

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale, dell'Autoveicolo e della
Produzione

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica Magistrale

Tesi di Laurea Magistrale

Sviluppo prodotto e processo di valvola EGR con analisi FMEA.



Relatore:

Alessandro Salmi

Tutor aziendale:

Luca Greco

Candidato:

Federica Guglielmi

Introduzione

Dal 1946, in Facet si progettano, producono e distribuiscono ricambi per autoveicoli. Dai sensori ai termostati, dai componenti per l'accensione agli interruttori, con una copertura particolarmente elevata sulle marche europee, giapponesi e coreane. Negli ultimi anni Facet ha aggiunto al proprio catalogo le valvole EGR, in fase di sviluppo. Utilizzata per il ricircolo dei gas di scarico è stata inventata negli Stati Uniti negli anni '70 e testata da General Motors montata nei motori a gasolio (ma anche qualche esemplare a benzina) per abbattere le emissioni di ossidi di azoto (NOx).

La metodologia utilizzata per accompagnare la progettazione di Facet della valvola EGR a motore DC è la FMEA, in quanto le esigenze di miglioramento dell'affidabilità dei prodotti e delle capacità qualitative dei processi rende sempre più necessaria l'applicazione di tecniche e metodologie efficaci ai fini di eliminare il più possibile a monte (in ottica preventiva) eventuali rischi e cause di difettosità del prodotto e/o guasti/anomalie nel processo. La FMEA è sicuramente tra gli strumenti più immediati ed efficaci in tal senso, in grado di integrare anche le conoscenze presenti in azienda, canalizzandole nell'azione di miglioramento.

Torino 2020

ABSTRACT

L'obiettivo di questo studio è quello di fornire delle basi solide per la produzione della valvola EGR con tecnologia a motore DC.

Iniziando con uno studio preliminare di fattibilità delle valvole EGR, delle altre tecnologie presenti sul mercato in modo da valutare il motivo di tale scelta di produzione del ricambio.

La progettazione viene accompagnata e guidata tramite l'analisi FMEA: la progettazione del design della valvola, quindi i dettagli tecnici, funzionali e dimensionali e la progettazione del processo produttivo e ciclo della valvola stessa con i suoi possibili fallimenti.

L'analisi FMEA aiuta il progettista a prevenire i possibili fallimenti pesando (tramite il metodo) e attuando azioni di ottimizzazione, in modo da ridurre al minimo il rischio una volta immessa sul mercato o in linea di produzione.

Il metodo FMEA ha la duplice utilità, oltre prevenire possibili rischi e accompagnare la progettazione, anche quello di riuscire a generare il contenuto, in modo diretto, di alcuni documenti indispensabili per la validazione del prodotto e la produzione della valvola.

ABSTRACT

This study provides the basis for the production of EGR valve with DC motor technology.

Starting with preliminary feasibility study of EGR valves and of the other technologies on the market is possible to evaluate the reason for changing the spare part production.

The design is supported and guided through the FMEA analysis: the design of the valve, the technical details, setting and dimensions and layout of production process of the valve with its possible failures.

FMEA analysis helps the designer to prevent the possibility of failures. Through the method and with optimization action is possible to minimize the risk of failure that can occur in the market or in the production line.

The FMEA method has a dual utility. In addition to evaluate the possible risks of failures and supporting the design of the valve, this method generate also documentations for the validation of the valve and its production. These indispensable data is directly provide from the method without extra steps

Indice

1. LA VALVOLA EGR	13
1.1 Descrizione e funzionamento.....	13
1.2 Tipologie.....	16
1.3 Valvola EGR con azionamento a motore DC	19
1.4 Motivi del ricambio EGR	29
2. DFMEA	31
2.1 Generalità.....	31
2.2 Diagramma a blocchi.....	37
2.3 Matrice delle interfacce	39
2.4 Matrice delle correlazioni	40
2.5 Matrice dei rischi	45
2.6 Scale SOD e azioni.....	65
3. PFMEA.....	73
3.1 Generalità.....	73
3.2 Diagramma di flusso.....	75
3.3 Matrice delle correlazioni.....	81
3.4 Matrice dei rischi.....	83
3.4 Scale SOD e azioni	98
4. DOCUMENTI PER LA PRODUZIONE.....	106
4.1 Distinta base	108
4.2 Caratteristiche del prodotto	109
4.3 Piano di validazione.....	111
4.4 Ciclo di lavorazione.....	113
4.5 Struttura centri di lavoro.....	114
4.6 Caratteristiche del processo.....	117
4.7 Piano di controllo.....	119

1. LA VALVOLA EGR

1.1 Descrizione e funzionamento

1. LA VALVOLA EGR

1.1 Descrizione e funzionamento

La valvola Egr (Exhaust gas recirculation - ricircolo dei gas di scarico) è utilizzata nei motori a gasolio (ma anche qualche esemplare a benzina) per abbattere le emissioni di ossidi di azoto (NOx). Al fine di ridurre queste emissioni, i produttori hanno installato una parte automatica che reindirizza questi gas di scarico all'iniezione, per bruciarli una seconda volta, quindi la valvola preleva una parte dei gas di scarico, i quali passano attraverso uno scambiatore per abbassarne la temperatura per poi essere nuovamente immessi nel collettore d'aspirazione. In sostanza i gas recuperati (esausti, poiché privi di ossigeno) verranno mischiati all'aria aspirata dal motore necessaria per la combustione.

Questo permette di ottenere un duplice vantaggio: dal punto di vista delle emissioni nocive, si riducono le emissioni di NOx; si ottengono vantaggi anche nei consumi grazie al fatto che in presenza dei gas di ricircolo il carico complessivo dei cilindri aumenta a parità di aria aspirata.

Le percentuali di riutilizzo di questi gas si trovano tra il 5% e il 15% a seconda del tipo di motore. Di conseguenza, assicura che il motore riduca le emissioni di NOx, rendendolo meno inquinante.

La centralina del motore (ECU) gestisce quindi il controllo della valvola EGR per mezzo di un'elettrovalvola in base a diversi parametri (temperatura dell'acqua, temperatura dell'aria, informazioni sul carico del motore, regime minimo, ecc) che gestisce l'apertura e la chiusura della valvola EGR.

Nella figura 1.1 è possibile vedere uno schema di installazione della valvola su veicolo:

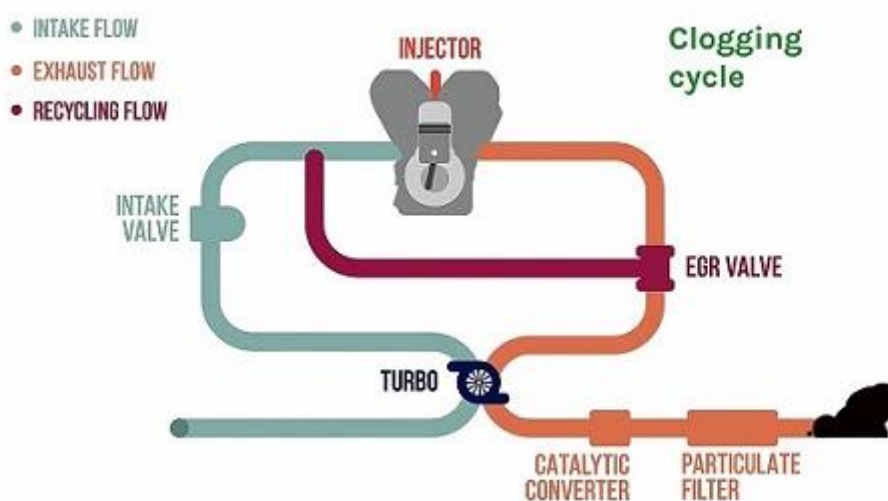


Figura 1.1 Schema di installazione

1. LA VALVOLA EGR

1.1 Descrizione e funzionamento

Le principali caratteristiche della valvola EGR sono:

- temperature 350°C-600°C
- peso contenuto
- robustezza
- diagnostica
- elevata capacità di regolazione
- curve caratteristiche ben definite
- resistenza alla contaminazione

Le valvole EGR possono essere classificate per alta pressione e per bassa pressione. Le prime trovano applicazione subito dopo il collettore di scarico del motore, mentre le seconde vengono posizionate dopo il catalizzatore/FAP.

Nella figura 1.2 di seguito due illustrazione che mostrano i due sistemi HP e LP:

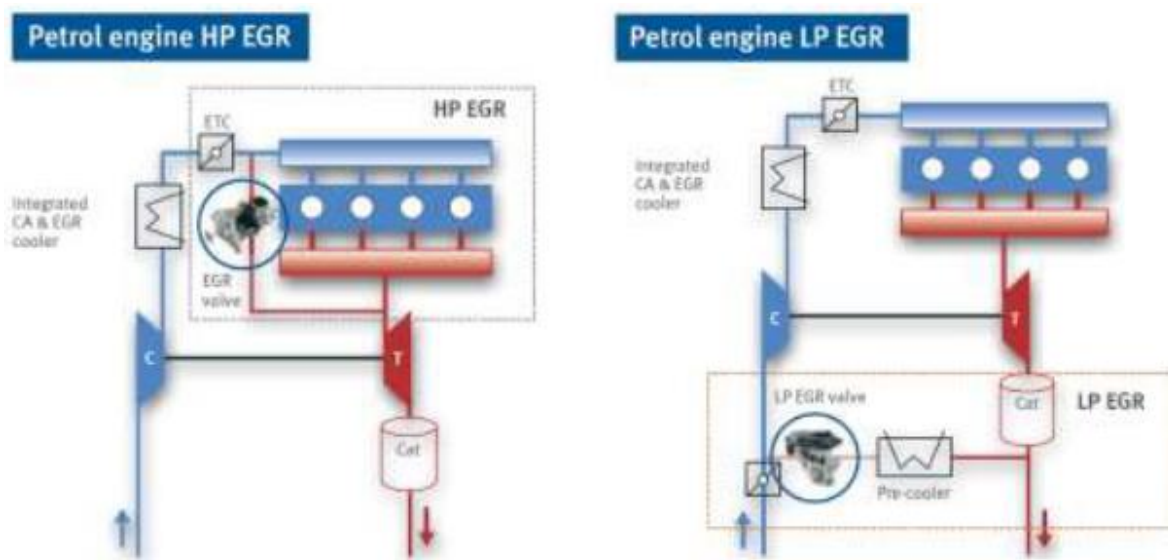


Figura 1.2 Schema HP e LP

1. LA VALVOLA EGR

1.1 Descrizione e funzionamento

La struttura interna della valvola invece è composta da una parte di attuazione, la quale può sfruttare diverse tecnologie descritte nel capitolo successivo 1.2, che comanda una parte di otturatore che varia la corsa di apertura della valvola in modo da ottenere la portata di gas richiesta.

La valvola quindi si può suddividere schematicamente in due sottogruppi come in figura 1.3:



Figura 1.3 Schema SG valvola

Il sottogruppo otturatore può avere diverse geometrie ma il principio di funzionamento è il medesimo tra i diversi modelli di valvole presenti sul mercato: l'attuatore comanda lo spostamento dello stelo che consente una apertura della valvola tramite il disco e di conseguenza il passaggio di una determinata portata di gas verso il collettore di aspirazione del motore. La valvola si chiuderà tramite una molla di ritorno posizionata tra corpo e stelo, al cessare del comando da parte dell'attuatore.

Nella figura 1.4 è possibile vedere nella foto di destra la molla di ritorno per la chiusura e nella foto di sinistra il disco e lo stelo per la apertura contenuti nel corpo metallico:



Figura 1.4 Foto SG otturatore

1. LA VALVOLA EGR

1.2 Tipologie

La caratteristica fondamentale della valvola infatti risulta la funzione di trasferimento F_dT descritta nei capitoli seguenti che mette in relazione il parametro comandato dalla ECU dell'attuatore (differente per tipologia) con la corsa dello stelo in apertura.

1.2 Tipologie

Di seguito viene fornita una sintetica descrizione delle diverse sottofamiglie che si possono presentare nel sistema di attuazione:

Valvole pneumatiche

A questa sottofamiglia appartengono tutte quelle valvole azionate mediante una pressione o una depressione creata all'interno di un diaframma. La depressione viene generata dal condotto di aspirazione o da una pompa da vuoto.

Ciò causa la movimentazione di un otturatore o di una farfalla. A tali valvole può essere talvolta accoppiato un sensore che fornisce informazioni sulla posizione di apertura.



Figura 1.5 Esempi di pneumatiche

Nel grafico seguente in figura 1.6 è possibile vedere un esempio dell'andamento della funzione di trasferimento delle valvole ad azionamento pneumatico:

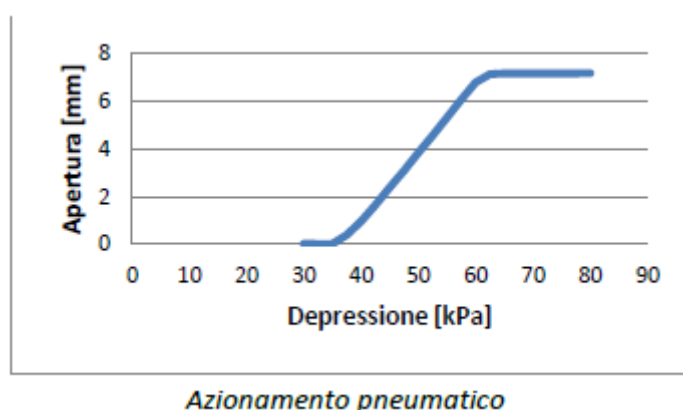


Figura 1.6 F_dT pneumatiche

1. LA VALVOLA EGR

1.2 Tipologie

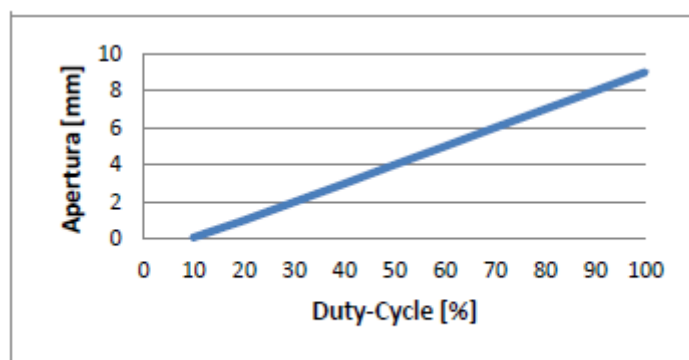
Valvole con solenoide

Queste valvole vengono azionate mediante un solenoide avvolto su un rocchetto, all'interno del quale un stelo ferromagnetico è libero di scorrere se sottoposto ad un campo magnetico. Il campo magnetico statico viene generato e modulato applicando un segnale PWM ai capi dell'avvolgimento. Le valvole che appartengono a questa categoria sono in genere ad otturatore, e possono essere dotate di un sensore di posizione.



