolo tot. di simmetria (deg)	handling code	handling time	insertion code	insertion time	operation time	operation cost	N° min. teorico di parti
1	1	360	42	5,6	00	1,5	7,1	2,84	1
2	1	270	00	1,13	20	5,9	7,03	2,812	1
3	1	0	00	1,13	20	7,4	8,53	3,412	1
4	2	180	00	1,13	10	3,7	4,83	1,932	2
5	1	360	12	5,6	00	1,5	7,1	2,84	1
6	6	360	10	1,5	20	5,9	7,4	2,96	3
7	4	180	00	1,13	14	4,0	5,13	2,052	1
8	1	180	00	1,13	10	3,7	4,83	1,932	1
9	2	180	00	1,13	02	2,626	3,76	1,504	1
10	1	270	00	1,13	02	2,626	3,76	1,504	1
11	1	360	10	1,5	00	1,5	3	1,2	1
12	1	180	00	1,13	00	1,5	2,63	1,052	1
13	1	270	00	1,13	00	1,5	2,63	1,052	1
14	1	180	00	1,13	20	5,9	7,03	2,812	1
15	1	360	10	1,5	20	5,9	7,4	2,96	1
16	1	180	40	4,1	00	1,5	5,6	2,24	1
17	2	360	10	1,5	00	1,5	3	1,2	1
$DESIGN\ EFFICENCY = \frac{3 * NM}{TM} = \frac{3 * 20}{90.76} = 0.66$							TM	CM	NM
							90,76	36,304	20

Figura 3.14: Tabella di valutazione secondo il metodo Boothroyd-Dewhurst del caso studio.

Si evince che il pezzo è ben ottimizzato con un buon valore di assemblaggio; inoltre avendo anche determinato il numero minimo teorico di parti, è possibile stabilire che i componenti utili a serraggio, isolamento e intensità di pressione della valvola possono essere ottimizzati o eliminati, per incrementare il *design efficiency* della valvola.

3.4 Applicazione del metodo Lucas

Per l'applicazione del metodo di Lucas si seguono passaggi ben precisi e lineari per determinare 3 indici fondamentali per una ottimale valutazione del design di assemblaggio. Come primo passo bisogna determinare i pezzi che appartengono al gruppo A, cioè quei pezzi indispensabili per il funzionamento del prodotto, e quelli che appartengono al gruppo B, ovvero dei pezzi non essenziali.

Successivamente si calcola l'indice di alimentazione di ogni pezzo, *handling index*, ricavato dalla somma di quattro parametri fondamentali e valutato tramite l'utilizzo della tabella in figura 3.15.

$$HANDLING\ INDEX = A + B + C + D$$

dove:

- A. dimensione e peso del pezzo
- B. difficoltà nel maneggiare il pezzo
- C. orientamento del pezzo
- D. orientamento rotazionale del pezzo

Lucas DFA method - Manual Handling Analysis			
Handling Index = A+B+C+D		B. Handling difficulties <i>All that apply</i>	
A. Size & Weight of Part One of the following		Delicate	0.4
Very small - requires tools	1.5	Flexible	0.6
Convenient - hands only	1	Sticky	0.5
Large and/or heavy	1.5	Tangible	0.8
requires more than 1 hand		Severely nest	0.7
Large and/or heavy	3	Sharp/Abrasive	0.3
requires hoist or 2 people		Untouchable	0.5
		Gripping problem / slippery	0.2
		No handling difficulties	0
C. Orientation of Part One of the following:		D. Rotational Orientation of Part One of the following	
Symmetrical, no orientation req'd	0	Rotational Symmetry	0
End to end, easy to see	0.1	Rotational Orientation, easy to see	0.2
End to end, not visible	0.5	Rotational Orientation, hard to see	0.4

Figura 3.15: Tabella per l'analisi di movimentazione manuale nel metodo Lucas.

