



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in ingegneria meccanica

**Definizione e applicazione di una procedura
per il disassemblaggio**

**Definition and application of a procedure for
disassembly**

Relatore:

Prof. Michele Germani

Correlatrice:

Dott.ssa Federica Cappelletti

Tesi di Laurea di:

Ioan Liviu Zavate

A.A. 2023/2024

SOMMARIO

Indice delle figure	3
1. Introduzione.....	5
2. Stato dell'arte.....	6
2.1 Indici di disassemblaggio	7
2.2 Metodo U-Effort	7
2.3 Disassembly index (DI)	8
2.4 Indice di complessità (Icom).....	8
2.4.1 Indice medio di complessità di manipolazione Ch.....	9
2.4.2 Rating size	9
2.4.3 Rating thickness	10
2.4.4 Rating mass.....	10
2.4.5 Indice medio di complessità di smontaggio Cr.....	10
2.4.6 U-effort	11
2.4.7 Rating Number of Tools Required	12
2.4.8 Rating Tools Required	13
2.4.9 Rating Operation Type	13
2.5 Tipologie di vincoli	14
2.5.1 Vite.....	14
2.5.2 Spine	15
2.5.3 Calettamento forzato.....	15
2.5.4 Anello elastico (seeger).....	16
2.5.5 Chiavette e linguette.....	16
2.6 Tipologie di strumenti di disassemblaggio.....	17
2.7 Tipologie di strumenti di misura	17
2.8 Sistema di riferimento.....	18
2.9 Definizione unità di misura	18
2.10 Confronto degli indici	18
3. Metodo	20
4. Procedura di disassemblaggio	21

4.1	Documentazione	22
5.	Applicazione della procedura ai casi studio: motore riduttore e manopola del gas	23
5.1	Motore riduttore.....	23
5.2	Manopola del gas.....	25
6.	Risultati ottenuti dei casi studio ed il loro confronto.....	28
6.1	Risultati motore riduttore	28
6.2	Risultati manopola del gas.....	31
6.3	Confronto risultati casi studio.....	34
7.	Conclusione	36
8.	Bibliografia.....	37

Indice delle figure

Figura 2.1	Esempio motore elettrico disassemblato	6
Figura 2.2	Vite prigioniero	14
Figura 2.3	Anello elastico.....	16
Figura 2.5	Calibro	17
Figura 2.6	Sistema di riferimento	18
Figura 3.1	Percorso seguito	20
Figura 5.1	Motore riduttore	24
Figura 5.2	Manopola del gas	26
Figura 6.1	Rappresentazione grafica rating motore riduttore	29
Figura 6.2	Rappresentazione grafica indici motore riduttore	30
Figura 6.3	Rappresentazione grafica rating manopola del gas	32
Figura 6.4	Rappresentazione grafica indici manopola del gas	33

Indice delle tabelle

Tabella 2.1 Rating size	9
Tabella 2.2 Rating thickness.....	10
Tabella 2.3 Rating mass	10
Tabella 2.4 Collegamento no fastener_U-effort	11
Tabella 2.5 Collegamento fastener_U-effort.....	12
Tabella 2.6 Collegamento fastener_number of tools required.....	12
Tabella 2.7 Collegamento no fastener_number of tools required	12
Tabella 2.8 Rating number of tools required.....	13
Tabella 2.9 Rating tools required	13
Tabella 2.10 Operation type	13
Tabella 2.11 Rating operation type.....	14
Tabella 2.12 Unità di misura	18
Tabella 4.1 Raccolta dati	22
Tabella 5.1 Dati ottenuti motore riduttore	24
Tabella 5.2 Dati ottenuti manopola del gas.....	26
Tabella 6.1 Rating motore riduttore.....	29
Tabella 6.2 Indici motore riduttore	30
Tabella 6.3 Rating manopola del gas.....	31
Tabella 6.4 Indici manopola del gas	32

1. INTRODUZIONE

L'obiettivo di questa tesi è la definizione e applicazione di una procedura destinata al disassemblaggio di un assieme di componenti, con la successiva determinazione del coefficiente di disassemblaggio.

Questo elaborato si può riassumere in tre step. Il primo consiste nella redazione di una potenziale procedura da poter seguire durante il disassemblaggio, che tenga conto di vari fattori in grado di influenzare i risultati finali. Tra questi fattori, si elencano: scelta degli strumenti di misura e di disassemblaggio più idonei, il riconoscimento dei vincoli e idonea misurazione delle grandezze di ingombro e di massa. Questo punto verrà poi approfondito maggiormente nel Capitolo 4 in cui verrà presentata la procedura utilizzata.

La procedura ottenuta è stata poi applicata ai casi studio, ovvero ad un motore riduttore e ad una manopola del gas. L'applicazione della procedura ha permesso di raccogliere una serie di dati utili al disassemblaggio, ovvero: dimensioni dei componenti disassemblati, la loro massa, strumenti utilizzati e le tipologie di accoppiamenti. Questo punto verrà rivisto nel Capitolo 5, in cui si andranno ad evidenziare le criticità rilevate durante le prove.

L'elaborato si conclude con la terza fase, durante la quale, utilizzando i dati raccolti, è stato possibile calcolare l'indice di complessità per ciascuno dei casi studio analizzati. I due indici ottenuti sono stati quindi confrontati tra loro, portando a conclusioni che verranno discusse nel Capitolo 6.2.

2. STATO DELL'ARTE

Questo lavoro si fonda sulla teoria del *design for disassembly (DFD)*, che fornisce linee guida per progettare prodotti che possano essere facilmente disassemblati, facilitando così la manutenzione e il loro corretto smaltimento.

Nel progettare un prodotto pensando al disassemblaggio, è fondamentale considerare tre aspetti principali:

- la scelta e l'impiego dei materiali;
- la progettazione dei componenti e del design complessivo;
- la selezione e l'uso dei sistemi di vincolo.

Questa teoria consente di ridurre l'impatto ambientale e di evitare sprechi economici, a vantaggio sia dell'acquirente che del produttore [1].

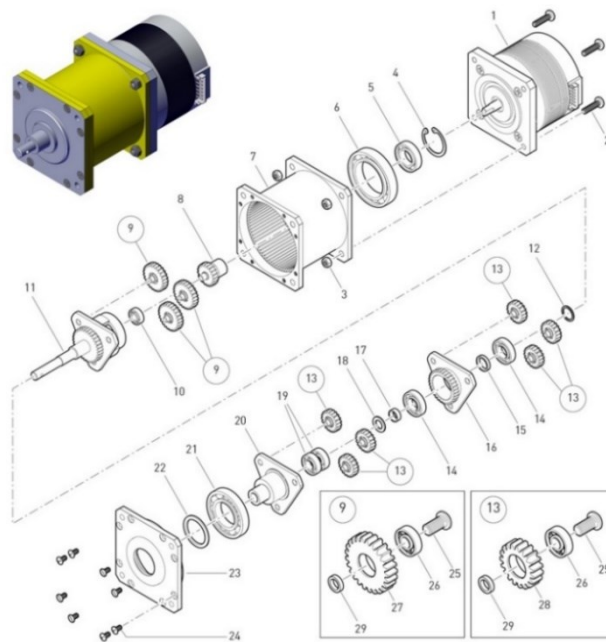


Figura 2.1 Esempio motore elettrico disassemblato

Non sempre si è in grado di seguire queste linee guida per diverse ragioni che sono contrastanti al *DFD*. Durante la progettazione bisogna tener conto anche di diversi aspetti, come per esempio: durabilità, l'estetica, la funzionalità e il costo del prodotto da realizzare. Questi sono solo un paio delle difficoltà che vengono riscontrate nella realizzazione di un prodotto da parte di un progettista meccanico. Progettare dei prodotti, con alla base la teoria del *DFD*, comporta un'agevolazione nella fase di disassemblaggio per una eventuale manutenzione o smaltimento delle parti.

Si consideri il caso in cui bisogna fare una manutenzione ad un motore riduttore per via di perdite d'olio. Riuscire a disassemblare con facilità i vari componenti del motore permetterebbe al tecnico

di effettuare la manutenzione con più facilità e rapidità, evitando così di scartarlo direttamente. Se, invece, il motore non dovesse più essere in grado di lavorare e dovesse essere ritirato da aziende specializzate nel recupero e smaltimento di particolari meccanici, queste riuscirebbero a sezionare in modo più agevole i componenti di vari materiali che lo compongono. Questo potrà garantire una migliore suddivisione dei materiali, che potranno essere smaltiti in modo corretto.

Si evince che il *DFD* è molto importante per la sostenibilità del pianeta su cui viviamo, permettendo di ridurre la produzione di rifiuti.

Un altro fattore importante, che il *DFD* previene, è lo spreco di denaro. Evitando l'utilizzo di materiali pregiati e di assemblaggi complessi, si possono diminuire i costi di produzione e anche il tempo di disassemblaggio, e di conseguenza i costi di manodopera.