Figura 1.7 Esempi di valvole a solenoide

Nel grafico seguente in figura 1.8 è possibile vedere un esempio dell'andamento della funzione di trasferimento delle valvole ad azionamento elettrico a solenoide:



Azionamento elettrico

Figura 1.8 FdT valvole a solenoide

1. LA VALVOLA EGR

1.2 Tipologie

Valvole con attuatore angolare

Tali valvole sono equipaggiate con un motore brushless (senza spazzole, il rotore è costituito dal magnete) che però compie una rotazione in genere minore di 90° . Ciò semplifica il sistema di controllo e consente un comando in PWM in modo simile alle valvole con solenoide. In genere questi attuatori possiedono una coppia maggiore dei motori DC ed integrano un sensore di posizione HE. La trasformazione dal movimento rotatorio a quello lineare avviene per mezzo di ingranaggi riduttori o camme eccentriche.



Figura 1.9 Esempi con attuatore angolare

Valvole con motore DC

Valvola oggetto dello studio descritta nel dettaglio nel capitolo seguente 1.3.



Figura 1.0.10 Esempi con motore DC

1.3 Valvola EGR con azionamento a motore DC

Simili a quelle con attuatore angolare, queste valvole dispongono di un attuatore elettrico costituito invece da un motore DC a spazzole.

Il pilotaggio del motore avviene di norma in PWM. La trasformazione dal movimento rotatorio a quello lineare avviene per mezzo di ingranaggi riduttori e camme eccentriche.

Dotata inoltre di un sensore di posizione HE per fornire informazioni alla ECU sulla posizione di apertura.

Una analisi più approfondita del sottogruppo attuatore individua la suddivisione ad ulteriori sottogruppi:

- sottogruppo motore:

composto da motore DC, supporto motore, coperchio e o-ring; la sua funzione è quella di azionamento della valvola tramite segnale PWM dalla centralina, trasmesso al motore attraverso i terminali e le lamelle di collegamento.

La funzione di supporto, coperchio e o-ring è quella di vincolare assialmente e sigillare la camera contenente il motore da agenti esterni alla valvola per evitarne la rottura o mal funzionamenti.

Segnali di comando del motore DC: Tensione 13,5V modulata in PWM (Pulse-Width-Modulation) a frequenza 1kHz, con pilotaggio del motore tramite un H-Bridge (sistema elettronico di controllo a ponte di interruttori elettronici che permette di regolare la velocità ed il senso di rotazione del motore).

La modulazione PWM è un comando digitale che permette di ottenere una tensione media variabile dipendente dal rapporto tra la durata dell'impulso positivo e ed il periodo totale (duty-cycle), ad una frequenza fissa. La tensione media stabilisce la corrente media e quindi un determinato valore di campo magnetico al quale corrisponde una certa forza sullo stelo.

Di seguito vengono mostrati esempi di modulazione PWM a differenti duty-cycle:

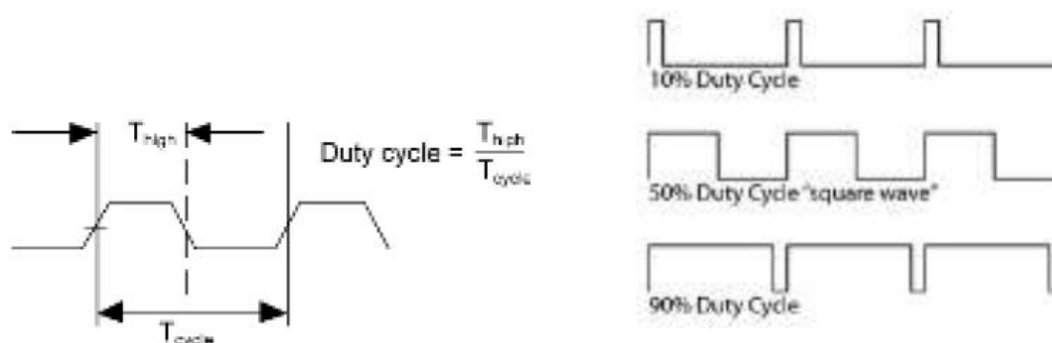


Figura 1.11 Definizione di duty-cycle

La frequenza della modulazione ($1/T_{cycle}$) è compresa tra 100-150 Hz .

1. LA VALVOLA EGR

1.3 Valvola EGR con azionamento a motore DC

Nella caratterizzazione 1.12 di seguito viene mostrato un esempio di modulazione PWM applicata ad un motore di valvola EGR:

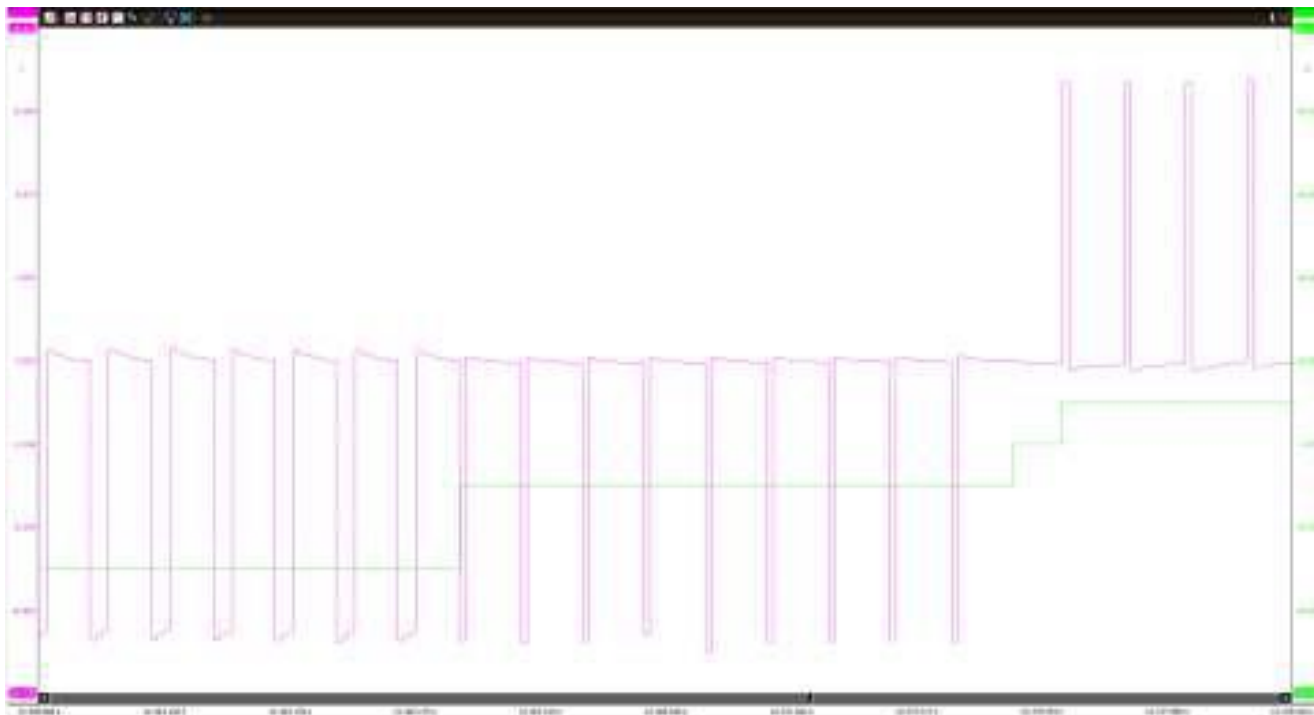


Figura 1.12 Esempio di caratterizzazione

Sulle ascisse il duty-cycle, sulle ordinate il segnale in Volt; la tensione modulata è quella di batteria, e l'inversione di polarità indica il pilotaggio nei due versi di rotazione.

In verde: segnale di comando tipico su un motore DC.

In viola: segnale relativo al duty-cycle, risultato della modulazione del precedente.

Nel campo di frequenze compreso tra 1kHz e 5kHz non si riscontrano variazioni di prestazioni.

La corrente massima del ponte è 6A per un limitato intervallo di tempo (<20ms, a motore bloccato).

1. LA VALVOLA EGR

1.3 Valvola EGR con azionamento a motore DC

Nello schema a blocchi di seguito 1.13 viene mostrato il sistema di controllo e regolazione del motore DC utilizzato dalla centralina:

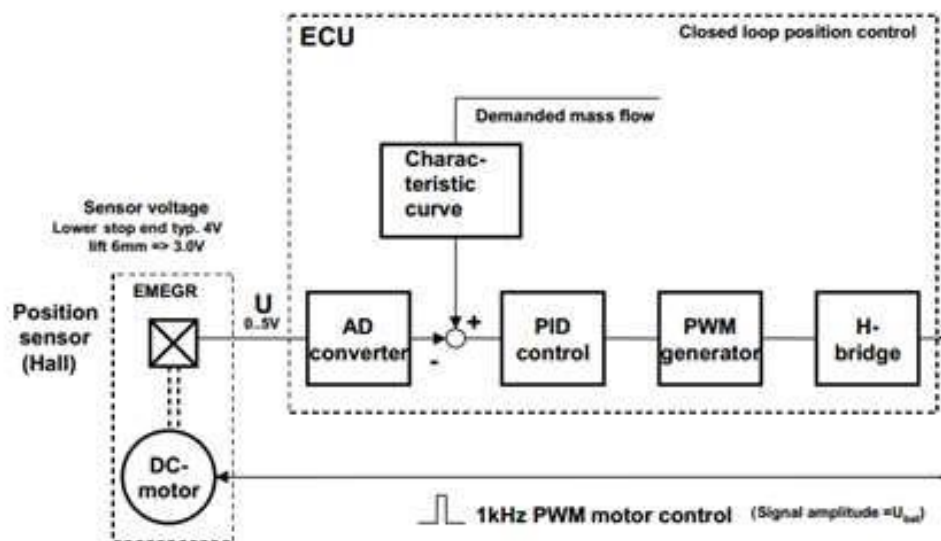


Figura 1.13 Regolazione Pierburg

Il segnale di comando che arriva al motore DC è risultante dal confronto tra la curva caratteristica che dovrebbe avere (set) con il segnale dal sensore di posizione, di cui parleremo del sottogruppo circuito (feedback) con errore compensato tramite controllo PID.

Nella figura 1.14 è raffigurata una fotografia del sottogruppo smontato composto da coperchio (al suo interno un o-ring, non visibile in foto), motore DC (a cui sono collegati i terminali e il pignone per la trasmissione) e supporto motore costampato con lamelle di collegamento e bocche passa-vite.



Figura 1.14 Foto SG motore

1. LA VALVOLA EGR

1.3 Valvola EGR con azionamento a motore DC

- sottogruppo circuito:
composto da supporto circuito (di cui blocchetto di connessione), circuito HE su cui è montato il sensore effetto hall per il feedback della valvola alla centralina e i terminali di connessione.
Il supporto circuito tiene bloccato il circuito e di conseguenza il sensore in una determinata posizione in modo che quest'ultimo effettui una misurazione accurata della posizione dell'otturatore. Il blocchetto di connessione è ottenuto per sovrastampaggio dei terminali.

Il sensore di posizione rileva la posizione di un magnete posizionato sull'albero di trasmissione del moto descritto nel sottogruppo successivo; il magnete solidale all'albero indica la posizione della trasmissione e di conseguenza di apertura della valvola, inviando un feedback alla centralina sulla reale apertura della valvola.

Nella immagine 1.15 è rappresentato il sottogruppo circuito e i suoi componenti:

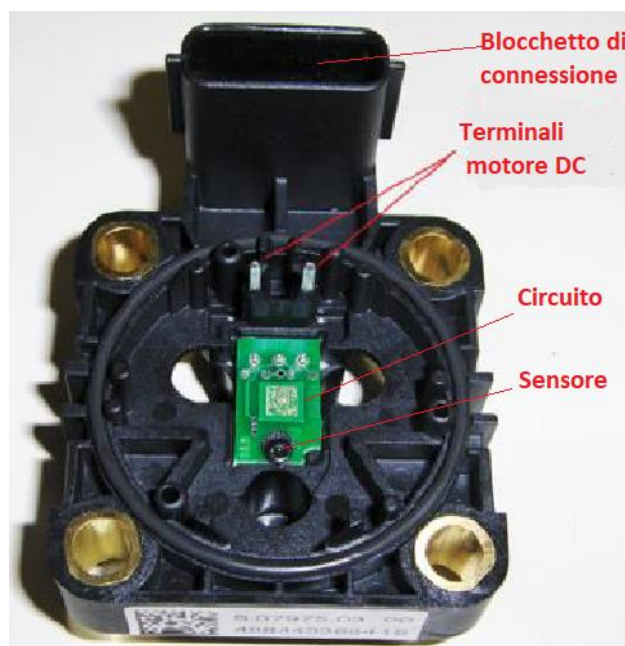


Figura 1.15 Foto SG circuito

Attraverso le misure con il multimetro, sono stati individuati i pin dedicati al motorino elettrico e di feedback:

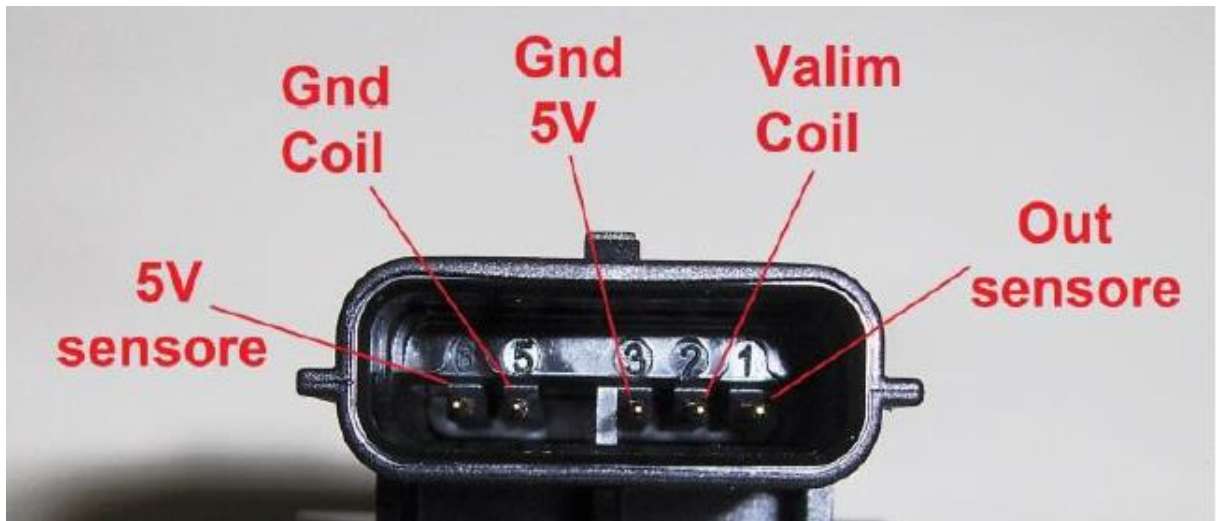


Figura 1.16 Piedinatura

Quello che si deduce è che sul motore DC viene applicata la tensione di batteria, mentre il sensore è alimentato a 5V.