Quindi si procede con la valutazione dell'indice di inserimento, *fitting index*, che valuta il montaggio della singola parte in tutte le sue possibili configurazioni. Anch'esso si stabilisce sommando sei diversi indici:

$$FITTING\ INDEX = A + B + C + D + E + F$$

dove:

- A. posizionamento e fissaggio del pezzo
- B. direzione del processo di assemblaggio
- C. inserimento
- D. accesso e visione del montaggio
- E. difficoltà dell'allineamento
- F. forza da applicare all'inserimento

Lucas DFA method - Manual Fitting Analysis					
Fitting Index = A+B+C+D+E+F					
A. Part Placing and Fastening One of the following			D. Access and/or Vision One of the following		
Self-holding orientation	1.0	Direct	0		
Requires holding	2.0	Restricted	1.5		
<i>Plus 1 of the following</i>					
Self-securing (i.e. snaps)	1.3				
Screwing	4.0				
Riveting	4.0				
Bending	4.0				
B. Process Direction One of the following			E. Alignment One of the following		
Straight line from above	0	Easy to align	0		
Straight line not from above	0.1	Difficult to align	0.7		
Not a straight line	1.6				
C. Insertion One of the following			F. Insertion Force One of the following		
Single	0	No resistance to insertion	0		
Multiple insertions	0.7	Resistance to insertion	0.6		
Simultaneous multiple insertions	1.2				

Figura 3.16: Tabella per l'analisi del montaggio manuale nel metodo Lucas.

Eseguite tutte le valutazioni per ogni singolo pezzo, si calcolano i valori che servono a determinare gli indici di assemblaggio dell'intero pezzo; si considera il numero totale dei pezzi appartenenti al gruppo A, #A, si sommano gli indici di alimentazione di tutti i componenti, HI, e infine si sommano tutti gli indici di inserimento dei singoli pezzi, FI.

TABELLA DI VALUTAZIONE DEL METODO LUCAS														
Componente	Functional analysis	Feeding analysis					Fitting analysis							
		A	B	C	D	TOT.	A	B	C	D	E	F	TOT.	
1	A	1,5	0	0,1	0,2	1,8	1	0,1	0	0	0	0	1,1	
2	A	1	0	0,1	0	1,1	1	0,1	0	1,5	0,7	0	3,3	
3	A	1,5	0,2	0,1	0	1,8	1	0,1	1,2	1,5	0,7	0	4,5	
4	B	1	0	0,1	0	1,1	2	0,1	1,2	1,5	0	0	4,8	
5	A	1,5	0	0,1	0,2	1,8	1	0,1	0	0	0	0	1,1	
6	B	1	0	0,1	0	1,1	4	0,1	0,7	0	0	0	4,8	
7	B	1	0,6	0,1	0,2	1,9	2	0	1,2	1,5	0,7	0	5,4	
8	A	1	0	0	0	1	1	0	0	1,5	0,7	0	3,2	
9	A	1	0,4	0,1	0	1,5	2	0	1,2	1,5	0,7	0	5,4	
10	A	1	0	0	0,2	1,2	1	0	0	0	0	0	1	
11	A	1	0	0,1	0	1,1	4	0	0	0	0	0	4	
12	B	1	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	4	
13	A	1	0	0,1	0	1,1	1	0	0	0	0	0	1	
14	A	1	0,4	0	0	1,4	1	0	0	1,5	0,7	0	3,3	
15	B	1	0	0,1	0	1,1	4	0	0	1,5	0,7	0	6,2	
16	A	1,5	0	0	0	1,5	1	0,1	0	0	0	0	1,1	
17	B	1	0	0,1	0	1,1	4	0	0,7	0	0	0	4,7	
	#A= 11					HI	22,6						FI	58,9
DESIGN EFFICENCY = $\frac{\#A}{\#TOTALE PEZZI} * 100 = \frac{11}{28} * 100 = 39,3\%$		FEEDING HANDLING RATIO = $\frac{HI}{\#A} = \frac{22,6}{11} = 2,05$					FITTING RATIO = $\frac{FI}{\#A} = \frac{58,9}{11} = 5,35$							

Figura 3.17: Tabella di valutazione secondo il metodo Lucas del caso studio.