2.1 Indici di disassemblaggio

Nel tempo sono stati sviluppati diversi indici che sono in grado di fornire una stima sulla difficoltà di disassemblaggio di un assieme. Questi indici si distinguono tra loro principalmente in base ai dati che vengono sfruttati e alla finalità di utilizzo di tali indici. I dati possono essere differenti: tempo impiegato per il disassemblaggio, sforzo sostenuto, tipi di strumenti utilizzati, dimensioni delle parti, vincoli di collegamento, costi da sostenere. Di seguito verranno approfonditi tre indici:

- Indice U-Effort;
- Disassembly index;
- Indice di complessità.

Questi tre quantificano, anche se tramite dati differenti, la difficoltà di disassemblaggio. Il primo metodo utilizza il tempo necessario per eliminare i vincoli di collegamento, restituendo come risultato finale sempre un valore temporale. Il secondo invece, oltre a tenere conto del tempo di disassemblaggio, guarda anche il tipo di materiale delle parti e se quest'ultime possono essere riutilizzati per un altro impiego.

Successivamente verrà visto un terzo indice, quello sui cui si basa questo elaborato, ovvero l'indice di complessità (indicato anche come *Icom*). A fine capitolo verrà fatta una comparazione tra i vari indici per capire, in base a chi ne fa uso, quale può essere il più idoneo.

2.2 Metodo U-Effort

Il metodo U-effort, sviluppato da Sodhi et al. (2004), definisce un tempo di disassemblaggio che viene calcolato per ciascun vincolo, tenendo conto delle sue proprietà fisiche. Il metodo U-effort calcola l'indice di sforzo di disassemblaggio (*UFI - Unfastening Effort Index*) per tenere conto dei

principali attributi che influenzano il tempo necessario per eliminare i vincoli comunemente utilizzati, come la dimensione o la forma.

L'UFI varia tra Ψ_i , che rappresenta il minimo sforzo di disassemblaggio richiesto e 100, che rappresenta il caso più difficile, corrispondente a circa 400 secondi. Il metodo U-effort utilizza l'equazione (2.1) per calcolare il tempo di disassemblaggio ($T_{U-effort}$) per vincolo, richiesto da un lavoratore medio in secondi. Il punteggio UFI per ciascun tipo di vincolo è calcolato utilizzando l'equazione (2.2), dove i rappresenta l' i -esimo vincolo, A_i , B_i , C_i , D_i rappresentano i diversi coefficienti funzioni della tipologia di vincolo, e β_a , β_b , β_c , β_d rappresentano il peso di ciascun coefficiente [2].

$$T_{U-effort} = 5 + 0,04 * (UFI)^2 \quad (2.1)$$

$$UFI_i = \Psi_i + \beta_a * A_i + \beta_b * B_i + \beta_c * C_i + \beta_d * D_i \quad (2.2)$$

2.3 Disassembly index (DI)

Per calcolare l'indice DI è necessario considerare tre parametri: z , k e h . Questi parametri rappresentano:

- **z**: il numero di materiali dei componenti presenti nel collegamento in esame;
- **k**: il tempo richiesto per smontare l'accoppiamento;
- **h**: la possibilità di riutilizzo delle parti smontate.

Questi tre parametri variano tra 0,1 e 1, per dare come risultato un indice di complessità il cui valore varia tra 0 e 1. Si evince che più è alto il valore dell'indice e più risulta essere difficoltoso il disassemblaggio dell'assieme, d'altro canto, più è basso il valore e più è facile il disassemblaggio. Una volta determinati i valori di z , k ed h (valori tabellati), possono essere applicati nella seguente formula:

$$DI = \frac{\sum_{i=1}^{N_u} k_i(t) * h_i(r) * z_i(m) * n_i}{N} \quad (2.3)$$

dove n_i è il numero relativo a quante volte viene ripetuto lo stesso tipo di accoppiamento, N_u quantifica i diversi tipi di accoppiamenti impiegati per assemblare l'intero prodotto, N è il numero totale di accoppiamenti considerati [3].

2.4 Indice di complessità (Icom)

Quest'ultimo indice è differente rispetto a quelli presentati precedentemente perché sfrutta le dimensioni, i vincoli, la tipologia e quantità di strumenti utilizzati. Questo permette di svincolarsi

dal tempo che potrebbe portare ad un coefficiente non veritiero. L'ausilio del tempo per quantificare la difficoltà è intrinsecamente soggettivo, poiché dipende fortemente dall'esperienza, dalle competenze e dall'abilità dell'operatore che esegue l'attività di disassemblaggio.

L'indice di complessità, indicato anche come I_{com} , permette di quantificare la difficoltà di disassemblaggio dell' i -esimo componente appartenente ad un assieme formato da n componenti.

Tale indice ottenuto come:

$$I_{com} = \frac{Ch + Cr}{2} \quad (2.4)$$

Dove:

- Ch è l'indice medio di complessità di manipolazione;
- Cr è l'indice medio di complessità di smontaggio.

Per tenere conto di entrambi gli indici in egual modo, viene fatta una media pesata tra i due.

2.4.1 Indice medio di complessità di manipolazione Ch

Il primo parametro di cui verrà approfondito lo studio è l'indice medio di complessità di manipolazione (Ch). Quest'ultimo si ottiene analizzando le dimensioni, la massa e la difficoltà di movimentazione della parte di interesse.

L'indice medio di complessità di manipolazione è definito come:

$$Ch = \frac{\sum Ch, f}{3} \quad (2.5)$$

Dove:

$$\sum Ch, f = Rating\ size + Rating\ thickness + Rating\ mass$$

e corrisponde alla somma di tre termini che tengono conto della dimensione, spessore e massa della parte che stiamo disassemblando.

2.4.2 Rating size

Per definire il Rating size viene utilizzata la Tabella 2.1:

Tabella 2.1 Rating size

Operation type	Rating size
One hand	$0,003 * size^2 - 0,239 * size + 0,9887$
Two hand	$10^{-6} * size^2 - 0,0013 * size + 0,8983$
None	0
Automation	1

Dove:

$$size = \sqrt{(\max(x, y, z))^2 + [(x + y + z) - \max(x, y, z) - \min(x, y, z)]^2} \quad (2.6)$$

e x, y e z sono rispettivamente le dimensioni del componente/assieme (in mm) considerate lungo x, y e z [4].

2.4.3 Rating thickness

Per definire il Rating thickness viene utilizzata la Tabella 2.2:

Tabella 2.2 Rating thickness

Operation type	Rating thickness
One hand	$0,003 * thickness^2 - 0,0199 * thickness + 0,8703$
Two hand	$10^{-6} * thickness^2 - 0,0013 * thickness + 0,8983$
None	0
Automation	1

Dove:

$$Thickness = \min(x, y, z) \quad (2.7)$$

Ovvero, il valor minimo tra la dimensioni del componente/assieme (in mm) considerate lungo l'asse x, y e z [4].

2.4.4 Rating mass

Il Rating mass viene calcolato attraverso la Tabella 2.3 [4]:

Tabella 2.3 Rating mass

Massa [kg]	Rating mass
$\geq 4,5$	1
$< 4,5$	$0,1778 * massa$

2.4.5 Indice medio di complessità di smontaggio Cr

Il secondo parametro da tenere in conto durante uno smontaggio è l'*indice medio di complessità di smontaggio (Cr)*. Tale indice invece si ottiene tenendo conto dello sforzo svolto dall'operatore

durante la fase di smontaggio, dalla tipologia e numero di utensili utilizzati e dall'operation type, ovvero, dal modo in cui è avvenuto lo smontaggio. Questo indice viene definito come:

$$Cr = \sum_{1}^{N} Cr, i \quad (2. 8)$$

Dove:

$$Cr, i = \frac{Ueffor + \frac{\text{rating number of tools} + \text{rating tools required} + \text{rating operation type}}{3}}{\text{numero parti coinvolte nel collegamento} * 2} \quad (2. 9)$$

Cr, i corrisponde all'i-esimo coefficiente dell'i-esimo componente appartenente all'assieme che viene considerato [4].

2.4.6 U-effort

Questo termine permette di quantificare lo sforzo sostenuto dall'operatore durante la fase di smontaggio. L'*U-effort* può assumere diversi valori differenti che dipendono dal tipo di collegamento:

- Se il collegamento è *no fastener* si utilizza la Tabella 2.4 e si sceglie il tipo di collegamento che si ha con il rispettivo rating associato [4]:

Tabella 2.4 Collegamento no fastener_U-effort

No fastener	Rating	No fastener	Rating
Interference fit weak	0,63	Seam/crimp joint	0,53
Interference fit strong	1	Cantilever snapfit	0,43
Integrally threaded part	0,73	Socket and plug	0,4
Cylindrical snapfit	0,53	Free part	0

$$U - effort (no fastener) = rating no fastener$$

- Se il collegamento è *fastener*, si moltiplica la quantità di collegamenti fastener che si ha con il rispettivo rating ottenuto dalla Tabella 2.5 [4]:

Tabella 2.5 Collegamento fastener_U-effort

Fastener	Rating	Fastener	Rating
Retaining Rings/circlips	0,83	Tape	0,57
Screw speciality head	0,73	Nail with head	0,5
Nut	0,13	Screw standard head	0,47
Adhesive	0,7	Glued screw standard head	0,83
Rivets/staples	0,67	Velcro/zipper	0,33
Nail w/o head or pin	0,6	Free part	0
Releasable clips	0,6		

$$U - effort (fastener) = n. fastener * rating fastener$$

2.4.7 Rating Number of Tools Required

Per la definizione del *rating number of tools required* bisogna prima definire il *number of tools required*.