L'uscita del sensore lineare analogica fornisce una tensione di 1V con valvola a riposo fino a raggiungere, con andamento proporzionale, circa 4,7V (probabilmente 5V nominali) alla massima apertura.

1. LA VALVOLA EGR

1.3 Valvola EGR con azionamento a motore DC

- sottogruppo trasmissione:
composto dai 3 satelliti, corona costampata su albero di trasmissione, magnete, supporto trasmissione, camma (o gomito) e cuscinetto volvente.
Il motore elettrico viene dotato di pignone e accoppiato a tre riduttori epicicloidali, aventi lo scopo di trasferire la coppia ad un secondo ingranaggio (corona dentata) vincolato alla camma che, ruotando, apre la valvola.
Il cuscinetto volvente, solidale con la camma, permette al moto di essere trasferito al sottogruppo otturatore tramite una sede cuscinetto dimensionata opportunamente con la funzione di trasferimento che si vuole imporre alla valvola.

Nelle immagini seguenti è possibile notare i componenti e il loro posizionamento:

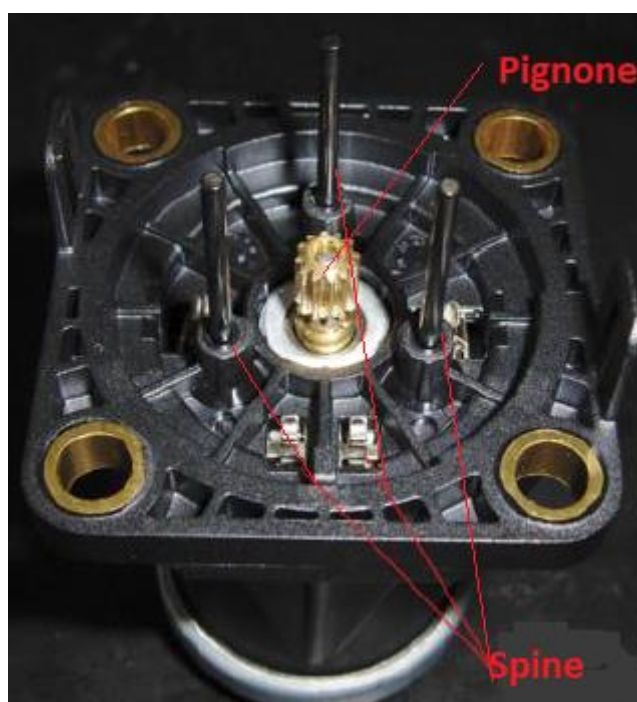


Figura 1.17 Foto SG motore

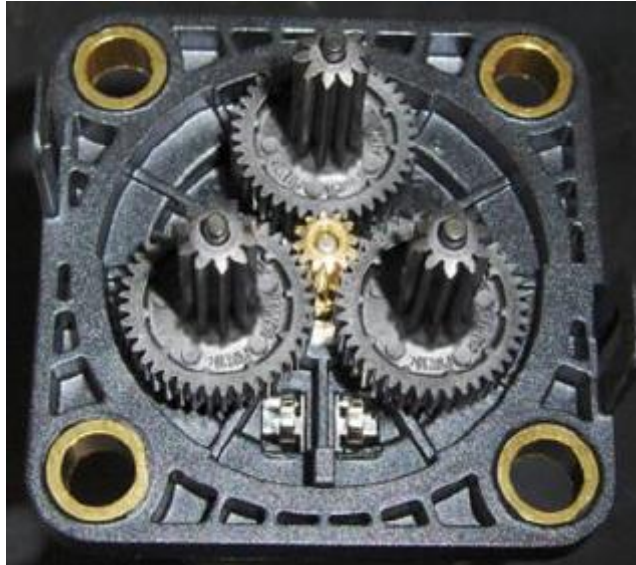


Figura 1.18 SG motore in aggiunta i satelliti

Il magnete è incollato sulla propria sede sull'albero di trasmissione e presenta un riferimento allineato alla camma per misurare lo spostamento angolare.

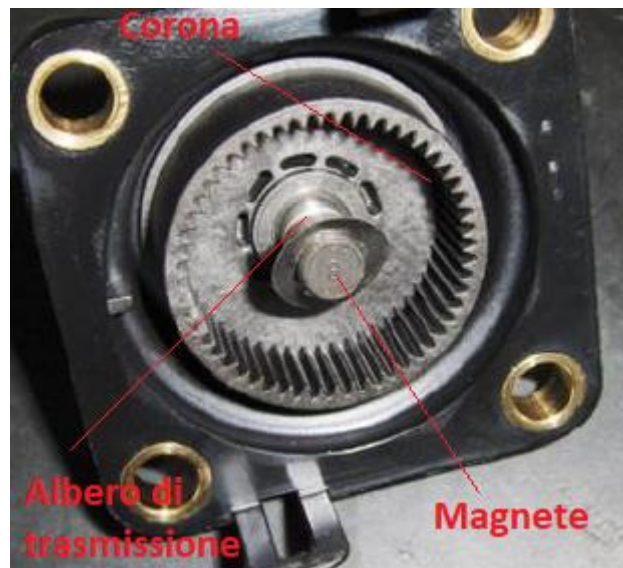


Figura 1.19 Foto SG trasmissione

Il sistema di trasformazione del movimento rotazionale a quello lineare dell'otturatore avviene per mezzo della camma con cuscinetto che ruota nella sede cuscinetto.

1. LA VALVOLA EGR

1.3 Valvola EGR con azionamento a motore DC



Figura 1.0.20 Foto Sg trasmissione

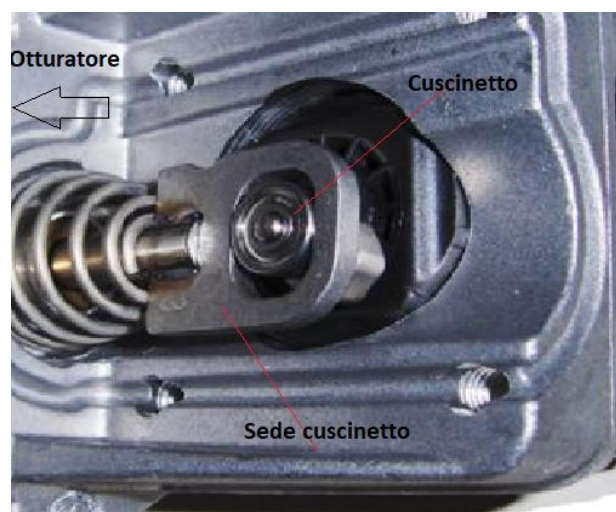


Figura 1.21 Accoppiamento SG trasmissione con SG otturatore

I sottogruppi, sopra descritti, compongono l'attuatore della valvola, composto quindi da una parte di azionamento vero e proprio (motore DC), da una parte di controllo e feedback (sensore) e da una parte di trasmissione e trasformazione del moto (ruote dentate e camma).

1. LA VALVOLA EGR

1.3 Valvola EGR con azionamento a motore DC

La funzione di trasferimento della valvola, rilevata tramite l'apposito banco prove, mette in relazione il duty-cycle al motore DC con l'apertura della valvola, quindi il movimento dello stelo.

Viene misurato anche il segnale di feedback del sensore.

Nel grafico seguente è possibile vedere una caratterizzazione della valvola:

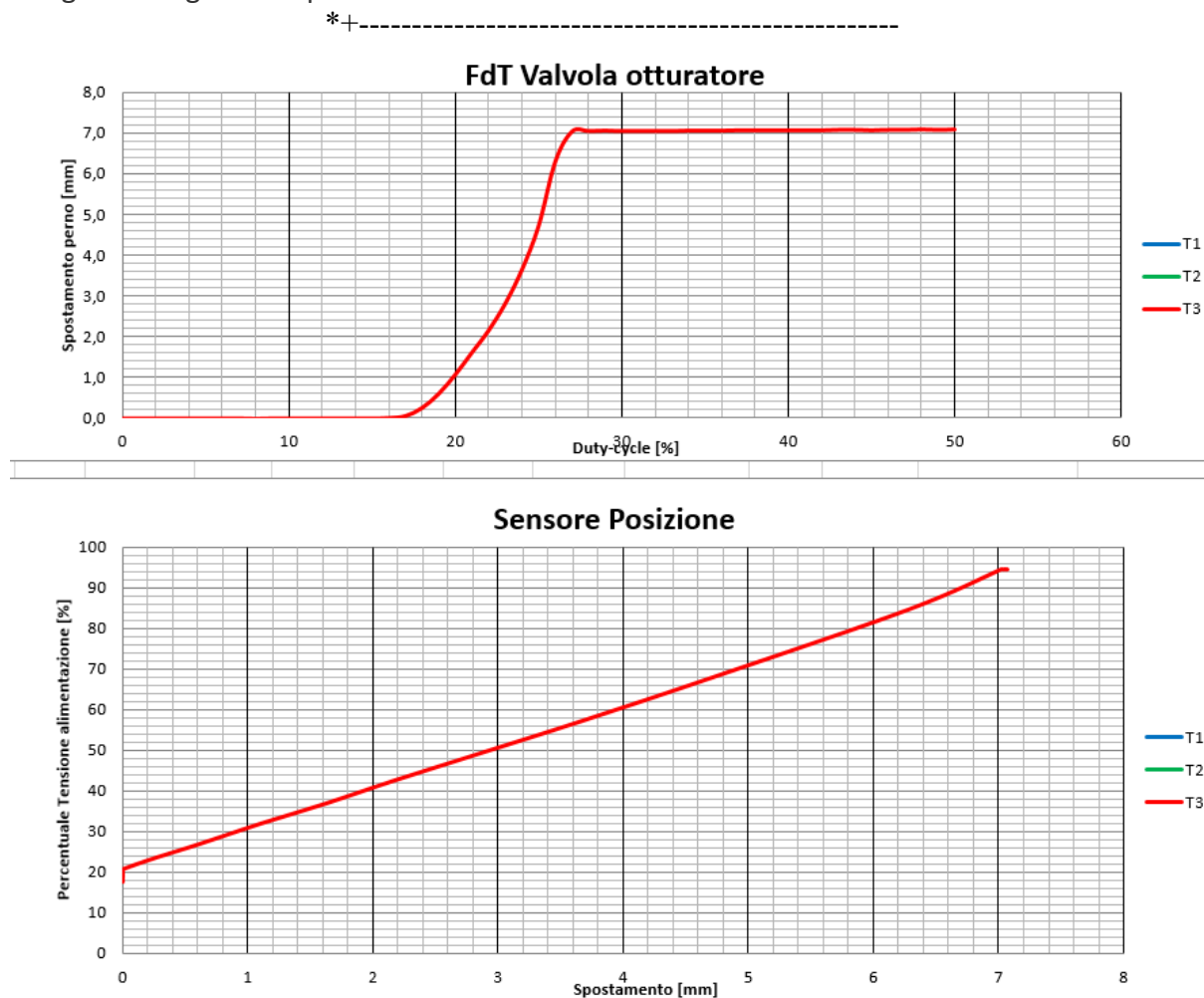


Figura 1.22 FDT e segnale sensore di posizione

1. LA VALVOLA EGR

1.3 Valvola EGR con azionamento a motore DC

Inoltre tramite il banco è possibile vedere l'andamento di apertura e chiusura in modo da definirne un tempo di risposta:

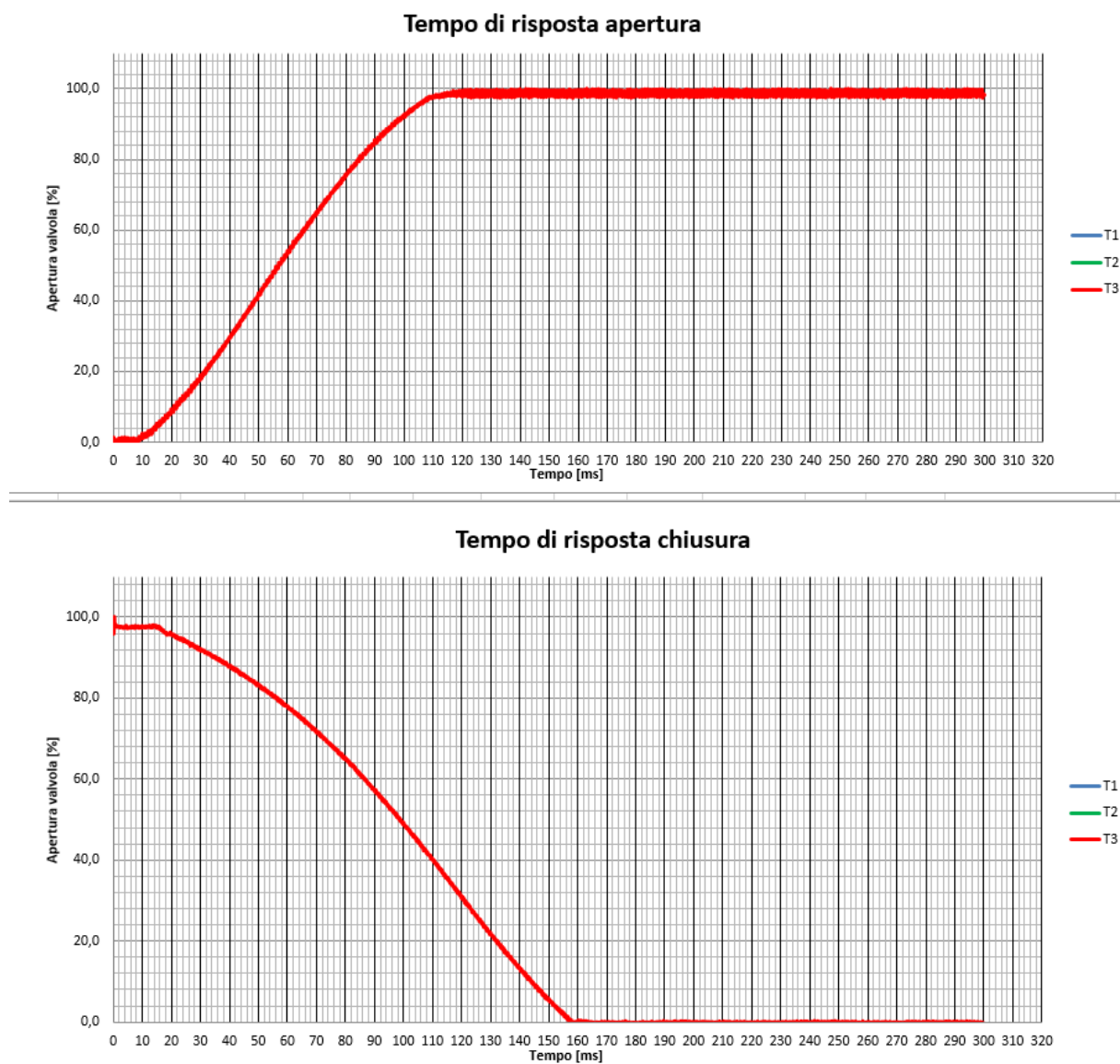


Figura 1.20.3 tempi di risposta

1.4 Motivi del ricambio EGR

Le motivazioni commerciali che hanno spinto la progettazione a realizzare la valvola a motore DC sono per la loro diffusione; rispetto alle altre tecnologie di attuazione descritte del capitolo 1.2, quelle a motore DC sono le più diffuse sui veicoli circolanti (circa il 60%).

Lo studio dei motivi tecnici del ricambio invece ci aiuta a capire le possibili failure mode da applicare al metodo descritto dei capitoli 2 e 3.

Purtroppo, il processo di ricircolo dei gas di scarico crea un eccesso di idrocarburi sotto forma di fuliggini che incrostano sia il sistema EGR, arrivando a volte anche ad ostruirlo completamente, sia il resto del motore. Il motore non funziona quindi come dovrebbe a causa dei gas incombusti che vi vengono nuovamente iniettati. La valvola EGR inizia a funzionare male quando si sporca, i depositi di carbonio (fuliggine) dei gas di scarico si depositano al suo interno, il che impedisce la mobilità dell'elettrovalvola o del disco della valvola o addirittura un blocco totale. Il sistema non funziona correttamente e la centralina del motore passa generalmente alla modalità abbassata, causando una chiara perdita di potenza dell'autovettura.

Quindi le infiltrazioni di fuliggine all'interno della valvola possono generare diversi scenari di danno che si possono suddividere in due casi:

- valvola aperta: le incrostazioni danneggiano l'otturatore o tengono parzialmente aperta la valvola anche quando dovrebbe essere completamente chiusa, quindi attraverso il condotto EGR passa più portata di gas di quanta ne viene richiesta dalla centralina verso l'aspirazione. Questo può causare:
 - Perdita di potenza
 - Spie motore
 - Valvola EGR incrostata
 - Valvola EGR intasata
 - Minimo irregolare
 - Fumi neri
 - Danneggiamento al sistema di aspirazione

- valvola chiusa: le particelle di fuliggine potrebbero danneggiare l'attuazione di natura elettrica della valvola se questa non è ben sigillata, quindi il motore DC potrebbe danneggiarsi e funzionare a intermittenza oppure rompersi. In questo caso la valvola rimarrebbe chiusa anche quando dovrebbe aprirsi; le conseguenze sono di minore gravità: il veicolo funziona normalmente, ma inquina e consuma di più.

1. LA VALVOLA EGR

1.4 Motivi del ricambio EGR

Pertanto una manutenzione periodica di pulizia dei collettori e della valvola stessa consentirebbe al sistema di funzionare senza subire danni permanenti che obbligherebbero la sostituzione della valvola.

Lo studio di dettaglio di funzioni, cause, effetti viene fatto attraverso il metodo FMEA descritto nei capitoli 2 e 3.

La gravità e i possibili fallimenti in fase di design del prodotto e di processo sono il fulcro del metodo FMEA, in fase preliminare sono stati analizzati solo gli effetti del danneggiamento al sistema EGR in modo da motivare la fattibilità del ricambio.

L'utilizzo della valvola resta obbligatoria sui recenti motori diesel dalle norme europee sulle emissioni, la valvola EGR riduce le emissioni di gas tossici nell'atmosfera.

2. DFMEA

2.1 Generalità

La FMEA (o Analisi dei modi e degli effetti dei guasti, dall'inglese Failure Mode and Effect Analysis) è una metodologia utilizzata per analizzare le modalità di guasto o di difetto di un processo, prodotto o sistema, analizzarne le cause e valutare quali sono gli effetti sull'intero sistema/impianto. Generalmente (ma non necessariamente) l'analisi è eseguita preventivamente e quindi si basa su considerazioni teoriche, non sperimentali e sull'esperienza pregressa accumulata in azienda.

Le prime applicazioni della FMEA si sono avute negli anni '60 nell'ambito delle missioni spaziali Apollo. Successivamente, dall'inizio degli anni '70, l'industria automobilistica americana, hanno iniziato ad applicare la FMEA al fine di prevenire difetti ed evitare campagne di richiamo. Negli anni '80 fu usata dalla Ford per ridurre i rischi visto che un modello di automobile, la Pinto, presentava un problema ripetitivo di rottura del serbatoio che causava incendi in caso di incidenti. Nel 1994 Chrysler, Ford e General Motors, sponsorizzate dalla USCAR (United States Council for Automotive Research), formalizzano una comune procedura per l'implementazione della FMEA.

Nel settore automotive la FMEA è una delle metodologie portanti del PPAP (Production Part Approval Process).

I vantaggi nell'applicazione della metodologia FMEA sono:

- 1– Individuare preventivamente i potenziali modi di guasto che possono verificarsi durante la produzione o in fase di progettazione del prodotto.
- 2– Determinare le cause dei modi di guasto riferite sia al processo di progettazione che di produzione o in fase di progettazione del prodotto.
- 3– Valutare gli effetti dei modi di guasto in ottica di soddisfacimento dei bisogni del cliente (esterno e/o interno).
- 4– Quantificare gli indici di rischio e stabilire le priorità di intervento per eliminare alla radice le cause dei modi di guasto individuati e/o migliorare i sistemi di controllo.
- 5– Identificare le opportune azioni correttive/preventive (a livello di progetto, produzione, utilizzo del prodotto).
- 6– Disporre di una mappatura sempre aggiornata delle parti/elementi del prodotto e delle loro criticità dal punto di vista della qualità nei confronti del cliente, dei relativi modi di guasto e delle fasi del processo dove intervenire per eliminare le cause dei modi di guasto e/o per migliorare i sistemi di controllo.
- 7– Documentare e storicizzare i miglioramenti attuati contribuendo alla costruzione di una «memoria tecnica». [1]

2. DFMEA

2.1 Generalità

Esistono due tipologie di applicazione della metodologia FMEA:

- **FMEA di progetto (D-FMEA)**: supporta la progettazione del prodotto e si propone di definire modifiche del progetto, da apportare prima di iniziarne la realizzazione, per eliminare o ridurre le possibili carenze dovute alle scelte progettuali effettuate (approccio preventivo).
- **FMEA di processo (P-FMEA)**: supporta lo sviluppo del processo di fabbricazione riducendo il rischio di guasti per mezzo della identificazione e valutazione di (approccio correttivo):
 - funzioni del processo e dei requisiti
 - modalità potenziali di guasto del prodotto e relative al processo, e gli effetti dei guasti potenziali sul processo e sui clienti
 - cause di fabbricazione o del processo di assemblaggio
 - variabili di processo su cui focalizzare i controlli di processo per ridurre la probabilità
 - aumentare la rilevabilità di condizioni di guasto e di stabilire le priorità per azioni preventive.

Le due analisi sono tra loro complementari e permettono di sintetizzare in modo sistematico le valutazioni operate dal progettista e dal tecnologo.

LE FASI APPLICATIVE DELLA FMEA

FASE PIANIFICAZIONE:

- Costituzione del gruppo di lavoro
- Perimetro di analisi (Boundaries diagram e interface matrix)
- Raccolta dati ed informazioni preliminari (Correlation matrix)

FASE QUALITATIVA: analisi dei modi di guasto (Risk matrix)

- Identificazione dei modi di guasto
- Identificazione della cause dei modi di guasto
- Identificazione effetti
- Valutazione dei controlli correnti

FASE QUANTITATIVA: definizione degli indici di rischio e priorità di intervento (Scale SOD)

- Valutazione Probabilità (O), Gravità (S) e Rilevabilità (D)
- Calcolo Indice di Priorità di Rischio (IPR)

FASE CORRETTIVA: definizione azioni raccomandate per ridurre il rischio (Azioni correttive)

- Interventi ed azioni raccomandate
- Stima impatto su Indice di priorità di rischio
- Responsabilità e tempistiche di attuazione

FASE DI VALUTAZIONE FINALE: follow up e definizione azioni successive

- Valutazione efficacia delle azioni raccomandate
- Aggiornamento FMEA e definizione passi successivi

Ogni fase genera degli output utilizzati come input per la fase successiva.

Gli output della intera analisi, e la loro provenienza, saranno descritti nel capitolo 4.

2. DFMEA

2.1 Generalità

Nello schema seguente 2.1 è possibile vedere la tipologia di rischi presi in considerazione nell'analisi.

Schema tratto dall'handbook[3]

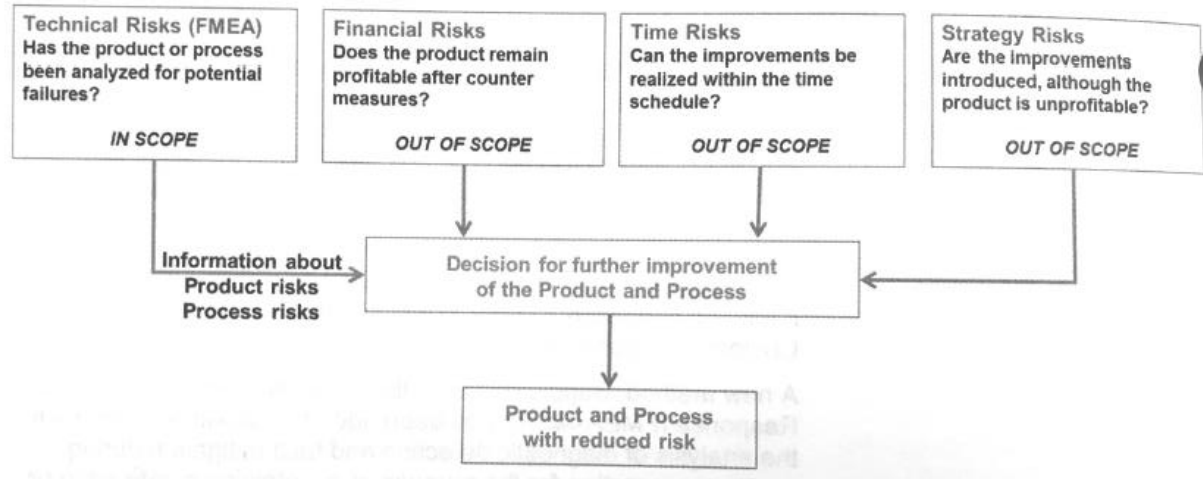


Figura 2.1 Aspetto rischi FMEA Handbook

I tempi nei quali l'analisi FMEA dovrebbe essere svolta dal team sono specificate dalla tabella in figura 2.2 tratta dall'handbook [3]

Advanced Product Quality Planning (APQP) Phases	Plan and Define Program	Product Design and Development Verification	Process Design and Development Verification	Product and Production Validation	Feedback Assessment and Corrective Action
DFMEA	Start FMEA planning in concept phase before product development begins Information flow from DFMEA to PFMEA	Start DFMEA when the design concept is well understood	Complete DFMEA analysis prior to release of design specifications for quotation	Complete DFMEA actions prior to start of production tooling	Start again with DFMEA and PFMEA planning if there are changes to an existing design or process
PFMEA	The DFMEA and PFMEA should be executed during the same time period to allow optimization of both the product and process designs	Start PFMEA when production concept is well understood	Complete PFMEA analysis prior to final process decisions	Complete PFMEA actions prior to PPAP/PPA	

Figura2.2 Tempi e fasi FMEA

I documenti generati dalla FMEA quindi accompagnano la progettazione del prodotto e del processo guidandola e aiutandola al minimizzare i rischi di fallimento; i documenti vengono tenuti "vivi" nel corso della progettazione ed entrano a far parte dei documenti di qualità del prodotto.

2. DFMEA

2.1 Generalità

DFMEA è definita come il modo in cui un prodotto potrebbe potenzialmente mancare di rispondere alla funzione desiderata.