Gli indici di assemblaggio sono quindi:

$$DESIGN EFFICENCY = \frac{\#A}{\#TOTALE PEZZI} * 100 = \frac{11}{28} * 100 = 39.3\%$$

$$FEEDING HANDLING RATIO = \frac{HI}{\#A} = \frac{22.6}{11} = 2.05$$

$$FITTING RATIO = \frac{FI}{\#A} = \frac{58.9}{11} = 5.35$$

I risultati sottolineano come la valvola a sfera flottante in commercio sia, da un punto di vista dell'assemblaggio, non ottimizzata, tenendo conto che il valore ottimale del *design efficacy* risulta essere inferiore al 40% ed entrambi gli indici di alimentazione ed inserimento sono pressoché vicini al valore ottimale di 2.5 o anche superiore; inoltre, le uniche parti appartenenti al gruppo B, che possono essere oggetto di riprogettazione, sono quelle riguardanti il serraggio dei componenti e i relativi organi di tenuta di essi.

3.5 Ottimizzazione della valvola a sfera flottante

Le valutazioni effettuate sull'assemblaggio della valvola a sfera flottante con i tre metodi, hanno condotto ad una stima dell'efficienza dell'assemblaggio alquanto buona; per questo motivo il pezzo risulta difficile da migliorare da un punto di vista puramente dell'assemblaggio.

Va precisato che tutte le modifiche proposte per l'ottimizzazione del design non vengono sottoposte ad analisi dei costi quindi la modifica potrebbe risultare non conveniente dal punto di vista economico.

Dall'applicazione delle teorie di Boothroyd-Dewhurst e Lucas si evince che la valvola può essere ottimizzata, lavorando sui pezzi non indispensabili alla funzione della valvola stessa, si tratta di componenti che riguardano il bloccaggio tra componenti, l'utilizzo degli organi di tenuta e la scelta dell'elemento di pressione.

Per questo motivo la proposta, del presente elaborato, di miglioramento della valvola si è focalizzata sui seguenti componenti:

- l'assieme delle guarnizioni circolari, numero 7 nella figura 3.2, per il bloccaggio dello stelo con l'involucro sinistro esterno.
- le molle a tazza, numero 9 nella figura 3.2, CB EN 16983 (DIN 2093).
- le viti a testa cilindrica con cava esagonale ISO 4762 M4x6, numero 17 nella figura 3.2, utilizzate per fissare la maniglia all'interno del manicotto di collegamento.

Il modello proposto prevede una diminuzione complessiva dei pezzi, passando così da ventotto a ventitré componenti; i cambiamenti sono stati apportati nella sostituzione e nella diminuzione dei componenti elencati con rispettivi elementi che conservano le stesse caratteristiche strutturali e progettuali per il corretto funzionamento della valvola.

- Per il bloccaggio dello stelo con l'involucro sinistro esterno invece di utilizzare 4 guarnizioni circolari incastonate tra loro in PTFE, si è scelto di utilizzare un solo anello O-Ring G22 Steelgraph in grafite della ditta Carrara da catalogo con diametro 40 mm e spessore 12 mm.



Figura 3.18: Guarnizione circolare G22 Steelgraph prodotta dall'azienda Carrara, con rappresentazione CAD 3D.

- Per il meccanismo di avviamento della valvola on/off si è optato l'utilizzo di una molla a compressione d'acciaio per valvole della ditta "Mollificio Gardesano" codice A1579 DMP con diametro esterno 40,9 mm e lunghezza 5 mm.



Figura 3.19: Molla a compressione in acciaio per valvole prodotta dal Mollificio Gardesano, con rappresentazione CAD 3D.

- Per fissare la maniglia si è optato anche per l'utilizzo di un'unica vite a testa cilindrica con cava esagonale ISO 4762 M4x6 con sede all'interno della sezione aperta del manicotto di collegamento, per dare anche la possibilità di una lieve regolazione di lunghezza della maniglia

Qui vi sono le rappresentazioni del nuovo modello di valvola proposto, con vista in sezione e vista esplosa in 3D, per maggior comprensione dei cambiamenti effettuati.