Si possono verificare 2 situazioni:

- se il collegamento è *fastener* sarà valida la Tabella 2.6 [4]:

Tabella 2.6 Collegamento fastener_number of tools required

Fastener	Number of tools required	Fastener	Number of tools required
Retaining Rings/circlips	1	Tape	0
Screw speciality head	1	Nail with head	1
Nut	1	Screw standard head	1
Adhesive	0	Glued screw standard head	2
Rivets/staples	1	Velcro/zipper	0
Nail w/o head or pin	1	Free part	0

- Se il collegamento è *no fastener* sarà valida la Tabella 2.7 [4]:

Tabella 2.7 Collegamento no fastener_number of tools required

No fastener	Number of tools required
Interference fit weak	1
Interference fit strong	2-3

Integrally threaded part	1
Cylindrical snapfit	0
Seam/crimp joint	0
Cantilever snapfit	0
Socket and plug	0
Free part	0

Una volta definito il numero di strumenti necessari al disassemblaggio si può determinare il rating associato tramite la Tabella 2.8 [5]:

Tabella 2.8 Rating number of tools required

Number of tools required	Rating
0	0
1	0.3
2-3	0.6
> 4	1

2.4.8 Rating Tools Required

Per definire il *rating tools required* si utilizza la Tabella 2.9 [4]:

Tabella 2.9 Rating tools required

Tools required	Rating
None	0
Air gun	0.3
Mechanic	0.6
Special	1

2.4.9 Rating Operation Type

Per la definizione del *rating operation type* bisogna prima definire l'*operation type* tramite la Tabella 2.10 [4]:

Tabella 2.10 Operation type

Condizioni	Operation Type
Size < 38 Mass < 4.5	One hand
Size < 38 Mass < 20	Two hand
Size < 70 Mass < 20	Two hand
Size > 70 Mass < 20	-One hand se entrambe le condizioni sono rispettate -Automation se solo una delle condizioni è rispettata

Una volta definito l'*operation type* si procede con la definizione del rispettivo rating tramite la Tabella 2.11 [6]:

Tabella 2.11 Rating operation type

Operation type	Rating
None	0
One hand	0.3
Two hand	0.6
Automation	1

2.5 Tipologie di vincoli

Un vincolo è un qualsiasi elemento in grado di limitare il movimento di uno o più corpi. Esistono un'infinità di vincoli ma nei sottocapitoli seguenti verranno riportati solo quelli maggiormente utilizzati e, in particolar modo, quelli incontrati nelle prove in esame.

2.5.1 Vite

Esistono molte tipologie di viti, che differiscono in base a:

- forma della loro testa;
- lunghezza;
- proprietà meccaniche;
- modalità di utilizzo.

Nei due casi studio sono state disassemblate molteplici viti, tutte a testa standard, ovvero, viti che possono essere rimosse con semplici strumenti meccanici. Un esempio può essere la vite a testa cilindrica con incasso esagonale (indicata anche come *TCEI*).

Possono però esserci anche viti a teste non standard, un esempio può essere il *prigioniero*: il prigioniero è una tipologia di vite senza testa ma che ha due estremità filettate e una parte centrale liscia.

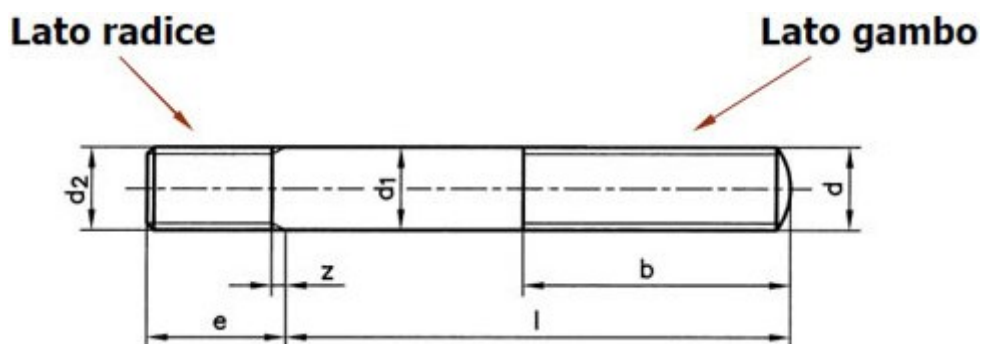


Figura 2.2 Vite prigioniero

Un'ulteriore tipologia di vite a testa non standard è la *barra filettata*. Quest'ultima è una barra cilindrica che si presenta con una filettatura su tutta la sua lunghezza. Può essere utilizzata sia per far traslare un corpo lungo la barra stessa ma anche per fissare tra di loro due o più corpi.

2.5.2 Spine

Le spine sono un elemento meccanico di forma cilindrica o conica che permettono l'unione tra due componenti mantenendo il centraggio tra i due corpi in accoppiamento.

La spina ha particolari tolleranze dimensionali e, i due corpi in cui verrà inserita la spina, dovranno avere fori in tolleranza per poter ottenere un accoppiamento per interferenza. Questo genere di accoppiamento interferenza permette di vincolare la spina ai corpi e di garantire un centraggio ottimale. Si supponga si voglia rendere coassiali due fori appartenenti a due corpi differenti. I fori destinati alle viti, per poter fissare i due corpi tra di loro, hanno delle dimensioni maggiori per poter permettere il passaggio delle viti stesse. Per garantire la coassialità tra i due fori di nostro interesse, è necessario l'utilizzo di una o più spine. Come anticipato precedentemente, i fori delle spine e le spine stesse, sono tollerate dimensionalmente in modo da garantire un centraggio ottimale.

2.5.3 Calettamento forzato

Tale accoppiamento consiste nella trasmissione di un moto, da un corpo ad un altro, tramite l'ausilio di elevate forze di attrito. Questo genere di accoppiamento, denominato anche collegamento albero-mozzo, avviene tra un corpo cilindro (albero) e un foro. Per ottenere questa situazione bisogna realizzare l'albero ed il foro con determinate tolleranze dimensionali per ottenere un accoppiamento per interferenza. Così facendo, le elevate forze radiali che agiscono sull'albero fanno aumentare l'attrito tra i due corpi e garantiscono la trasmissione del moto. Questo genere di accoppiamento può avvenire in modo forzato tramite l'ausilio di una pressa idraulica e con l'aiuto di un effetto termico in grado di dilatare i due corpi per poter facilitare l'accoppiamento

e, una volta tornati a temperatura ambiente, si manifesteranno le forze radiali dell'accoppiamento forzato.

2.5.4 Anello elastico (seeger)

L'anello elastico (denominato anche *seeger*) è un elemento meccanico di forma circolare che permette il bloccaggio di elementi cilindrici lungo il loro asse.

Possono essere utilizzati sia esternamente (alberi) che internamente (fori) e vengono alloggiati in cavità appositamente normate per evitare la loro fuoriuscita.

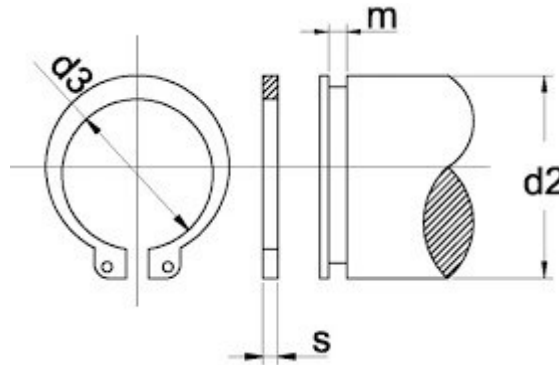


Figura 2.3 Anello elastico

2.5.5 Chiavette e linguette

Chiavette e linguette permettono di trasmettere il moto da un albero ad un mozzo. Pur sembrando simili, questi due elementi presentano delle differenze sostanziali sia nel funzionamento sia

nell'applicazione. Nella linguetta il moto è garantito dalle pressioni esercitate dalla parete superiore e inferiore che, generando un forte attrito, garantisce la trasmissione del moto.

Nella chiavetta invece il moto avviene per ostacolo, ovvero grazie alle superfici laterali. In entrambi i casi questo genere di vincolo è accompagnato da un ulteriore vincolo in grado di bloccare la traslazione assiale, come ad esempio un anello elastico.

Il montaggio di questo vincolo avviene con la realizzazione di sedi appositamente normate nei componenti da dover mettere in accoppiamento.

2.6 Tipologie di strumenti di disassemblaggio

Esistono un'infinità di strumenti dedicati al disassemblaggio/assemblaggio di parti. Una parte di quelli maggiormente usati sono:

- chiave inglese;
- giravite;
- pistola pneumatica;
- pressa idraulica;
- pinze per anelli elastici.

Durante le due prove sono stati utilizzati molti degli strumenti sopra indicati, i più comuni hanno un rating più basso mentre, i meno comuni, impiegati per l'appunto in situazioni più gravose, hanno un rating più alto (es. pistola pneumatica e pressa idraulica).