Secondo l'organizzazione aziendale Facet per rispondere alle domande preliminari della DFMEA: Why, When, Who; si schematizza nella tabella seguente gli enti di competenza interni:

	WHY		WHEN			WHO
	Help design	Evidence	PLAN and DEFINE	DURING DEVELOPMENT	AFTER DEVELOPMENT	
Block Diagram OR Interaction Matrix	Y	Y	Y	N	N	ENG in autonomia redige;
Correlation Matrix	Y	N	Y	Y	N	ENG in autonomia redige; richiesta condivisione con HSEQ;
DFMEA	Y	Y	Y	Y	Y	ENG in autonomia redige FM, FC, FE; S.O.D. possono essere poposte da ENG, ma serve condivisione HSEQ;

Figura2.3 enti Facet

ENG: (ingegneria) responsabile della D/P FMEA e della sua applicazione.
HSEQ: (qualità) responsabile del metodo e della sua diffusione.

Identificare la/e **modalità potenziale di guasto** associata/e con il requisito della funzione, le modalità potenziali di guasto devono essere definite in termini tecnici.

Ogni funzione può avere molteplici modalità di guasto. Un grande numero di modalità di guasto individuato per una singola funzione può indicare che il requisito non è ben definito.

Si presume che il guasto si possa verificare, ma può non necessariamente verificarsi per questo si utilizza il termine "potenziale".

Le potenziali modalità di guasto che possono verificarsi solo in certe condizioni di funzionamento (es. caldo, freddo, secco, umido, polvere....) e a certe condizioni di utilizzo (percorrenza kilometrica sopra la media, terreno sconnesso, esclusivo utilizzo in città,), dovrebbero essere considerate.

2. DFMEA

2.1 Generalità

Gli effetti dovrebbero essere sempre stabiliti in termini di uno specifico, sistema, sottosistema o componente da analizzare, ricordare che esiste una relazione gerarchica tra componente, sottogruppo e prodotto finito.

Per esempio un particolare potrebbe incrinarsi e potrebbe creare una vibrazione sul sottogruppo assemblato, causare una vibrazione che comporta un funzionamento intermittente del sistema, che a sua volta potrebbe causare una degradazione della prestazione e infine portare alla insoddisfazione del cliente.

La finalità è di prevedere gli effetti del guasto potenziale al livello di conoscenza del gruppo di lavoro. Gli effetti tipici di guasto dovrebbero essere stabiliti in termini di prestazioni del prodotto o sistema.

La gravità è un valore associato agli effetti più gravi di una data modalità di guasto.

La gravità è una scala relativa nell'ambito della singola FMEA e i componenti del team (di provenienza multifunzionale per esempio da ufficio tecnico, qualità e reclami), devono concordare per ogni linea di prodotto i criteri di valutazione e di un sistema di punteggio e applicarli regolarmente, anche se modificati per l'analisi di singoli processi.

I controlli sulla progettazione sono quelle attività, condotte come parte del processo di progettazione che è stato completato o dedicato, che assicureranno l'adeguatezza del progetto ai requisiti funzionali e di affidabilità del progetto presi in considerazione.

Ci sono due tipi di controlli di progetto da considerare:

- Prevenzione: eliminare la probabilità della causa del meccanismo di guasto o della modalità di guasto, o ridurne la percentuale di probabilità.
 1. Studi di comparazione delle prestazioni
 2. Progetti esenti da guasti
 3. Standard di materiali e progetto (interni ed esterni)
 4. Documentazione – registrazioni delle migliori pratiche, lezioni apprese ecc da progetti simili
 5. Studi di simulazione – analisi di concetti per stabilire i requisiti di progetto
 6. A prova di errore
- Rilevazione: identificare l'esistenza di una causa, il risultante meccanismo di guasto o la modalità di guasto, sia con metodi analitici che fisici, prima che il prodotto sia messo in produzione.
 1. Revisioni di progetto
 2. Prove sui prototipi
 3. Test di validazione
 4. Studi di simulazione – validazione di progetto
 5. DOE Progettazione di esperimenti, incluse le verifiche di affidabilità

L'approccio preferito è quello di utilizzare prima i controlli preventivi, se possibile. La classificazione iniziale delle evenienze sarà influenzata dai controlli preventivi, a condizione che essi siano integrati come parte dell'intento del progetto.

Il controllo di rilevazione dovrebbe includere l'identificazione di quelle attività che rilevano la modalità di guasto così come quelle che rilevano la causa.

2. DFMEA

2.1 Generalità

La rilevabilità è il grado associato con il miglior controllo di rilevabilità.

Un approccio suggerito alla rilevabilità dei controlli del progetto è considerare il guasto come avvenuto e poi stabilire la capacità dei controlli del progetto di rilevare questa modalità di guasto.

Non presumere automaticamente che il grado di rilevabilità sia basso perché la probabilità che accada è bassa. È importante stabilire la capacità dei controlli di progetto di individuare modalità di guasto a bassa frequenza o ridurre il rischio che si propaghino nel processo di lancio del progetto.

Le azioni da intraprendere successivamente all'analisi e la loro priorità, postano alla fase successiva di identificazione di queste azioni che dovrebbero considerare la riduzione dei valori nel seguente ordine: gravità, probabilità, rilevabilità.

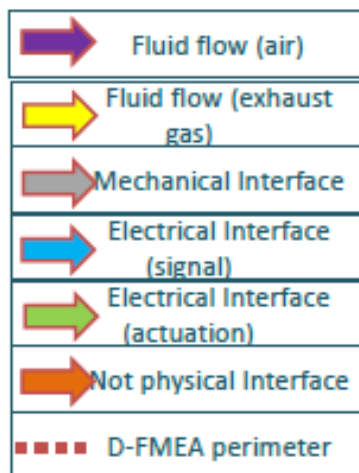
La FMEA può essere poi ripetuta a seguito delle azioni migliorative, per verificare se i valori sono diminuiti.

2.2 Diagramma a blocchi

L'analisi imposta come punto di partenza, tramite un diagramma a blocchi, la definizione del perimetro fmea e delle interfacce verso l'esterno del perimetro, il suo utilizzo consiste nello

- stabilire quali processi analizzare e quali interfacce
- raccogliere tutte le informazioni necessarie relative ai processi, nel dettaglio utile all'analisi da eseguire
- analizzare gli indicatori dei processi

Le interfacce possono classificarsi come segue:



Il diagramma aiuta a comprendere le interazioni con l'esterno in modo da poterne definire una funzione nella correlation matrix, e poterne analizzare le potenziali modalità di guasto nella risk matrix, evitando così l'interruzione di un flusso o interazione funzionale della valvola.

Nella figura 2.4 è illustrato lo schema a blocchi della valvola EGR in analisi, all'interno del vano motore:

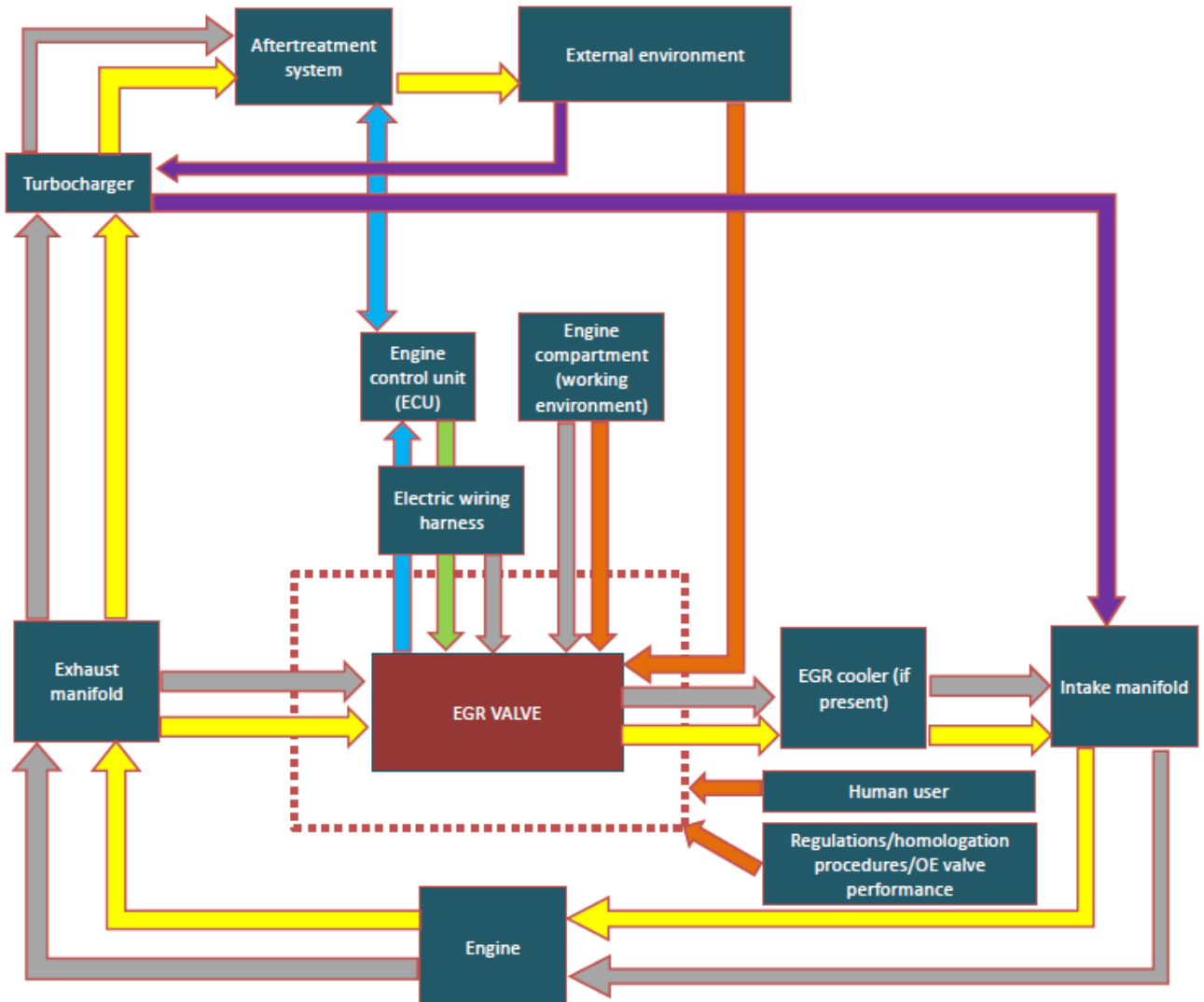


Figura2.4 Diagramma a blocchi

2. DFMEA

2.3 Matrice delle interfacce

2.3 Matrice delle interfacce

In alternativa al diagramma a blocchi si può costruire una matrice delle interfacce che mette in risalto in modo più dettagliato le interazioni.

Rispetto al diagramma a blocchi risulta un metodo più completo per l'analisi preliminare della valvola, indica:

- interfacce esterne
- interfacce interne (tra i singoli componenti)
- tipologia di flusso
- componenti e loro funzione

In particolare, mette in evidenza la funzionalità dei singoli componenti, quindi aiuta a capire se un componente è indispensabile alla valvola oppure si può escludere in progetto o eventualmente si necessita di inserirne ulteriori.

Grazie a questo, e poi con un maggiore riscontro nella matrice delle correlazioni nel capitolo 2.4, è stato possibile escludere dal progetto l'utilizzo della rondella e boccia in plastica in quanto risultavano senza una vera e propria funzione indispensabile alla valvola.

Nella figura 2.5 è possibile vedere un estratto della matrice delle interfacce in modo da comprenderne la struttura; la matrice completa è visibile negli allegati in appendice.

P Physically touching
E Energy flow
I Information exchange
M Material exchange

		C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
		O-ring 37x1,5	Lid	DC motor (including pinion gear)	Motor support	Anti-friction bushing	Motor terminal left	Motor terminal right	3x Rod	12x Screw bushings	Torx screw	O-ring 42x1,5	Plastic bushing	Electronic circuit	Circuit support	Terminal A	Terminal B
C01	O-ring 37x1,5		P		P												
C02	Lid	P		P	P												
C03	DC motor (including pinion gear)		P		P		P,E	P,E									
C04	Motor support	P	P	P			P	P	P	P	P	P			P		
C05	Anti-friction bushing																
C06	Motor terminal left			P,E	P												P,E
C07	Motor terminal right			P,E	P												P,E
C08	3x Rod				P										P		

Figura 2.5 Estratto matrice interfacce

Lo svantaggio rispetto al diagramma a blocchi è l'elevato livello di dettaglio che risulta poco schematico e visivamente meno efficace.

2.4 Matrice delle correlazioni

La matrice delle correlazioni utilizza come input le interfacce tra i componenti e verso l'esterno, provenienti dal diagramma a blocchi e dalla matrice delle interfacce, ed elabora le funzioni della valvola assegnandole alle interfacce esterne e a quelle interne (componenti).

Le interfacce possibili:

P: fisica (saldato, incollato, accoppiato ecc)

E: trasmissione di energia (coppia, forza, calore ecc)

I: trasmissione di informazioni (ECU, sensori, segnale ecc)

M: flusso di materiale (aria, gas esausti ecc)

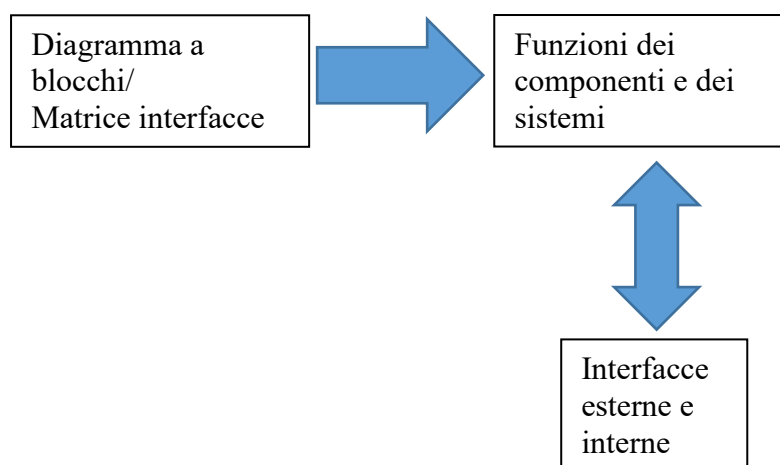


Figura 2.6 Flusso costruzione correlazioni

Lo schema 2.6 mette in relazione l'analisi della struttura con l'analisi delle funzioni, fatta attraverso la matrice delle correlazioni.