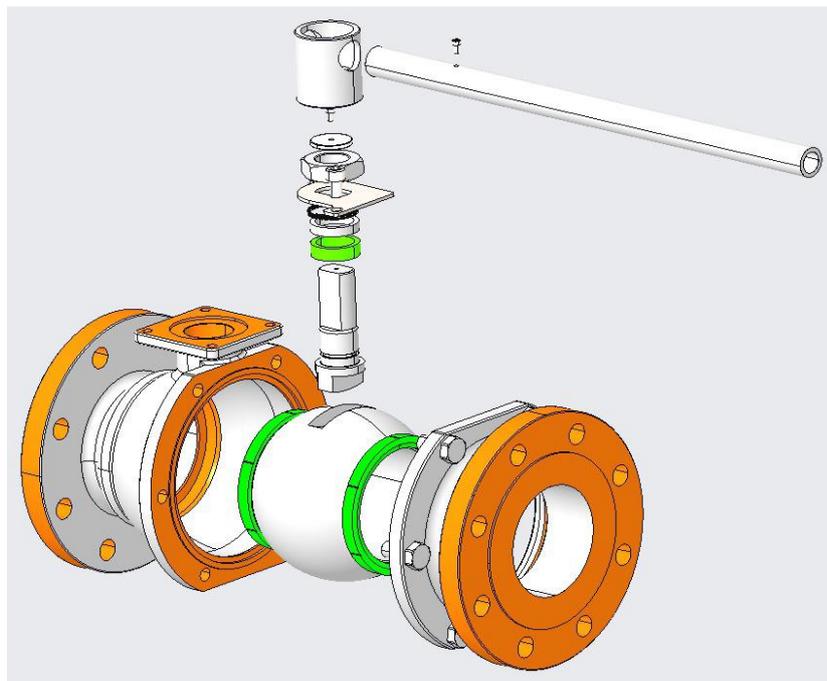


Figura 3.20: Vista esplosa prospettica dell'assise 3D del modello proposto della valvola a sfera flottante