2.7 Tipologie di strumenti di misura

Lo strumento di misura più comunemente utilizzato per definire le dimensioni di ingombro nell'ambito meccanico è il calibro. Ne esistono di svariate tipologie che differiscono tra di loro in base alla loro risoluzione.

Il calibro è un dispositivo di misurazione lineare, ideale per rilevare la larghezza e la lunghezza di un oggetto, la distanza tra due superfici piane o la profondità di un'apertura.

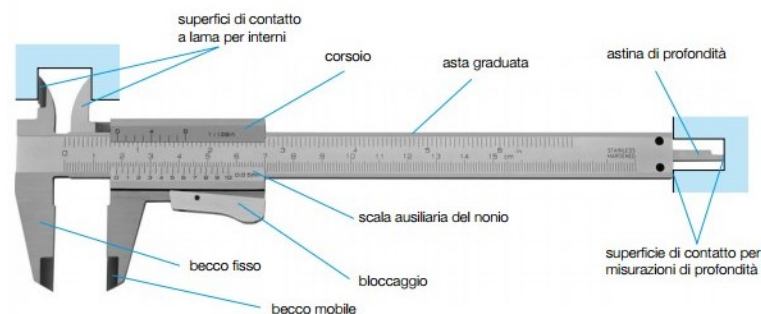


Figura 2.4 Calibro

Per misurazioni più grandi, dove il calibro non è in grado di arrivare per via di un fondo scala più ridotto, si può utilizzare il flessimetro. Questo strumento permette di misurare dimensioni maggiori ma con una risoluzione più bassa. Per misurare invece la massa può essere usata una bilancia che abbia una risoluzione alta per poter garantire un buon risultato.

2.8 Sistema di riferimento

Stabilire un sistema di riferimento $o(x.y.z)$, valido per tutti i corpi che vengono sottoposti al disassemblaggio. Tale sistema di riferimento deve essere posto come in figura, ovvero con il piano zx coincidente con il piano di lavoro. Questo sistema deve essere fisso, in modo tale da poter gestire manualmente i componenti e anche per poter semplificare le fasi delle misurazioni degli ingombri.

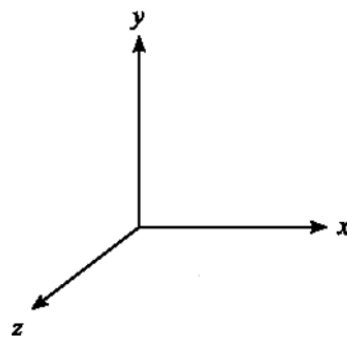


Figura 2.5 Sistema di riferimento

2.9 Definizione unità di misura

Le unità di misura utilizzate durante lo studio faranno riferimento alla Tabella 2.12:

Tabella 2.12 Unità di misura

Grandezza fisica	Unità di misura
Grandezza geometrica	mm
Massa	kg
Densità	kg/mm ³

2.10 Confronto degli indici

La scelta dell'indice di complessità di disassemblaggio varia significativamente in base all'utente che lo adotta, che può essere un progettista meccanico o un tecnico specializzato. Questi due ruoli, pur operando nel medesimo contesto, presentano differenze sostanziali che influenzano il risultato finale.

Per un progettista meccanico, impegnato nella fase di progettazione e sviluppo del prodotto, risulta complesso determinare con precisione il tempo necessario per il disassemblaggio di un accoppiamento meccanico. Questa difficoltà deriva dal fatto che, durante la fase progettuale, il disassemblaggio è un processo ipotetico e non ancora praticato fisicamente. Di conseguenza, il progettista può solo stimare il tempo richiesto, basandosi su esperienza, simulazioni o ipotesi.

Tuttavia, tali stime raramente riflettono con precisione le condizioni reali, rendendo difficile attribuire all'indice di complessità un valore esatto e affidabile.

Al contrario, un tecnico specializzato, operando direttamente sul campo, può utilizzare strumenti di misurazione, come un cronometro, per quantificare accuratamente il tempo effettivo necessario per il disassemblaggio. Questa misurazione empirica permette di ottenere un indice di complessità molto più realistico, fornendo dati basati su prove concrete e replicabili.

Oltre all'utilizzo di strumenti di misurazione, un altro fattore determinante è la competenza e l'esperienza dell'operatore che esegue il disassemblaggio. Un progettista o una persona non specializzata, priva della formazione tecnica adeguata, impiegherà inevitabilmente più tempo rispetto a un tecnico esperto. Questo divario di competenze influisce direttamente sull'accuratezza del calcolo dell'indice, poiché la velocità e l'efficienza nel disassemblaggio variano sensibilmente in base alle abilità dell'operatore. Di conseguenza, è fondamentale tener conto di chi esegue l'operazione al fine di ottenere un indice che rifletta fedelmente la complessità reale del sistema.

In sintesi, la determinazione dell'indice di complessità è influenzata sia dai dati utilizzati ma anche da chi ne fa uso. Per ottenere un valore veritiero e affidabile, sarebbe opportuno considerare, in modo bilanciato, tutti i dati a disposizione per ottenere un risultato finale il più veritiero possibile, considerando sia il parere del progettista che quello del tecnico.

L'indice *Icom*, a differenza degli altri due indici che si basano sul tempo come parametro principale, si concentra esclusivamente sulle dimensioni dei componenti disassemblati, sulla loro massa e sugli strumenti utilizzati nell'operazione. Questo genere di indice è molto più versatile e non tiene conto della bravura della persona addetta al disassemblaggio. Le dimensioni delle parti possono essere facilmente determinate nella fase progettuale tramite un qualunque software CAD come anche gli strumenti da utilizzare.

Pertanto, non esiste un indice definitivo, in grado di essere utilizzato in qualunque casistica, ma esistono indici differenti per situazioni differenti. Ad esempio, in alcune circostanze potrebbe essere più importante considerare il tempo di disassemblaggio, mentre in altre potrebbe risultare prioritario valutare le dimensioni dei componenti o la difficoltà tecnica dell'operazione. La flessibilità nella scelta dell'indice è, quindi, fondamentale per adattarsi alle esigenze specifiche di ciascun progetto.

3. METODO

Il primo passo di questo lavoro è stato quello di realizzare una procedura da seguire durante la fase di disassemblaggio, che avrebbe permesso la determinazione dei dati necessari al calcolo dell'Icom e dei suoi relativi rating.

Tale procedura indica quali sono i dati da riportare, ovvero: dimensioni del particolare (o assieme) disassemblato, la massa, gli strumenti utilizzati e le tipologie di vincoli.

La procedura è stata poi applicata ai due casi studio, ovvero ad un motore riduttore e ad una manopola del gas. In contemporanea alle due prove sperimentali veniva annotato il percorso di disassemblaggio seguito su un foglio di scrittura Word e i vari dati all'interno di una tabella. Queste informazioni sono state successivamente organizzate in un foglio di calcolo Excel, il quale, attraverso l'ausilio di funzioni specifiche, ha permesso il calcolo dei coefficienti precedentemente illustrati, conducendo infine alla determinazione dell'Icom dell'assieme esaminato. La documentazione ha consentito, in un secondo momento, di rivedere i passi seguiti durante la fase di disassemblaggio per poterli studiare nuovamente. In conclusione, è stato fatto un confronto dei risultati ottenuti per poterli commentare e confrontare tra loro.

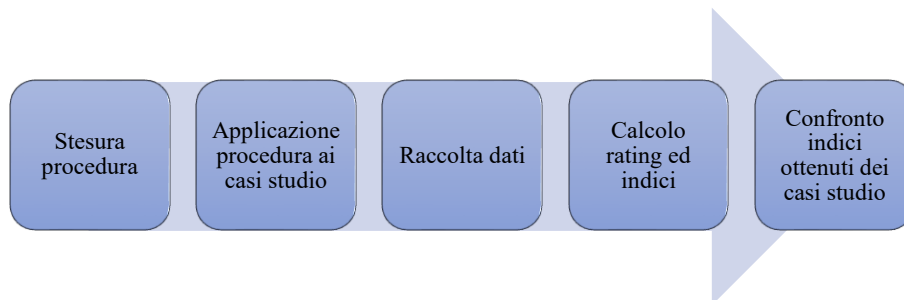


Figura 3.1 Percorso seguito

4. PROCEDURA DI DISASSEMBLAGGIO

La determinazione della procedura è avvenuta mettendo insieme molteplici punti chiave necessari per poter ottenere il maggior numero di informazioni dal componente che viene studiato, ovvero:

- definizione sistema di riferimento (sdr);
- definizione unità di misura;
- definizione elementi di vincolo (viti, linguette, interferenze ecc.);
- definizione strumenti di misura e di disassemblaggio;
- step da seguire durante il disassemblaggio

I seguenti passaggi, se applicati a degli assiemi di componenti, permettono di recuperare i dati necessari a determinare i rating e gli indici legati alla difficoltà di disassemblaggio.

I primi quattro punti elencati possono essere approfonditi nel Capitolo 2, in cui, dopo aver definito l'indice di complessità Icom, sono stati descritti in modo più accurato.