Per l'analisi delle funzioni è necessario seguire una struttura a livelli, tramite la quale si stabilisce un livello superiore (funzioni principali) e via via scendendo verso livelli con funzioni elementari imputabili direttamente ai componenti:

1. Funzioni principali: lo scopo dell'analisi
2. Funzioni intermedie: lo scopo del sottosistema
3. Funzioni elementari: lo scopo del singolo componente

Le funzioni principali individuate per la valvola oggetto di studio:

1. regolare la portata di gas esausto in determinate condizioni e secondo il comando della ECU
2. rispettare il budget iniziale
3. rispettare i brevetti in corso

Oltre alla principale funzione tecnica, in quanto aftermarket, le ultime due funzioni vengono indicate in fase di fmea in quanto funzioni principali per la progettazione di un ricambio.

La funzione principale 1. Viene a sua volta suddivisa in **funzioni intermedie**:

- A. rispondere all'input del ECU con la rotazione del motore DC
- B. Comunicare alla ECU la posizione
- C. Trasformare il moto da rotatorio a lineare
- D. Permettere apertura e chiusura della valvola
- E. Essere compatibile con l'ambiente esterno
- F. Rispondere alla stessa apertura dell'originale allo stesso segnale del ECU
- G. Fissare la valvola nella sede del vano motore
- H. Evitare perdite di gas nell'ambiente
- I. Rispettare criteri di durata
- J. Essere compatibile con reach regulations [1]
- K. Essere confezionato adeguatamente

Alcune funzioni intermedie a loro volta vengono suddivise in **funzioni elementari**: direttamente imputabili ai componenti e utilizzate per la risk matrix:

- A. rispondere all'input del ECU con la rotazione del motore DC
 - sigillare da ambiente esterno
 - ricevere il segnale
 - trasformare il segnale elettrico in una rotazione meccanica del motore DC
- B. Comunicare alla ECU la posizione
 - Trasformare la posizione in un feedback (0-5 V) per ECU
 - Comunicare il segnale alla ECU
- C. Trasformare il moto da rotatorio a lineare
- D. Permettere apertura e chiusura della valvola
 - Chiusura automatica quando il motore DC non è attuato
 - Evitare perdite di gas verso l'esterno a valvola chiusa
- E. Essere compatibile con l'ambiente esterno
 - Resistere alla umidità
 - Essere chimicamente compatibile con olio motore, freni e trasmissione
 - Essere chimicamente compatibile con gli idrocarburi
 - Resistere alla corrosione
 - Essere chimicamente compatibile con gas esausti
 - Essere compatibile con possibili campi elettro-magnetici esterni

[1] Il REACH è un regolamento dell'Unione europea, adottato per migliorare la protezione della salute umana e dell'ambiente dai rischi che possono derivare dalle sostanze chimiche.

- F. Rispondere alla stessa apertura dell'originale allo stesso segnale del ECU
- G. Fissare la valvola nella sede del vano motore
 - Non interferire con le altre parti del vano motore ed essere montabile e rimovibile
 - Restare in posizione
- H. Evitare perdite di gas nell'ambiente (interfaccia tra valvola e collettori)
- I. Rispettare criteri di durata
 - Resistere a shock meccanici e vibrazioni
 - Resistere a shock termici
- J. Essere compatibile con reach regulations
- K. Essere confezionato adeguatamente
 - Immagazzinabile dal cliente
 - Resistere alle cadute

Per la definizione delle funzioni intermedie ed elementari è necessaria una conoscenza approfondita del prodotto che si vuole realizzare, la stesura di questa analisi aiuta a comprendere cosa serve e cosa no per la sua realizzazione.

Una volta definite le funzioni elementari è possibile, tramite la matrice, assegnare al componente le funzioni che devono rispettare; un componente può avere più di una funzione.

2. DFMEA

2.4 Matrice delle correlazioni

Di seguito vengono richiamate le funzioni elementari:

- sigillare da ambiente esterno
- ricevere il segnale
- trasformare il segnale elettrico in una rotazione meccanica del motore DC
- Trasformare la posizione in un feedback (0-5 V) per ECU
- Comunicare il segnale alla ECU
- Trasformare il moto da rotatorio a lineare
- Chiusura automatica quando il motore DC non è attuato
- Evitare perdite di gas verso l'esterno a valvola chiusa
- Resistere alla umidità
- Essere chimicamente compatibile con olio motore, freni e trasmissione
- Essere chimicamente compatibile con gli idrocarburi
- Resistere alla corrosione
- Essere chimicamente compatibile con gas esausti
- Essere compatibile con possibili campi elettro-magnetici esterni
- Rispondere alla stessa apertura dell'originale allo stesso segnale del ECU
- Non interferire con le altre parti del vano motore ed essere montabile e rimovibile
- Restare in posizione
- Evitare perdite di gas nell'ambiente (interfaccia tra valvola e collettori)
- Resistere a shock meccanici e vibrazioni
- Resistere a shock termici
- Essere compatibile con reach regulations
- Immagazzinabile dal cliente
- Resistere alle cadute
- Rispettare budget iniziale
- Rispettare brevetti in corso

Nella figura 2.7 viene riportato un estratto della matrice delle correlazioni a titolo esemplificativo:

FUNCTIONAL BREAKDOWN				C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	C12	C13	C14
	Main Function	Intermediate Function	Elementary Function	O-ring 37x1,5	Lid	DC motor (including pinion gear)	Motor support	Anti-friction bushing	Motor terminal left	Motor terminal right	Rod	Screw bushings	Torx screw	O-ring 42x1,5	Plastic bushing	Electronic circuit	Circuit support
1		Respond to ECU input by turning motor	Seal from external environment	v	v		v					v	v	v			v
2			Receive the signal			v	v		v	v							v
3			Trasform elettricel signal into mechanical rotation on EGR valve		v	v	v										
4		Communicate motor position to ECU	Trasform position into feedback (voltage 0.5V) signal for ECU.													v	v
5			Communicate signal to ECU													v	v

Figura2.7 Estratto matrice correlazione

La matrice completa è possibile vederla negli allegati dell'appendice.

Tramite la matrice delle correlazioni si può notare, come anticipato nel capitolo precedente, che la boccola di plastica e la rondella non sono indispensabili a una funzione principale quindi vengono escluse dalla analisi e dal progetto.

2.5 Matrice dei rischi

La matrice dei rischi viene utilizzata come strumento principale dell'analisi, sono riassunte:

- analisi strutturale
- analisi funzionale
- analisi dei fallimenti
- prevenzione e rilevazione
- SOD e azioni di ottimizzazione

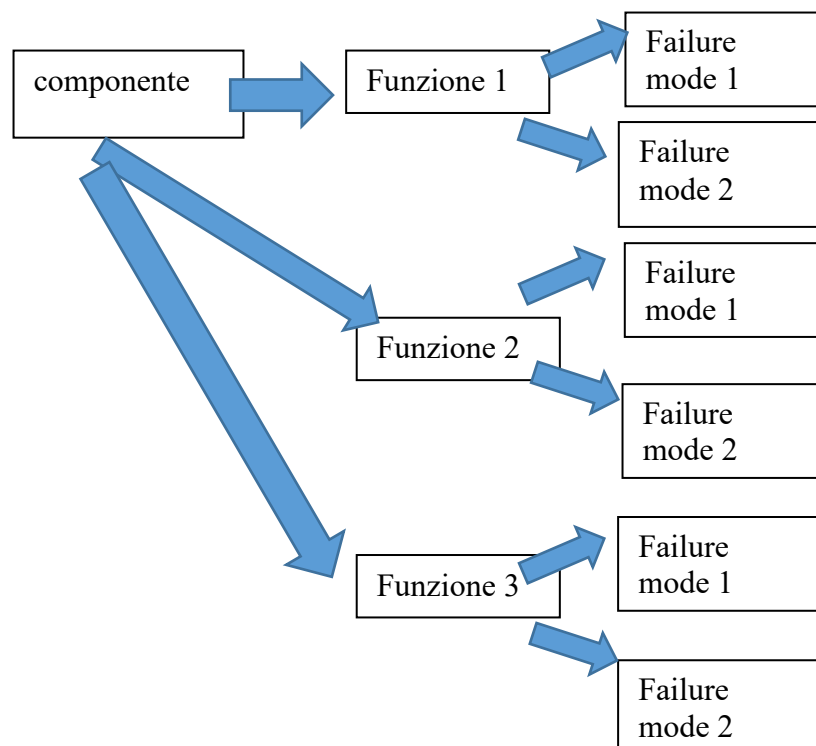
Si estrae dalla matrice di correlazione l'elenco dei componenti (analisi strutturale) con le proprie funzioni (analisi funzionale), si definiscono le potenziali modalità di guasto di ognuno (analisi dei fallimenti) e si stabiliscono metodi di prevenzione e controllo.

L'ultimo punto su SOD e azioni di ottimizzazione vengono trattate nel capitolo successivo 2.6.

L'analisi strutturale, proveniente dalla matrice delle interfacce, assieme alla analisi funzionale, dalla matrice di correlazione, sono gli input per la costruzione dell'analisi dei fallimenti.

Un componente può avere più funzioni e queste funzioni possono venire meno per diverse modalità di guasto.

Di seguito è riportato uno schema a titolo di esempio:



Di ognuna delle failure mode individuate segue un flusso che porta alla definizione di diverse azioni in modo da evitare il presentarsi o rilevare il guasto.

La catena modello dell'analisi dei fallimenti consiste nell'individuare seguendo l'ordine numerato:

1. FM (failure mode): modalità di rottura del prodotto causata dal componente in oggetto con attenzione sul prodotto (in questo caso sulla valvola)
2. FE (failure effect): conseguenze della rottura del prodotto, effetto direttamente visibile dal cliente
3. FC (failure cause): perché si presenta il guasto, caratteristica a disegno da controllare

Le frasi utilizzate per questa struttura devono contenere informazioni tecniche e specifiche, non devono essere frasi ambigue che possono subire diverse interpretazioni in base al lettore.

Successivamente alla analisi dei rischi si attuano azioni di prevenzione e controllo:

4. Controllo di prevenzione: anticipare il guasto
5. Controllo di rilevazione: rilevare il guasto se presente

Nello schema seguente in figura 2.8 viene riportata la “tabella di marcia” da seguire per il punto 4. e 5. secondo handbook [3].

È possibile vedere quando si collocano questi punti in una linea temporale dove al punto 100% il design del prodotto è stato definito e non subirà variazioni, dopo tale istante sarà possibile esclusivamente rilevare il guasto.

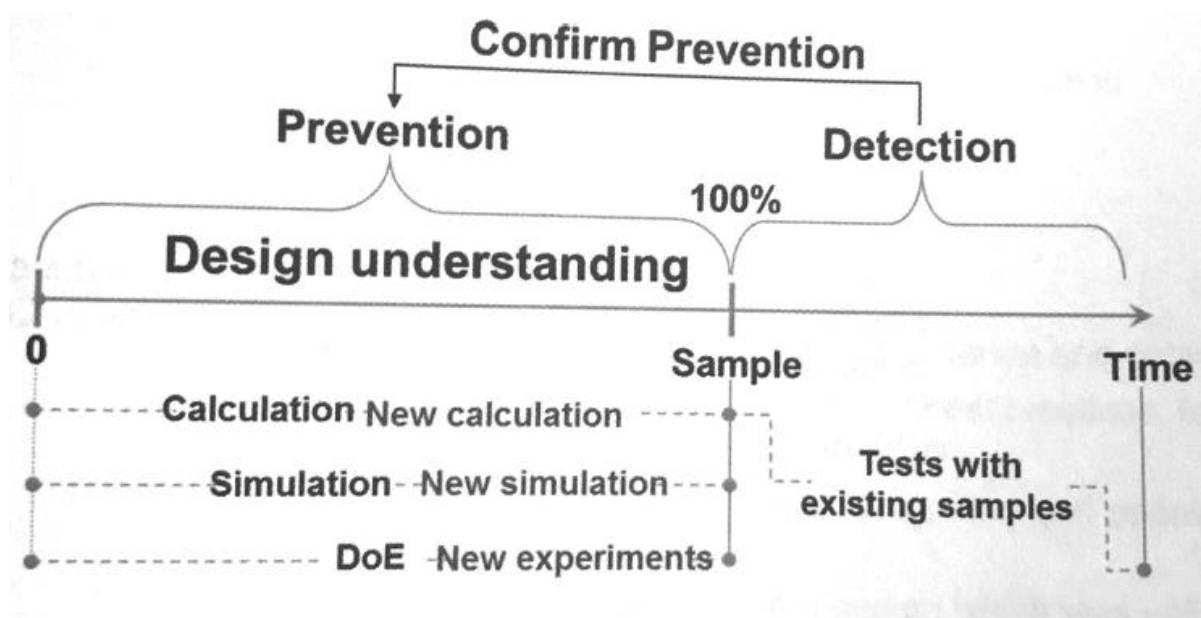


Figura 2.8 prevenzione e rilevazione

Queste ultime due colonne descritte saranno quindi gli output principali della DFMEA. L'insieme di tutte le righe sulla colonna della prevenzione saranno le caratteristiche da specificare a disegno, mentre quelle sulla rilevazione costituiranno il piano di validazione del prodotto finito, quindi le caratteristiche da controllare per considerare il prodotto validato. Questo è riassumibile in figura 2.9.