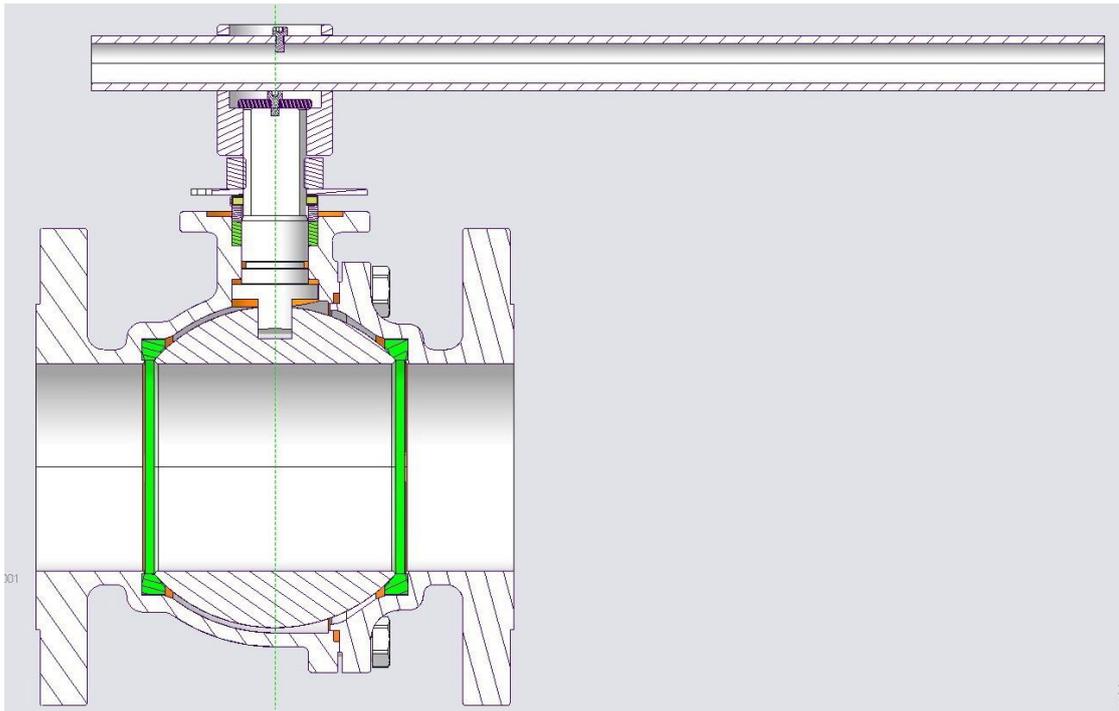


Figura 3.21: Vista in sezione del modello 3D proposto della valvola a sfera flottante.

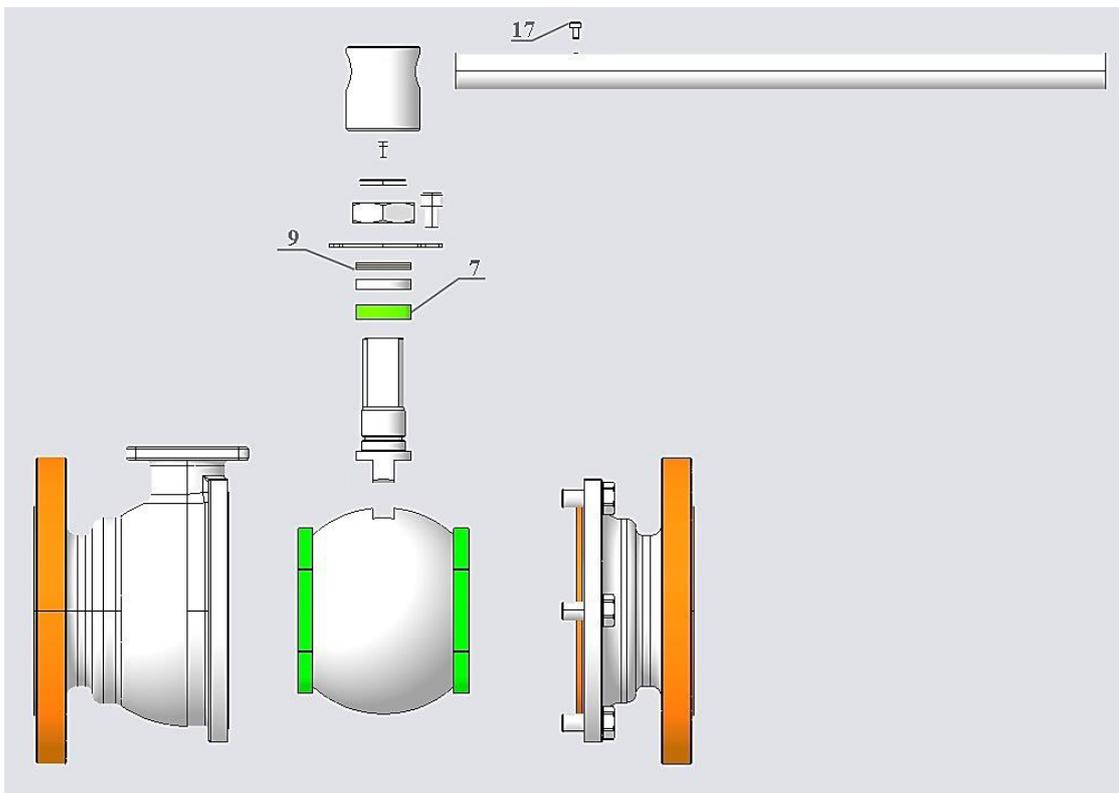


Figura 3.22: Vista esplosa dell'assime 2D del modello proposto della valvola a sfera flottante con indicazione dei nuovi componenti.

Per verificare l'efficacia del modello proposto, si applicano i tre metodi di valutazione dell'assemblaggio visti precedentemente.

3.5.1 AEM Method

Applicando il metodo di Hitachi alla nuova valvola, si è valutato che, nonostante si sia ridotto il numero di componenti, le operazioni di montaggio sono rimaste le stesse e non vi è stato nessun cambiamento percentuale nell'efficienza dell'assemblaggio.