L'ultimo punto, ovvero la procedura, si presenta come segue:

1. Accertarsi di disporre di una sequenza di disassemblaggio da seguire. Qualora questa non fosse disponibile, ipotizzare una sequenza di disassemblaggio con l'aiuto di un sistema CAD
2. Individuare il componente da cui iniziare la fase di disassemblaggio
3. Procedere con il disassemblaggio rimuovendo i vincoli che tengono unite le varie parti
4. Per ogni componente disassemblato annotare:
 - a. Dimensioni di ingombro
 - b. Massa
 - c. Materiale
 - d. Tipologia/e di vincolo e la loro quantità
 - e. Tipologia/e di strumenti di disassemblaggio utilizzati e la loro quantità
5. Documentare tutte le varie fasi di disassemblaggio su un file di scrittura Word
6. I dati ottenuti nel *punto 4* riportarli sul file di scrittura Excel destinato al calcolo dei rating e indici

Questa procedura non è una vera e propria guida da seguire per poter essere in grado di disassemblare qualunque assieme di parti (anche perché ogni assieme avrebbe una procedura a sé), ma, è una guida che permette di capire quali sono i dati necessari ad essere riportati in tabella.

4.1 Documentazione

Durante lo sviluppo della prova bisogna annotare su un file di scrittura Word tutti i passaggi di disassemblaggio seguiti, non trascurando i dettagli, riportando anche le varie difficoltà riscontrate durante la prova. Su una tabella, invece, riportare i dati più rilevanti delle parti disassemblate, come ad esempio: dimensioni, massa, vincoli, strumenti utilizzati. La Tabella 4.1 è il modello utilizzato durante le due prove.

Tabella 4.1 Raccolta dati

Dati ottenuti dalla prova							
Livello	Posizione	Descrizione	Massa [g]	Materiale	Tipologia di vincolo	n. di vincoli	Tipologia strumenti di disassemblaggio

Livello	Posizione	Descrizione	n. strumenti di disassemblaggio	Strumento di misura	x [mm]	z [mm]	y [mm]

5. APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA AI CASI STUDIO: MOTORE RIDUTTORE E MANOPOLA DEL GAS

Il motore riduttore e la manopola del gas sono due assiemi totalmente diversi tra di loro (sia sotto l'aspetto dimensionale dei particolari ma anche della tipologia di accoppiamenti) e questo ha permesso di avere degli indici dal valore simile ma ottenuti tramite rating diversi e, di conseguenza, ha permesso di trarre delle considerazioni importati sui dati ottenuti dalle due prove, che verranno analizzati nei capitoli successivi. Il metodo utilizzato, già anticipato nel Capitolo 4, è stato lo stesso in entrambi i casi.

5.1 Motore riduttore

Il motore riduttore è stato posizionato sul piano di lavoro per definire con precisione le dimensioni di ingombro totali. Successivamente è iniziata la fase di disassemblaggio, partendo dal *coperchio laterale*. Il coperchio è fissato alla *chiusura laterale* (parte successiva disassemblata) tramite delle viti TCEI. Una volta rimosse le viti, ed estratto il coperchio, si è potuta disassemblare anche la chiusura laterale, anch'essa fissata tramite delle viti TCEI al corpo del motore. Con la rimozione di queste due coperture laterali si è potuto accedere al resto delle parti che compongono il motore e che trasmettono il moto.

Nel motore, il moto viene trasmesso tramite due alberini con ruote dentate calettate. Appena rimosso il secondo coperchio si va in contatto con il primo alberino di trasmissione sul quale è calettata una ruota dentata elicoidale e un cuscinetto. Nel caso di interesse non si è potuto disassemblare l'assieme dell'alberino e, per semplicità di cose, è stato considerato come un singolo componente. Il suo disassemblaggio avverrebbe tramite l'ausilio di una pressa idraulica e di una fonte di calore che possa riscaldare l'assieme, far dilatare i materiali e consentire il disassemblaggio in modo più agevole. Il disassemblaggio del motore è proseguito con la rimozione di una seconda ruota dentata elicoidale, accoppiata sul secondo alberino di trasmissione tramite una linguetta. Non si è potuto procedere ulteriormente con il disassemblaggio per via del fatto che

anche i componenti successivi erano calettati su cuscinetti che a loro volta erano calettati sul corpo del motore.

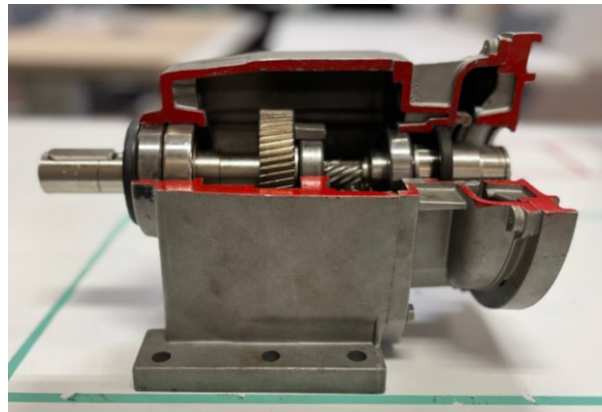


Figura 5.1 Motore riduttore

La prova si è limitata al solo disassemblaggio di queste parti, di conseguenza, il valore dell'Icom ottenuto è più basso rispetto a quello se fossero stati disassemblati tutte le parti.

Per ogni componente rimosso sono state annotate le loro dimensioni di ingombro, le tipologie di vincolo, gli strumenti di misura e di disassemblaggio utilizzati. I dati ottenuti sono quelli della Tabella 5.1, successivamente, sono stati copiati in un foglio di calcolo Excel, dove, tramite le formule e tabelle mostrate nel Capitolo 2.4, hanno permesso la determinazione dei vari rating ed indici. Quest'ultima parte del lavoro verrà approfondita meglio nel Capitolo 6.1.

Tabella 5.1 Dati ottenuti motore riduttore

Dati ottenuti dalla prova							
Livello	Posizione	Descrizione	Massa [g]	Materiale	Tipologia di vincolo	n. di vincoli	Tipologia strumenti di disassemblaggio
2		Coperchio laterale	463	Acciaio	Vite	4	Chiave a brugola
3		Chiusura laterale	518	Acciaio	Vite	5	Chiave a brugola
4		Paraolio	40	Gomma	Parte libera	1	-
5		Trasmissione moto	710	Acciaio	Lieve interferenza	1	-
	5.1	Alberino	400	Acciaio	Forte interferenza	2	Pressa idraulica
	5.2	Ruota dentata elicoidale 1	110	Acciaio	Forte interferenza	1	Pressa idraulica
	5.3	Cuscinetto	200	Acciaio	Forte interferenza	1	Pressa idraulica
6		Ruota dentata elicoidale 2	330	Acciaio	Parte libera	1	-

Livello	Posizione	Descrizione	n. strumenti di disassemblaggio	Strumento di misura	x [mm]	z [mm]	y [mm]
2		Coperchio laterale	1	Calibro	160	160	30

3		Chiusura laterale	1	Calibro	170	155	60
4		Paraolio	-	Calibro	50	50	8
5		Trasmissione moto	-	Calibro	55	55	105
	5.1	Alberino	1	Calibro	45	45	85
	5.2	Ruota dentata elicoidale 1	1	Calibro	15	15	20
	5.3	Cuscinetto	1	Calibro	55	55	13
6		Ruota dentata elicoidale 2	-	Calibro	75,5	75,5	20,5

5.2 Manopola del gas

La manopola del gas, a differenza del motore, è composta da una serie di componenti dalle dimensioni più ridotte. Il disassemblaggio è iniziato dalla parte inferiore, ovvero, rimuovendo il coperchio di chiusura in plastica che è vincolato al corpo della manopola tramite delle viti. Il coperchio viene poi estratto con cautela perché al suo interno c'è una molla leggermente in compressione. All'interno del coperchio si presenta un contatto elettrico, si nota subito che c'è una differenza di componenti e materiali rispetto al motore. In questa situazione sono stati disassemblati già due parti di materiale plastico che comportano un abbassamento della massa. Anche i vari vincoli della manopola risultano essere più *semplici* rispetto a quelli del motore.

Il disassemblaggio della parte inferiore è proseguito estraendo il connettore elettrico dalla sua sede, la molla e il piano in plastica con dentro fissato (tramite un anello elastico) un cilindro in ottone.

Il disassemblaggio e la manipolazione delle parti deve essere eseguita con particolare attenzione per prevenire la dispersione o lo smarrimento dei pezzi durante le operazioni di smontaggio.

Il disassemblaggio si è poi spostato sul corpo della manopola dove, dalla parte inferiore, sono state rimosse delle viti per poter estrarre una piastra metallica.

Estratta la piastra metallica si notano diverse parti vincolate sulla piastra stessa. Si procede con la rimozione delle tre viti che tendono vincolato la parte, denominata *blocchetto*, alla piastra. Tra la piastra ed il blocchetto c'è una molla, perciò il disassemblaggio è avvenuto con cautela. Dalla testa del blocchetto viene poi svitato un perno. Con la rimozione della piastra, oltre al blocchetto, si può estrarre un altro componente, denominato *assieme cilindrico*. Quest'ultimo è vincolato all'interno

di una cava cilindrica da cui è bastato estrarlo. Il disassemblaggio si è concluso con la rimozione di un raccordo avvitato sulla parte superiore della manopola.