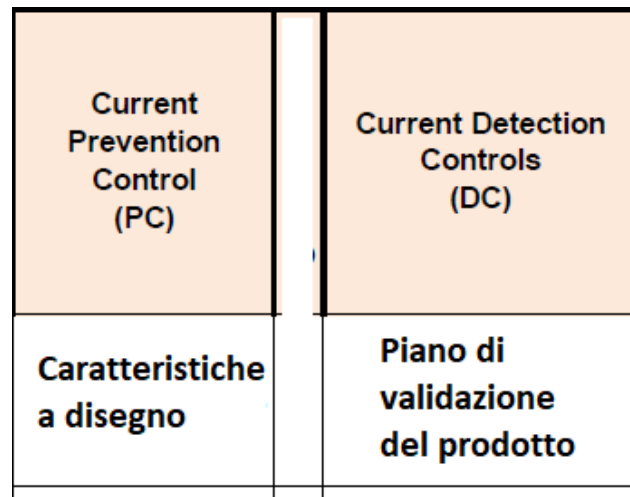


Figura 2.9 output DFMEA

Tornando al caso studio della valvola EGR a motore DC quindi è possibile portare avanti l'analisi descritta sopra per ogni componente che risulta avere una funzione nella valvola.

Per semplicità di lettura verranno descritte le caratteristiche comuni a diversi componenti e successivamente si entrerà nel merito del singolo componente e delle modalità di guasto che lo caratterizzano. La versione completa di questa analisi è possibile visionarla sulla DFMEA presente nell'appendice.

Caratteristiche comuni: nella tabella seguente vengono riassunte le caratteristiche comuni, cioè quelle di carattere generale che devono essere prese in considerazione durante l'analisi dei rischi ma non contengono vere e proprie informazioni tecniche specifiche; riferite a più componenti con le rispettive FM, FE, FC, PC e DC:

<u>funzione</u>	<u>componenti</u>	<u>FM</u>	<u>FE</u>	<u>FC</u>	<u>PC</u>	<u>DC</u>
<i>Compatibilità con reach regulations</i>	<i>Tutti i componenti</i>	<i>Non compatibili con i regolamenti reach</i>	<i>La valvola non è vendibile</i>	<i>I certificati reach non sono stati richiesti ai fornitori</i>	<i>Richiedere i certificati a ogni fornitore</i>	-
<i>Immagazzinabile dal cliente</i>	<i>Valvola confezionata</i>	<i>La valvola non può essere immagazzinata</i>	<i>Possibile reclamo</i>	<i>Confezione troppo grande</i>	<i>Dimensioni della confezione in accordo con il cliente</i>	-
<i>Resistere alle cadute</i>	<i>Valvola confezionata</i>	<i>La valvola si rompe</i>	<i>Possibile reclamo per valvola rotta</i>	<i>Materiale della confezione o rivestimenti interni non sono sufficienti</i>	<i>Adottare rivestimenti interni</i>	<i>Test di caduta libera</i>
<i>Rispettare budget iniziale</i>	<i>Tutti i componenti</i>	<i>Strategie make or buy</i>	<i>Aumento di costi senza valore aggiunto</i>	<i>Analisi dei costi incompleta</i>	<i>Considerare diversi scenari di costo</i>	-
<i>Rispettare brevetti in corso</i>	<i>Tutti i componenti</i>	<i>Infrangere brevetti</i>	<i>La valvola non è vendibile</i>	<i>Infrangere brevetti</i>	<i>Analisi brevetti</i>	-
<i>Resistere a shock meccanici e vibrazioni</i>	<i>Tutti i componenti</i>	<i>Diverse modalità: -rottura del componente -smontaggio</i>	<i>Dipende dal componente (vedi caratteristiche specifiche)</i>	<i>Rottura del componente</i>	<i>Design compatibile e con tolleranze in funzione degli accoppiamenti</i>	<i>-test di vibrazioni per tutti -test di durata per le parti mobili</i>
<i>Resistere a shock termici</i>	<i>Tutti i componenti</i>	<i>Rottura o rammollimento del componente</i>	<i>Dipende dal componente (vedi caratteristiche specifiche)</i>	<i>Materiale non adatto</i>	<i>Analisi materiali</i>	<i>Test caldo-umido</i>
<i>Resistere alla umidità</i>	<i>Componenti metallici</i>	<i>Umidità entra in contatto con componenti elettronici</i>	<i>Dipende dal componente (vedi caratteristiche specifiche)</i>	<i>Materiale non adatto</i>	<i>Analisi materiali</i>	<i>Test caldo-umido</i>
<i>Resistere a olii motore, olio freni e trasmissione</i>	<i>Componenti esterni alla valvola</i>	<i>Rottura o rammollimento del componente</i>	<i>Dipende dal componente (vedi caratteristiche specifiche)</i>	<i>Materiale non adatto</i>	<i>Analisi materiali</i>	<i>Test chimici specifici</i>

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi

<i>Compatibile con idrocarburi</i>	<i>Componenti esterni alla valvola</i>	<i>Rottura del componente e/o in contatto con componenti elettronici</i>	<i>Dipende dal componente (vedi caratteristiche specifiche)</i>	<i>Materiale non adatto</i>	<i>Analisi materiali</i>	<i>Test chimici specifici</i>
<i>Resistenza a corrosione</i>	<i>Componenti metallici ed elettronici</i>	<i>Rottura o arrugginimento del componente</i>	<i>Dipende dal componente (vedi caratteristiche specifiche)</i>	<i>Materiale non adatto</i>	<i>Analisi materiali</i>	<i>Test corrosione salina</i>
<i>Compatibile con gas esausti</i>	<i>Componenti nel sg otturatore a contatto con i collettori</i>	<i>Rottura del componente e/o in contatto con componenti elettronici</i>	<i>Dipende dal componente (vedi caratteristiche specifiche)</i>	<i>Materiale non adatto</i>	<i>Analisi materiali</i>	<i>Test chimici specifici</i>
<i>Non interferire con altre parti del vano motore ed essere montabile e smontabile</i>	<i>Componenti esterni della valvola</i>	<i>Superfici esterne interferiscono con altre parti della vettura</i>	<i>Reclamo, la valvola non è montabile</i>	<i>Componente troppo grande</i>	<i>Dimensioni e tolleranze in accordo con l'originale</i>	<i>Test su vettura</i>

Tabella 2.1 risk matrix comuni

Caratteristiche specifiche: nella tabella seguente, analoga alla 2.1, vengono riportate le caratteristiche specifiche di carattere tecnico per componente.

Per una più semplice comprensione nelle figure 2.10, 2.11 viene riportato un esploso della valvola in modo da assegnare il componente specifico descritto nella tabella 2.2.

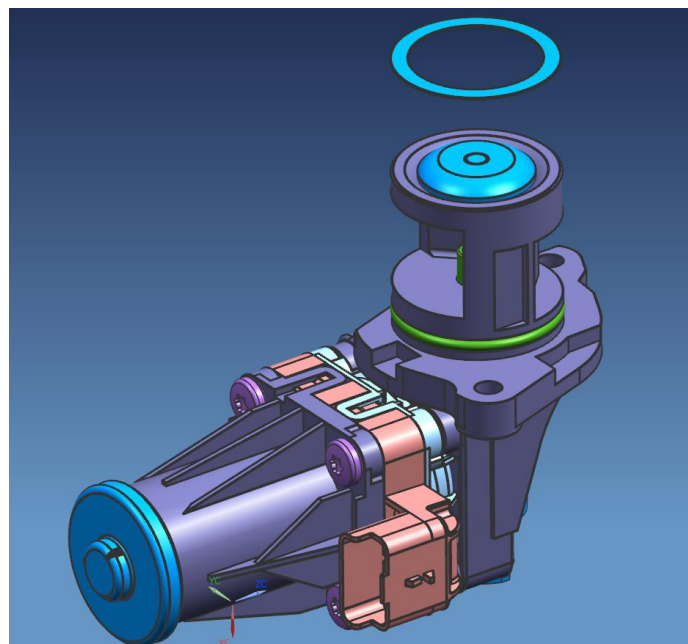


Figura 2.10 modello.EGR completa

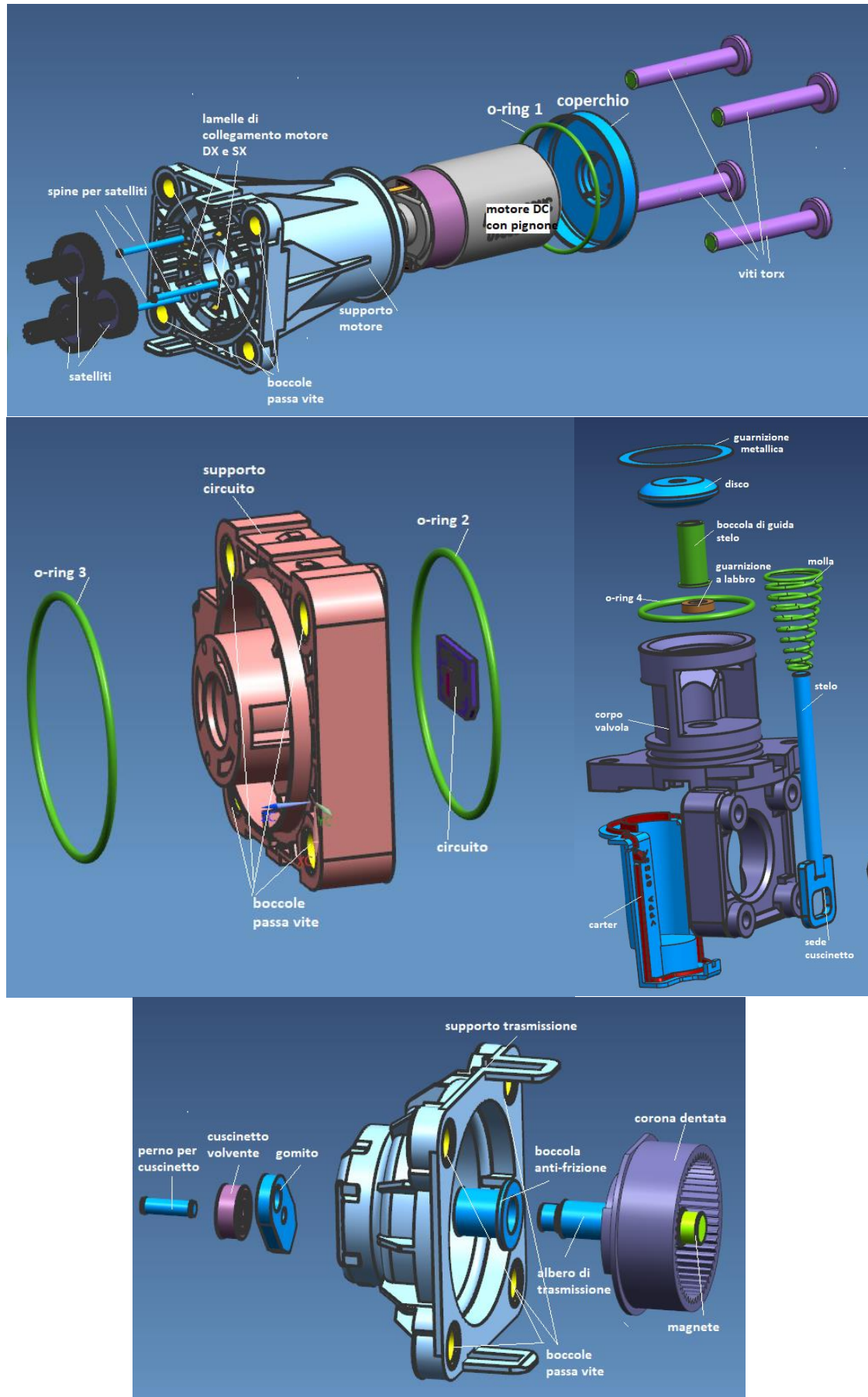


Figura 2.11 modello 3D esploso valvola

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



Componente	funzione	FM	FE	FC	PC	DC
<i>o-ring 1</i>	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	<i>L'umidità entra in contatto con il motore DC</i>	<i>Spia motore perché il motore DC non funziona</i>	<i>o-ring troppo sottile</i>	<i>Caratteristica importante a disegno</i>	<i>Test caldo-umido</i>
<i>coperchio</i>	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	<i>L'umidità entra in contatto con il motore DC</i>	<i>Spia motore perché il motore DC non funziona</i>	<i>Bordo troppo largo o alto</i>	<i>Caratteristica importante a disegno</i>	<i>Test caldo-umido</i>
<i>coperchio</i>	<i>Trasformare segnale elettrico in rotazione motore DC</i>	<i>Motore DC non assicurato assialmente</i>	<i>Possibile disaccoppiamento tra pignone e satelliti</i>	<i>Gola sul coperchio troppo grande</i>	<i>Caratteristica compatibile con il motore DC</i>	<i>Test sul sg motore in movimento</i>
<i>Motore DC con pignone</i>	<i>Ricevere il segnale</i>	<i>Motore DC non attuato</i>	<i>Spia motore perché il motore DC non funziona</i>	<i>Avvolgimento interno del motore interrotto</i>	<i>Test di durata</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>Motore DC con pignone</i>	<i>Ricevere il segnale</i>	<i>Motore DC in corto circuito</i>	<i>Spia motore perché il motore DC non funziona</i>	<i>Impurità bloccano il traferro, definire il grado di pulizia</i>	<i>Test di durata</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>Motore DC con pignone</i>	<i>Trasformare il segnale elettrico dell'ECU in segnale rotazione pignone</i>	<i>Motore DC meccanicamente bloccato</i>	<i>Spia motore perché il feedback non rileva la rotazione</i>	<i>Traferro chiuso</i>	<i>Test di durata</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>Motore DC con pignone</i>	<i>Trasformare il segnale elettrico dell'ECU in segnale rotazione pignone</i>	<i>Motore DC non trasforma il moto</i>	<i>Spia motore perché il feedback non rileva la rotazione</i>	<i>Denti del pignone rotti</i>	<i>Test di durata</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>Motore DC con pignone</i>	<i>Trasformare il segnale elettrico dell'ECU in segnale rotazione pignone</i>	<i>Motore DC non trasforma il moto</i>	<i>Spia motore perché il feedback non rileva la rotazione</i>	<i>Cuscinetto interno al motore DC rotto</i>	<i>Test di durata</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>Motore DC con pignone</i>	<i>Trasformare il segnale elettrico dell'ECU in segnale rotazione pignone</i>	<i>Motore DC non trasforma il moto</i>	<i>Spia motore perché il feedback non rileva la rotazione</i>	<i>Albero del motore DC rotto</i>	<i>Test di durata</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>Motore DC con pignone</i>	<i>Trasformare il segnale elettrico dell'ECU in segnale rotazione pignone</i>	<i>Motore DC non è assicurato assialmente</i>	<i>Contatto limitato tra pignone e satelliti, possibile disaccoppiamento durante la fase di accelerazione</i>	<i>La sporgenza sul motore DC è troppo piccola</i>	<i>Caratteristica compatibile con il coperchio</i>	<i>Test sul sg motore in movimento</i>