TABELLA DI VALUTAZIONE DEL METODO HITACHI			
N° operazione	Simboli	Punti di penalità	Punteggio operazioni di assemblaggio
1	↓-	0	100
2	↑	30	70
3	←	20	80
4a	←	20	80
4b	← nC	30	70
5a	↓	0	100
5b	↓	0	100
5c	↓	0	100
5d	↓	0	100
5e	↓ nC	30	70
6	↓ nC	30	70
7	↓	0	100
8	↓	0	100
9	↓ nC	30	70
10a	←	20	80
10b	↓ nC	30	70
		Ei	1360
		$E = \frac{N^{\circ} \text{ OPERAZIONI TOTALI}}{PUNTEGGIO \text{ OPERAZIONI DI ASSEMBLAGGIO}} = 85$	

Figura 3.23: Tabella di valutazione secondo il metodo AEM del modello proposto.

Questo conferma quanto esposto prima, che il metodo non presenta una strategia sistematica per l'identificazione delle parti da eliminare; pertanto, il risultato finale non è migliorato.

3.5.2 Metodo DFA

Applicando, invece, il metodo di Boothroyd-Dewhurst, il risultato è differente.

TABELLA DI VALUTAZIONE DEL MEDOTO DI BOOTHROYD - DEWHURST										
Componente	N° di volte	Angolo tot. di simmetria (deg)	handling code	handling time	insertion code	insertion time	operation time	operation cost	N° min. teorico di parti	
1	1	360	42	5,6	00	1,5	7,1	2,84	1	
2	1	270	00	1,13	20	5,9	7,03	2,812	1	
3	1	0	00	1,13	20	7,4	8,53	3,412	1	
4	2	180	00	1,13	10	3,7	4,83	1,932	2	
5	1	360	12	5,6	00	1,5	7,1	2,84	1	
6	6	360	10	1,5	20	5,9	7,4	2,96	3	
7	1	180	00	1,13	10	3,7	4,83	1,932	1	
8	1	180	00	1,13	10	3,7	4,83	1,932	1	
9	1	180	03	1,84	00	1,5	3,34	1,336	1	
10	1	270	00	1,13	02	2,626	3,76	1,504	1	
11	1	360	10	1,5	00	1,5	3	1,2	1	
12	1	180	00	1,13	00	1,5	2,63	1,052	1	
13	1	270	00	1,13	00	1,5	2,63	1,052	1	
14	1	180	00	1,13	20	5,9	7,03	2,812	1	
15	1	360	10	1,5	20	5,9	7,4	2,96	1	
16	1	180	40	4,1	00	1,5	5,6	2,24	1	
17	1	360	10	1,5	00	1,5	3	1,2	1	
$DESIGN\ EFFICENCY = \frac{3 * NM}{TM} = \frac{3 * 20}{90} = 0.67$							TM	CM	NM	
							90,04	36,02	20	

Figura 3.24: Tabella di valutazione secondo il metodo DFA del modello proposto.

Lavorando sui componenti che il metodo identificava come non necessari, si ha un miglioramento dell'1.5 % del *design efficiency*. Ciò sottolinea la miglior efficacia del metodo che, oltre a un miglioramento dell'assemblaggio, porta a un risparmio economico nel montaggio dell'oggetto, dello 0.8%.

3.5.3 Metodo Lucas

Applicando l'ultimo metodo di valutazione dell'assemblaggio, si ha un risultato simile a quello trovato precedentemente con il metodo DFA.