La maggior parte dei componenti di questo assieme sono stati disassemblati perché non ci sono stati vincoli che necessitavano di particolari strumenti per essere eliminati.



Figura 5.2 Manopola del gas

Per i dati ottenuti il ragionamento è analogo al caso del motore riduttore.

Tabella 5.2 Dati ottenuti manopola del gas

Dati ottenuti dalla prova							
Livello	Posizione	Descrizione	Massa [g]	Materiale	Tipologia di vincolo	n. di vincoli	Tipologia strumenti di disassemblaggio
1		Coperchio di chiusura	51,7	Multimateriale	Vite	3	Chiave a brugola
	1.1	Coperchio	24	Plastica	Vite	3	Chiave a brugola
	1.2	Molla	1	Acciaio	Parte libera	0	-
	1.3	Contatto elettrico	5	Multimateriale	Parte libera	0	-
	1.4	Coperchio di fondo	20	Plastica	Parte libera	0	-
	1.4.1	Cilindretto	10	Ottone	Anello elastico	1	Pinze
	1.4.2	Base	10	Plastica	Forte interferenza	0	Pressa idraulica
2		Raccordo	30	Ottone	Parte autofilettata	1	Chiave inglese
3		Piastra (come assieme)	35	Multimateriale	Vite	2	Giravite

	3.1	Piastra metallica	35	Acciaio	Vite	2	Giravite
	3.2	Blocchetto	15,4	Acciaio	Vite	3	Giravite
	3.3	Molla	0,6	Acciaio	Parte libera	0	-
	3.4	Perno	2,2	Acciaio	Parte autofilettata	1	Chiave inglese
4		Assieme cilindrico	10	Acciaio	Parte libera	0	-

Livello	Posizione	Descrizione	n. strumenti di disassemblaggio	Strumento di misura	x [mm]	z [mm]	y [mm]
1		Coperchio di chiusura	1	Calibro	65	58	61
	1.1	Coperchio	1	Calibro	58	58	37,5
	1.2	Molla	0	Calibro	15	20	15
	1.3	Contatto elettrico	0	Calibro	40	10	25
	1.4	Coperchio di fondo	1	Calibro	46	35,5	50
	1.4.1	Cilindretto	1	Calibro	8	20	8
	1.4.2	Base	1	Calibro	46	8,8	50
2		Raccordo	-	Calibro	20	22	20
3		Piastra (come assieme)	1	Calibro	56,5	51,5	32,5
	3.1	Piastra metallica	1	Calibro	56,5	51,5	32,5
	3.2	Blocchetto	1	Calibro	28	38	25
	3.3	Molla	-	Calibro	8	8	15
	3.4	Perno	1	Calibro	5,5	5,5	18
4		Assieme cilindrico	-	Calibro	51	14	14

6. RISULTATI OTTENUTI DEI CASI STUDIO ED IL LORO CONFRONTO

Di seguito verranno riportati i valori di rating ed indici ottenuti dai due casi studio per poi essere commentati. Successivamente, verrà fatto un confronto di valori tra i due casi per capire come sono stati ottenuti determinati risultati. Questo genere di confronto permette di approfondire maggiormente lo studio effettuato su due casi che sono differenti per la massa, dimensione e quantità delle parti.

6.1 Risultati motore riduttore

Per leggere in modo più agevole i dati della Tabella 6.1 si può far riferimento al grafico in Figura 6.1 che corrisponde ad una rappresentazione di tali valori. Sull'ascissa ci sono i vari rating associati ai componenti disassemblati e che si possono riconoscere dai differenti colori delle colonne. Sull'ordinata è presente una scala graduata che permette di identificare il valore del rating. Tale grafico consente di confrontare lo stesso rating su diversi componenti. Si nota che ci sono determinati particolari, come ad esempio il *paraolio*, che hanno dei valori di rating nulli. Il paraolio ha il *rating number of tools* e *rating tools required* nulli perché ha un vincolo di tipo *free part* che non necessita di strumenti di disassemblaggio.

I primi due componenti disassemblati (*coperchio laterale* e *chiusura laterale*) si contraddistinguono dagli altri componenti per il loro alto valore di *Ueffort*. L'*Ueffort* viene ottenuto tramite la formula:

$$U - effort (fastener) = n. fastener * rating fastener$$

In questi due casi specifici ci sono molteplici vincoli *fastener* (*vite a testa standard*) che concorrono all'aumento del rating.

Nel Grafico 6.2 vengono rappresentati gli indici dei componenti del motore riduttore. Si nota sin da subito che l'assieme *trasmissione moto* (composto da *alberino*, *ruota dentata elicoidale 1* e *cuscinetto*) ha l'indice *Icom* maggiore rispetto agli altri componenti. Questa differenza di risultato, rispetto agli altri componenti, è data dai due vincoli di forte interferenza che hanno comportato un aumento del rating relativo all'*Ueffort*, agli strumenti di disassemblaggio e all'*operation type*. La

difficoltà di disassemblaggio di tale assieme lo si vede anche da un valore maggiore di Cr rispetto agli altri componenti.

Tabella 6.1 Rating motore riduttore

Rating motore riduttore									
Livello	Posizione	Descrizione	Rating number of tools	Rating operation type	Rating tools required	Rating size	Rating thickness	Ueffort	Rating mass
2		Coperchio laterale	0,30	0,60	0,60	0,66	0,86	2,33	0,08
3		Chiusura laterale	0,30	0,60	0,60	0,65	0,82	1,87	0,20
4		Paraolio	0,00	0,60	0,00	0,81	0,89	0,00	
5		Trasmissione moto	0,30	0,60	0,00	0,76	0,83	0,63	0,20
	5.1	Alberino	0,60	0,60	1,00	0,78	0,84	1,00	
	5.2	Ruota dentata elicoidale 1	0,60	0,30	1,00	0,58	0,64	1,00	
	5.3	Cuscinetto	0,60	0,60	1,00	0,80	0,88	1,00	
6		Ruota dentata elicoidale 2	0,30	0,60	0,00	0,77	0,87	0,63	0,06

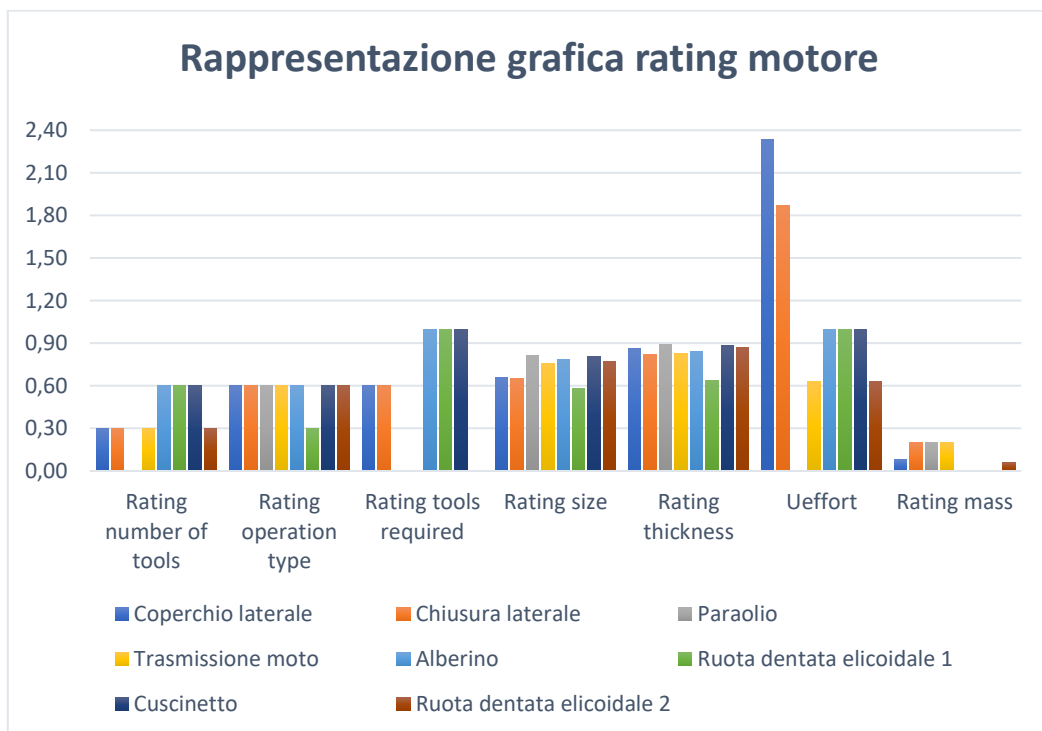


Figura 6.1 Rappresentazione grafica rating motore riduttore

Tabella 6.2 Indici motore riduttore

Indici motore riduttore								
Livello	Posizione	Descrizione	Ch,f	Ch	Cr,i	Cr	Icom	Icom_medio
2		Coperchio laterale	1,60	0,53	0,71	0,71	0,62	0,62
3		Chiusura laterale	1,68	0,56	0,59	0,59	0,58	0,58
4		Paraolio	1,90	0,63	0,10	0,10	0,37	0,37
5		Trasmissione moto	1,79	0,60	0,16	1,29	0,94	0,24
	5.1	Alberino			0,29			
	5.2	Ruota dentata elicoidale 1			0,41			
	5.3	Cuscinetto			0,43			
6		Ruota dentata elicoidale 2	1,70	0,57	0,47	0,47	0,52	0,52
TOTALE							3,02	2.31