TABELLA DI VALUTAZIONE DEL METODO LUCAS															
Componente	Functional analysis	Feeding analysis					Fitting analysis								
		A	B	C	D	TOT.	A	B	C	D	E	F	TOT.		
1	A	1,5	0	0,1	0,2	1,8	1	0,1	0	0	0	0	1,1		
2	A	1	0	0,1	0	1,1	1	0,1	0	1,5	0,7	0	3,3		
3	A	1,5	0,2	0,1	0	1,8	1	0,1	1,2	1,5	0,7	0	4,5		
4	B	1	0	0,1	0	1,1	2	0,1	1,2	1,5	0	0	4,8		
5	A	1,5	0	0,1	0,2	1,8	1	0,1	0	0	0	0	1,1		
6	B	1	0	0,1	0	1,1	4	0,1	0,7	0	0	0	4,8		
7	B	1	0	0	0	1	1	0	0	1,5	0	0	2,5		
8	A	1	0	0	0	1	1	0	0	1,5	0,7	0	3,2		
9	A	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1		
10	A	1	0	0	0,2	1,2	1	0	0	0	0	0	1		
11	A	1	0	0,1	0	1,1	4	0	0	0	0	0	4		
12	B	1	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	4		
13	A	1	0	0,1	0	1,1	1	0	0	0	0	0	1		
14	A	1	0,4	0	0	1,4	1	0	0	1,5	0,7	0	3,3		
15	B	1	0	0,1	0	1,1	4	0	0	1,5	0,7	0	6,2		
16	A	1,5	0	0	0	1,5	1	0,1	0	0	0	0	1,1		
17	B	1	0	0,1	0	1,1	4	0	0,7	0	0	0	4,7		
		#A= 11					HI					21,2	FI		51,6
		$DESIGN\ EFFICENCY = \frac{\#A}{\#TOTALE\ PEZZI} * 100 = \frac{11}{23} * 100 = 47.8\%$					$FEEDING\ HANDLING\ RATIO = \frac{HI}{\#A} = \frac{21.2}{11} = 1.93$					$FITTING\ RATIO = \frac{FI}{\#A} = \frac{51.6}{11} = 4.69$			

Figura 3.25: Tabella di valutazione secondo il metodo DFA del modello proposto.

Riducendo il numero di componenti facenti parte del gruppo B, si nota subito un grande miglioramento nel *design efficiency*, che arriva ben al 47.8% contro il 39.3% della valvola precedente; ciò conduce anche al miglioramento sia del *rapporto di alimentazione*, che migliora del 5.85%, sia del *rapporto di inserimento*, che migliora del 12.34%.

CONCLUSIONI

Obiettivo del presente elaborato è stata l'applicazione del Design for Assembly ad una valvola a sfera flottante, denominata *floating ball*.

È stato introdotto il concetto di *industrial design* congiuntamente al Design For X, DFX; quale alternativa migliore alle procedure tradizionali in quanto sposta identificazione e risoluzione di problemi da dopo a prima della fase di progettazione, risparmiando tempo e denaro.

Partendo dalla distinta base e dalla vista esplosa prospettica dell'assieme 2D con la numerazione dei componenti, è stata proposta una sequenza di montaggio della valvola e sono stati applicati i tre metodi di valutazione dell'assemblaggio alla valvola.

Con il metodo AEM di Hitachi si è concluso che il montaggio si svolge su due assi principali, orizzontale e verticale, rendendo il montaggio semplice, rapido ed efficace; ottenendo valori prossimi al valore ottimale per ogni operazione tranne nei casi in cui l'operazione richiede un avvitamento, un movimento verticale ed un movimento verso l'alto. Di conseguenza l'indice di assemblaggio finale, "E", assume un valore pari ad 85, rendendo il pezzo già ottimizzato e poco migliorabile ulteriormente.

Con il metodo DFA di Boothroyd-Dewhurst si è evinto che il pezzo è ben ottimizzato; infatti, una volta calcolati l'angolo totale di simmetria dei singoli componenti, il codice ed il tempo di gestione, il codice ed il tempo di inserimento del pezzo, sono stati ricavati *l'operation time*, *l'operation cost* e la somma di tutte le parti minime teoriche, ottenendo un valore del *design efficiency* pari a 0.66. Determinato anche il numero teorico di parti è stato possibile stabilire che i componenti utili a serraggio, isolamento e intensità di pressione della valvola possono essere ottimizzati o eliminati al fine di incrementare il *design efficiency* della valvola.