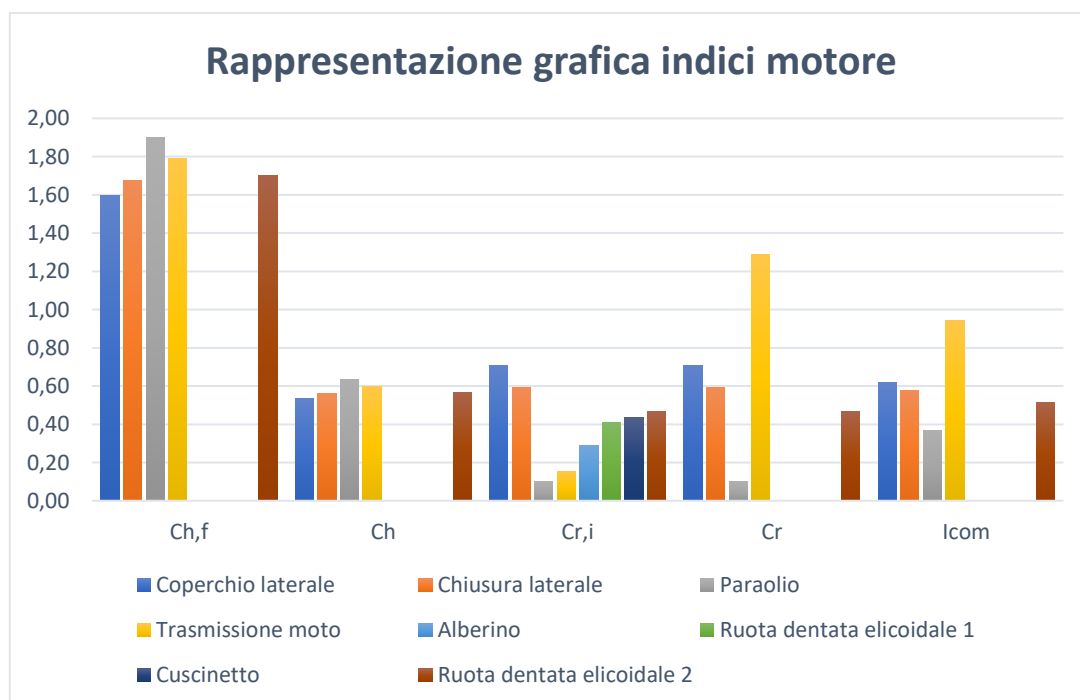


Figura 6.2 Rappresentazione grafica indici motore riduttore

6.2 Risultati manopola del gas

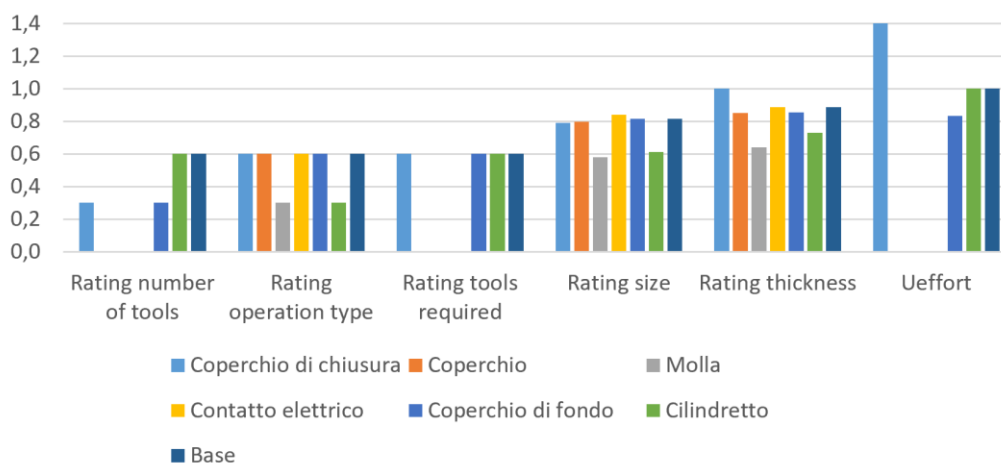
Per semplicità di visualizzazione, la rappresentazione grafica dei rating è stata divisa in due, ovvero: nel primo grafico si ha una parte dei componenti disassemblati, nel secondo grafico l'altra parte rimanente di parti.

Nella Figura 6.3 non si notano eccessive differenze di valori di rating tra le varie parti: gli unici due componenti che si contraddistinguono per un maggior valore di *Ueffort* sono il coperchio di chiusura e il blocchetto. Questi due hanno un maggior valore dell'*Ueffort* per lo stesso motivo visto nel caso del motore riduttore, ovvero, per via delle viti di fissaggio che fanno aumentare il valore del termine.

Tabella 6.3 Rating manopola del gas

Rating manopola del gas								
Livello	Posizione	Descrizione	Rating number of tools	Rating operation type	Rating tools required	Rating size	Rating thickness	Ueffort
1		Coperchio di chiusura	0,3	0,6	0,6	0,8	1,0	1,4
	1.1	Coperchio	0,0	0,6	0,0	0,8	0,9	0,0
	1.2	Molla	0,0	0,3	0,0	0,6	0,6	0,0
	1.3	Contatto elettrico	0,0	0,6	0,0	0,8	0,9	0,0
	1.4	Coperchio di fondo	0,3	0,6	0,6	0,8	0,9	0,8
	1.4.1	Cilindretto	0,6	0,3	0,6	0,6	0,7	1,0
	1.4.2	Base	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0
2		Raccordo	0,3	0,3	0,6	0,5	0,6	0,7
3		Piastra (come assieme)	0,3	0,6	0,6	0,8	0,9	0,9
	3.1	Piastra metallica	0,3	0,6	0,6	0,8	0,9	0,9
	3.2	Blocchetto	0,3	0,6	0,6	0,8	0,9	1,4
	3.3	Molla	0,3	0,3	0,6	0,7	0,7	0
	3.4	Perno	0,3	0,3	0,6	0,6	0,8	0,7
4		Assieme cilindrico	0,3	0,6	0,6	0,8	0,9	0,6

Rappresentazione grafica rating manopola_1



Rappresentazione grafica rating manopola_2

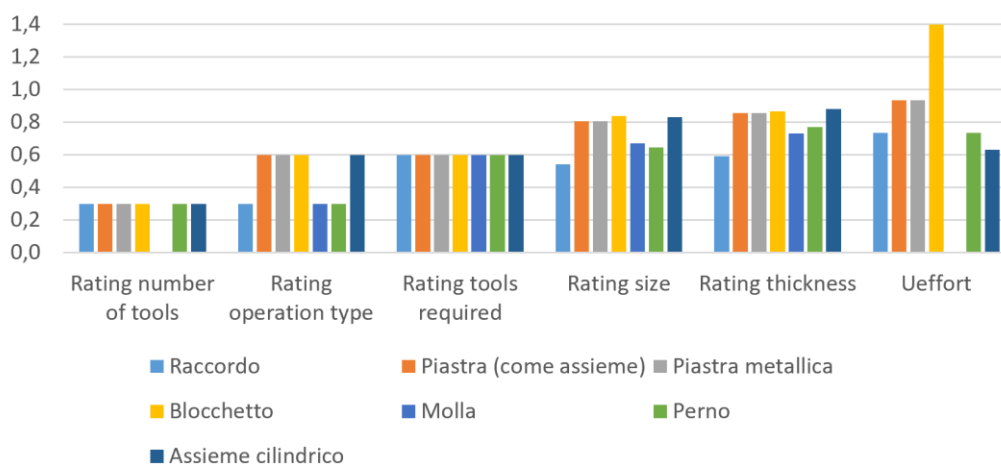


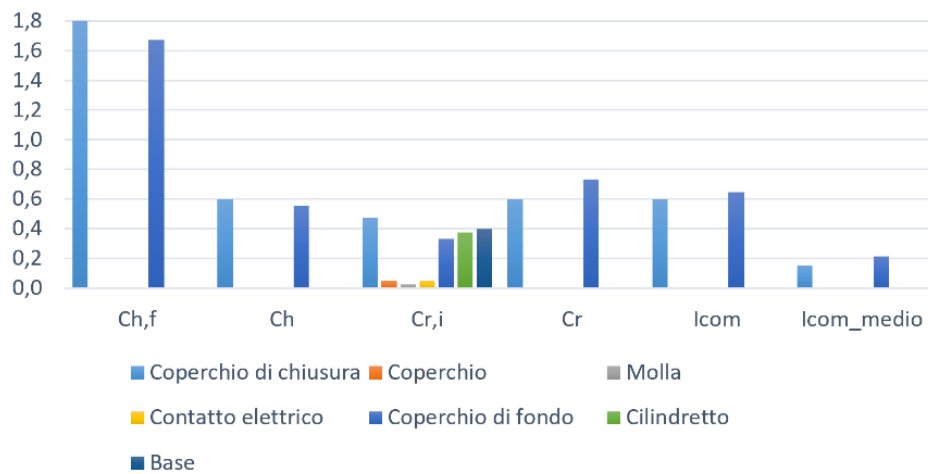
Figura 6.3 Rappresentazione grafica rating manopola del gas