Con il metodo Lucas, preliminarmente, sono stati suddivisi i componenti in indispensabili e non al funzionamento della valvola. In seguito, sono state svolte due analisi: la *feeding analysis* e la *fitting analysis* che hanno condotto ad un valore di *handling index* pari a 22.6 e un valore di *fitting index* pari a 58.9. Tramite essi sono stati calcolati il *fitting ratio* pari a 5.35 e il *feeding handling ratio* pari a 2.05, che, benché prossimi al loro valore ottimale, permettono di concludere che la valvola non è ottimizzata da un punto di vista dell'assemblaggio con un valore del *design efficiency*

inferiore al 40%. Le uniche parti non essenziali che possono essere oggetto di riprogettazione sono quelle riguardanti il serraggio dei componenti ed i relativi organi di tenuta.

Dopo tali analisi è stato proposto un modello ottimizzato della valvola, inizialmente sostituendo i componenti non essenziali al funzionamento della stessa, al fine di diminuirne il numero di componenti alla luce dei risultati ottenuti con il metodo DFA di Boothroyd-Dewhurst; poi riprogettando l'intero assieme al software CAD 3D e sottoponendo il tutto a rianalisi, ed infine non sottoponendo ad analisi dei costi tutte le modifiche proposte per l'ottimizzazione del design. La modifica potrebbe risultare economicamente non conveniente.

Con il metodo AEM di Hitachi non si sono riscontrati cambiamenti in quanto le operazioni di montaggio sono rimaste le medesime.

Con il metodo DFA di Boothroyd-Dewhurst si ottiene un miglioramento del'1.5% del *design efficiency* che sottolinea la miglior efficacia del metodo che, oltre ad un miglioramento dell'assemblaggio, comporta un risparmio economico nel montaggio dell'oggetto dello 0.8%.

Con il metodo Lucas, riducendo il numero dei componenti non essenziali, si nota un miglioramento del *design efficiency* che giunge al 47.8 %, con conseguente miglioramento del *fitting index* del 12.34% e del *feeding handling ratio* che migliora del 5.85%.

Dall'analisi del nuovo modello si è evinto come i metodi tra loro diano dei risultati talvolta in disaccordo, sottolineando come in nessuno di essi non si è ancora giunti ad ottenere il miglior modello di stima di un prodotto, nonostante le informazioni sul DFA siano elevate ed i metodi di valutazione proposti siano diversi.

Nello svolgimento delle ricerche su numerosi documenti è stato possibile dedurre che l'argomento trattato abbia ancora poca rilevanza per progettisti ed aziende, che solo recentemente hanno iniziato a manifestare maggior interesse, iniziando a sfruttarne le potenzialità all'interno dei loro cicli produttivi.

Attraverso il lavoro eseguito sulla riproduzione al CAD 3D e 2D della valvola a sfera considerata, è risultato evidente come, grazie al software di modellazione PTC Creo Parametric, si possa ottimizzare la tempistica visiva della realizzazione del prodotto,

senza dover ricorrere alla sua immediata prototipizzazione; tale peculiarità è un aspetto chiave per il Design for Assembly in quanto, senza proporre differenti modelli fisici da sottoporre a verifica, agevola notevolmente lo studio del prodotto nella fase iniziale di progettazione.

SITOGRAFIA

<https://www.ingenio-web.it/articoli/costruzione-virtuale-e-progettazione-dfma-integrata/>

[Design for X \(DFX\) | 10 Approaches of DFX Explained | Fractory](#)

Parti del materiale della dispensa mia.

[Design for assembly nella lavorazione lamiera - Meccanica News](#)

[Spiegazione dei principi di progettazione per l'assemblaggio \(DFA\) | Fractory](#)

International Journal of Industrial Engineering, 17(2), 92-102, 2010.

Design for X Concurrent engineering imperatives (George Q. Huang (auth.), G. Q. Huang (eds.))

https://hmn.wiki/it/Design_for_Assembly

https://ebrary.net/191720/business_finance/lucas_evaluation_method

<https://www.epowermetals.com/it/ball-valve.html>