Tabella 6.4 Indici manopola del gas

Indici manopola del gas								
Livello	Posizione	Descrizione	Ch,f	Ch	Cr,i	Cr	Icom	Icom_medio
1		Coperchio di chiusura	1,8	0,6	0,48	0,6	0,6	0,1
	1.1	Coperchio			0,05			
	1.2	Molla			0,03			
	1.3	Contatto elettrico			0,05			
	1.4	Coperchio di fondo	1,7	0,6	0,33	0,7	0,6	0,2
	1.4.1	Cilindretto			0,38			
	1.4.2	Base			0,40			
2		Raccordo	1,1	0,4	0,28	0,3	0,3	0,3

3		Piastra (come assieme)			0,36			
	3.1	Piastra metallica	1,7	0,6	0,36	1,5	1,0	0,2
	3.2	Blocchetto			0,48			
	3.3	Molla			0,05			
	3.4	Perno			0,28			
4		Assieme cilindrico	1,7	0,6	0,28	0,3	0,4	0,4
TOTALE							3,045	1,32

Rappresentazione grafica indici manopola_1



Rappresentazione grafica indici manopola_2

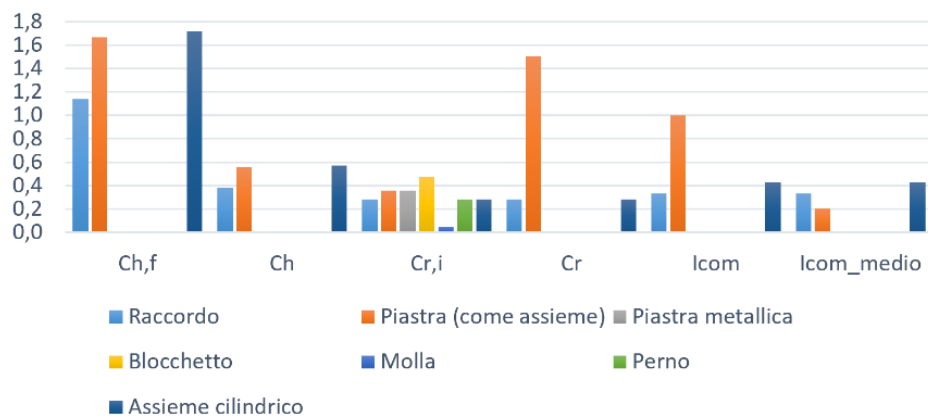
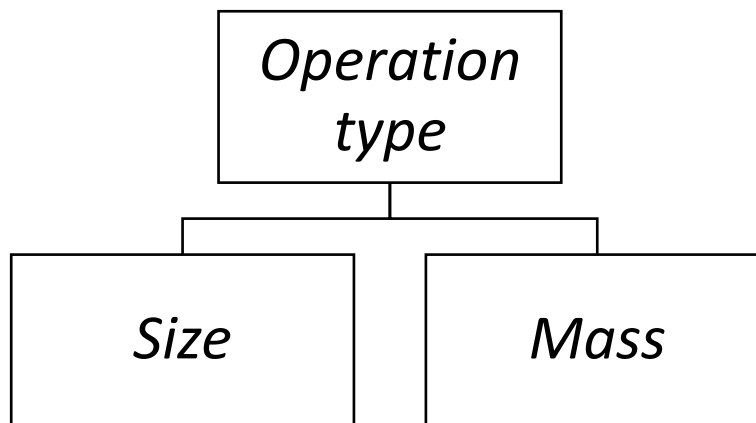


Figura 6.4 Rappresentazione grafica indici manopola del gas

6.3 Confronto risultati casi studio

Il motore riduttore ha dato un indice di complessità totale pari a **3.02** mentre la manopola di **3,045**: i risultati ottenuti dicono che la manopola comporta maggiore difficoltà ad essere disassemblata rispetto al motore.

Ci sono due effetti contrapposti che concorrono nello stesso tempo: massa (intrinsecamente anche le dimensioni) e quantità delle parti.



Il motore è composto da parti di dimensioni medio grandi, in metallo (prevalentemente acciaio), e dal maggior peso. La massa e le dimensioni dei componenti hanno comportato un aumento dell'indice Icom, mentre, il loro basso quantitativo di parti tendeva ad abbassarlo. Al contrario, la manopola è formata sia da componenti in plastica che in metallo (alluminio e acciaio) ma di piccole dimensioni. Avendo un quantitativo di parti maggiori, l'Icom tende ad aumentare, mentre la massa dei componenti tende ad abbassarlo. Questo appena detto lo si può notare dai valori del rating operation type. Nel Capitolo 2.4.9 è stato detto che per determinare il rating relativo all'operation type sarebbe stato necessario, prima di tutto, determinare l'operation type stesso. Quest'ultimo dipende sia dalla dimensione che dalla massa del particolare in esame: un particolare dalle dimensioni e massa elevata comporta un elevato rating operation type.

Alti valori di Size e Mass comportano un aumento del rating operation type e del rating mass. Mentre, per il rating size, è difficile dire che aumenta con il Size perché, la funzione che lo determina, non è lineare. Perciò alti valori di dimensioni e massa possono far leva sul basso quantitativo di parti.

Il 34% dell'Icom del motore è dato dall'assieme di trasmissione composto da albero, ruota dentata e cuscinetto. Quello che ha comportato un aumento significativo dell'indice è stato, oltre alla massa e alle dimensioni, la tipologia di vincolo: *interference fit strong*. Questo vincolo si è presentato per ben tre volte ed ha influito sui valori di rating number of tools, tools required e U-effort, portandoli ai valori massimi. Il 37% dell'Icom della manopola è dato dall'assieme con

piastra, blocchetto, molla e perno. Le quattro parti sono di piccole dimensioni ma presentano diversi vincoli che hanno comportato un aumento significativo dell'Icom.

Adesso però, per svincolarsi dal quantitativo delle parti, che è un fattore che ha influenzato il risultato finale, si calcola la media dei singoli componenti (o assieme) di ciascun prodotto.

Per il motore riduttore si ottiene un valore di **2.31** mentre per la manopola di **1.32**. Si evince che la situazione si è ribaltata e la differenza tra i due valori è nettamente più visibile. In questa condizione gli unici fattori che influiscono sono gli accoppiamenti, le dimensioni e la massa, svincolandoci totalmente dal quantitativo delle parti. Il dato ottenuto non sorprende perché il motore riduttore si presenta con dimensioni, massa e accoppiamenti che hanno innalzato il valore dell'indice in modo significativo rispetto alla manopola.

7. CONCLUSIONE

L'indice di complessità Icom permette di quantificare la difficoltà di disassemblaggio di un assieme di componenti. Come già detto nei capitoli precedenti: questo genere di indice è indirizzato maggiormente verso i progettisti meccanici. Il fattore tempo, invece, potrebbe essere considerato ma con un certo criterio perché, oltre a considerare le parti da disassemblare appartenenti all'assieme generale, bisogna anche tenere conto del tempo che si impiega per rimuovere eventuali particolari che ostacolano l'accesso all'assieme di interesse. Si potrebbe attuare lo stesso concetto utilizzato dagli altri due indici introdotti precedentemente, ovvero, di andare a considerare il tempo di disassemblaggio tramite un rating.

Inizialmente si era introdotto l'utilizzo di un dispositivo in grado di quantificare lo sforzo sostenuto da un operatore durante la fase di disassemblaggio. Quest'ultimo dispositivo sarebbe stato in grado di rendere oggettivo un dato soggettivo, ovvero, il tempo impiegato nella fase di disassemblaggio. Il tempo, se preso singolarmente, è un dato soggettivo, ovvero che dipende dalla persona che esegue la fase di disassemblaggio. Per una prova futura lo si potrebbe utilizzare per avere un indice più completo.

Una considerazione molto importante è stata ottenuta con l'indice di complessità medio che non tiene conto del quantitativo di parti, basando quindi la difficoltà di disassemblaggio sui vincoli, dimensioni e massa. Questo ha permesso di capire quanto questi termini hanno influito sull'indice.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1]. EnGen Institute, Design for Disassembly Guidelines, 2005
- [2]. Paul Vanegas, Jef R. Peeters, Dirk Cattrysse, Joost R. Duflou (KU Leuven) Paolo Tecchio, Fabrice Mathieux, Fulvio Ardente (JRC), Study for a method to assess the ease of disassembly of electrical and electronic equipment. 2016
- [3]. https://www.researchgate.net/publication/332551701_A_structured_index_describing_the_ease_of_disassembly_for_handcrafted_product
- [4]. Tabelle e formule ottenuti nelle attività di una ricerca in corso, nel contesto di un progetto nazionale
- [5]. Application of Design for Disassembly from Remanufacturing Perspective, 2015, S.L. Soh, S.K. Ong, A.Y.C. Nee
- [6]. An approach for estimating the end-of-life product disassembly effort and cost, 1999, sanchoy k. das, pradeep yedlarajiah and raj narendra