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



Motore DC con pignone	Trasformare il segnale elettrico dell'ECU in segnale rotazione pignone	Motore DC capovolto e la valvola si chiude quando dovrebbe aprirsi e viceversa	Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza	Assenza di gola anti-inversione	Caratteristica compatibile con il supporto motore	Test sul sg motore in movimento
Motore DC con pignone	Trasformare il segnale elettrico dell'ECU in segnale rotazione pignone	Pignone non ingrana	Spia motore perché il feedback non rileva la rotazione	Il pignone non sporge a sufficienza	Analisi catena tolleranze	Test sul sg motore in movimento
Motore DC con pignone	Non essere influenzato da campi elettromagnetici esterni	Motore DC risponde diversamente alle aspettative ai comandi ECU	Spia motore perché il motore DC non funziona	Eccessiva suscettibilità del motore DC e/o scarsa schermatura	Prevedere una schermatura alle interferenze del vano motore	Test di campi elettromagnetici esterni
Motore DC con pignone	Riprodurre la fdt originale	Portata di gas passante troppo alta, corsa della valvola eccessiva	Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza	Motore DC non riproduce l'originale agli stessi input della ECU	Riprodurre la fdt	Test su vettura
Motore DC con pignone	Riprodurre la fdt originale	Portata gas passante troppo bassa, corsa della valvola troppo bassa	Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni	Motore DC non riproduce l'originale agli stessi input della ECU	Riprodurre la fdt	Test su vettura
Supporto motore	Sigillare da ambiente esterno	O-ring 1 non è nella sua posizione corretta	Spia motore perché il motore DC non funziona	La gola nel supporto motore è troppo grande	Gola in accordo con le specifiche di o-ring 1	Test caldo-umido
Supporto motore	Sigillare da ambiente esterno	Il coperchio non è nella sua posizione corretta	Spia motore perché il motore DC non funziona	Il bordo nel supporto motore è troppo piccolo	Bordo in accordo con gola del coperchio	Test caldo-umido
Supporto motore	Sigillare da ambiente esterno	O-ring 2 non è nella sua posizione corretta	Spia motore perché il motore DC non funziona	La gola nel supporto motore è troppo grande	Gola in accordo con le specifiche di o-ring 2	Test caldo-umido
Supporto motore	Sigillare da ambiente esterno	Il supporto motore non è fissato al supporto circuito	Spia motore perché il motore DC non funziona	Gli agganci sul supporto motore sono troppo grandi	Agganci in accordo con supporto circuito	Test assemblaggio
Supporto motore	Sigillare da ambiente esterno	Il supporto motore non è fissato al corpo	Spia motore perché il motore DC non funziona	Bordo esterno troppo alto	Catena tolleranze del SG attuatore	Test assemblaggio

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



Supporto motore	Ricevere il segnale	I terminali non sono in contatto	Spia motore perché il motore DC non funziona	Posizione delle lamelle sbagliata	Posizione delle lamelle in accordo con i terminali del motore e del circuito	Test sul sg motore in movimento
Supporto motore	Trasformare il segnale elettrico dell'ECU in segnale rotazione pignone	Il motore DC non è assicurato assialmente	Spia motore perché il feedback non rileva la rotazione	Il supporto motore è troppo lungo	Altezza supporto in accordo con altezza motore DC	Test sul sg motore in movimento
Supporto motore	Trasformare il segnale elettrico dell'ECU in segnale rotazione pignone	Motore DC capovolto e la valvola si apre quando dovrebbe chiudersi e viceversa	Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza	Assenza di dentino anti-inversione	Dentino in accordo con il motore DC	Test sul sg motore in movimento
Supporto motore	Trasformare moto da rotatorio a lineare	Le spine per i satelliti non sono fissate e gli ingranaggi potrebbero non ingranare	Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza	Fori per le spine troppo grandi	Accoppiamento di interferenza	Test di collaudo a fine linea
Lamelle di collegamento motore DX e SX	Ricevere il segnale	La lamella è fuori posizione e il contatto con ECU si interrompe	Spia motore perché il motore DC non funziona	La posizione delle lamelle durante il sovrastampaggio o è sbagliata	Sede e dimensione delle lamelle in accordo con motore DC	Test di sovrastampaggio e collaudo
Lamelle di collegamento motore DX e SX	Ricevere il segnale	Contatto tra ECU e motore DC si interrompe	Spia motore perché il motore DC non funziona	Le lamelle si rompono durante il sovrastampaggio o	Test di sovrastampaggio prima della approvazione	Test di collaudo a fine linea
Spine per satelliti	Trasformare moto da rotatorio a lineare	I satelliti non sono fissati	Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza	Spine troppo piccole	Accoppiamento con gioco	Test assemblaggio
Boccole passavite	Sigillare da ambiente esterno	L'umidità può entrare in contatto con il motore DC perché le viti con chiudono	Spia motore perché il motore DC non funziona	Boccola troppo grande (diametro) oppure troppo alta	Catena tolleranze sg attuatore	Test caldo-umido
Vite torx	Sigillare da ambiente esterno	L'umidità può entrare in contatto con il motore DC perché le viti con chiudono	Spia motore perché il motore DC non funziona	Vite troppo corta	Catena tolleranze	Test caldo-umido
Vite torx	Sigillare da	Carter è	Possibile	Vite troppo	Catena	Test

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



	<i>ambiente esterno</i>	<i>disallineato e si rovina la molla di ritorno per l'ingresso di impurità nell'otturatore</i>	<i>malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>lunga</i>	<i>tolleranze</i>	<i>caldo-umido</i>
<i>o-ring 2 e 3</i>	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	<i>L'umidità può entrare in contatto con il motore DC</i>	<i>Spia motore perché il motore DC non funziona</i>	<i>o-ring troppo sottile o piccolo</i>	<i>Catena tolleranze</i>	<i>Test caldo-umido</i>
<i>circuito</i>	<i>Trasformare la posizione in un segnale di feedback (0-5V) per ECU</i>	<i>Nessun segnale dalla ECU per il motore DC</i>	<i>Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU</i>	<i>Connessioni interne al circuito fisicamente interrotte</i>	<i>Test di durata</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>circuito</i>	<i>Trasformare la posizione in un segnale di feedback (0-5V) per ECU</i>	<i>Segnale sbagliato dalla ECU per il motore</i>	<i>Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU</i>	<i>Posizione del sensore su circuito sbagliata</i>	<i>Posizione del sensore in accordo con magnetizzazione magnete</i>	<i>Test funzionale</i>
<i>circuito</i>	<i>Comunicare il segnale alla ECU</i>	<i>Nessun segnale dalla ECU per il motore DC</i>	<i>Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU</i>	<i>Connessioni interne al circuito fisicamente interrotte dalle saldature</i>	<i>Test di durata</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>circuito</i>	<i>Non essere influenzato da campi elettromagnetici esterni</i>	<i>Il motore risponde al comando diversamente</i>	<i>Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU</i>	<i>Eccessiva suscettibilità del circuito e/o scarsa schermatura</i>	<i>Prevedere una schermatura alle interferenze del vano motore</i>	<i>Test di campi elettromagnetici esterni</i>
<i>circuito</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>Il segnale del sensore è diverso dall'originale</i>	<i>Spia motore perché il motore DC ruota di un angolo diverso dal comando</i>	<i>Calibrazione del sensore sbagliata</i>	<i>Test di calibrazione</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>Supporto circuito</i>	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	<i>Supporto circuito non fissato al corpo</i>	<i>Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU</i>	<i>Supporto troppo alto</i>	<i>Catene di tolleranze sg attuatore</i>	<i>Test assemblaggio</i>
<i>Supporto circuito</i>	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	<i>o-ring 2 e 3 in posizioni errate</i>	<i>Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU</i>	<i>Le gole sul supporto sono troppo grandi</i>	<i>Gole in accordo con specifiche o-ring</i>	<i>Test caldo-umido</i>

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



Supporto circuito	Sigillare da ambiente esterno	Supporto circuito non è fissato a supporto trasmissione e motore	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Gli agganci sono troppo piccoli	Agganci in accordo con altri supporti	Test assemblaggio
Supporto circuito	Ricevere il segnale	Terminali B e D non sono in contatto con ECU	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Posizione dei terminali errata	Geometria, posizione e anti-inversione in accordo con connettore del cablaggio	Test su vettura
Supporto circuito	Trasformare la posizione in un segnale di feedback (0-5V) per ECU	Il circuito non è fissato	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	La posizione del circuito non è corretta	La sede sul supporto circuito in accordo con le dimensioni del circuito	Test di collaudo
Supporto circuito	Comunicare il segnale alla ECU	I terminali A,C,E non sono in contatto con ECU	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Posizione dei terminali errata	Geometria, posizione e anti-inversione in accordo con connettore del cablaggio	Test su vettura
Supporto circuito	Trasformare il moto da rotatorio a lineare	Pignone e satelliti non ingranano	Spia motore perché malfunzionamento valvola	Fori sul supporto non corretti in dimensione e posizione	Fori in accordo con la trasmissione: posizione satelliti e gioco	Test di collaudo a fine linea
Terminali A,C,E	Comunicare il segnale alla ECU	Contatto tra ECU e circuito interrotto	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Il terminale si rompe durante il sovrastampaggio o	Test di sovrastampaggio prima della approvazione	Test di collaudo a fine linea
Terminali A,C,E	Comunicare il segnale alla ECU	Contatto tra ECU e circuito interrotto	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Posizione terminali errata	Geometria, posizione in accordo con la connessione del cablaggio	Test su vettura
Terminali B, D	Ricevere segnale da ECU	Contatto tra ECU e motore DC interrotto	Spia motore perché il motore DC non funziona	Il terminale si rompe durante il sovrastampaggio o	Test di sovrastampaggio prima della approvazione	Test di collaudo a fine linea

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



<i>Terminali B, D</i>	<i>Ricevere segnale da ECU</i>	<i>Contatto tra ECU e motore DC interrotto</i>	<i>Spia motore perché il motore DC non funziona</i>	<i>Posizione terminali errata</i>	<i>Geometria, posizione in accordo con la connessione del cablaggio</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Satelliti</i>	<i>Trasformare il moto da rotatorio a lineare</i>	<i>Satelliti non ingranano</i>	<i>Spia motore perché moto lineare non attuato e errore ECU</i>	<i>Diametro satellite troppo piccolo</i>	<i>Diametro satellite in accordo con pignone e corona</i>	<i>Test assemblaggio</i>
<i>satelliti</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>Portata gas passante troppo elevata perché corsa otturatore eccessiva</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Numero di denti e geometria sbagliata</i>	<i>Comparare con originale</i>	<i>Test funzionale</i>
<i>satelliti</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>Portata gas passante troppo bassa perché corsa otturatore corta</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Numero di denti e geometria sbagliata</i>	<i>Comparare con originale</i>	<i>Test funzionale</i>
<i>Corona dentata</i>	<i>Trasformare il moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La corona non ingrana</i>	<i>Spia motore perché moto lineare non attuato e errore ECU</i>	<i>Diametro corona troppo grande</i>	<i>Diametro corona in accordo con satelliti</i>	<i>Test assemblaggio</i>
<i>Corona dentata</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>Portata gas passante troppo elevata perché corsa otturatore eccessiva</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Numero di denti e geometria sbagliata</i>	<i>Comparare con originale</i>	<i>Test funzionale</i>
<i>Corona dentata</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>Portata gas passante troppo bassa perché corsa otturatore corta</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Numero di denti e geometria sbagliata</i>	<i>Comparare con originale</i>	<i>Test funzionale</i>
<i>Supporto trasmissione</i>	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	<i>Supporto trasmissione non fissato al corpo</i>	<i>Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU</i>	<i>Supporto troppo alto</i>	<i>Catena tolleranze</i>	<i>Test assemblaggio</i>

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



Supporto trasmissione	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	Supporto trasmissione non è fissato al supporto circuito	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Agganci sul supporto troppo grandi	Agganci in accordo con supporto circuito	Test assemblaggio
Supporto trasmissione	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	Supporto trasmissione non è fissato al supporto circuito	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Posizione errata o assenza di dentino anti-inversione	Dentino anti-inversione su supporto circuito	Test assemblaggio
Supporto trasmissione	<i>Trasformare il moto da rotatorio a lineare</i>	Satelliti e corona non ingranano	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Dimensione e posizione foro errata	Dimensione e posizione foro in accordo con la trasmissione	Test di assemblaggio
Supporto trasmissione	<i>Trasformare il moto da rotatorio a lineare</i>	Boccola anti-frizione non fissata	Spia motore perché il motore DC richiede più corrente per l'aumento dell'attrito	Foro troppo grande	Accoppiamento con interferenza	Test di collaudo a fine linea
Supporto trasmissione	<i>Trasformare il moto da rotatorio a lineare</i>	Segnale sensore sbagliato	Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni	Altezza del supporto trasmissione errata	Altezza in accordo con la magnetizzazione magnete e posizione sensore	Test di collaudo a fine linea
Boccola anti-frizione	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	Lo boccola non è fissata	Spia motore perché il motore DC richiede più corrente per l'aumento dell'attrito	Il foro sulla boccola è troppo piccolo	Accoppiamento di interferenza con albero	Test di collaudo a fine linea
Albero di trasmissione	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	Gomito non è fissato	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Diametro troppo piccolo	Diametro in interferenza con gomito	Test di collaudo a fine linea
Albero di trasmissione	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	Motore DC riceve un input sbagliato	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Albero troppo lungo o troppo corto	Lunghezza in accordo con magnetizzazione magnete e posizione sensore	Calibrazione sensore
Albero di trasmissione	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	Moto non trasmesso all'otturatore	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Albero troppo lungo o troppo corto	Lunghezza in accordo con la posizione dell'otturatore e (catene di tolleranza)	Test di collaudo a fine linea

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



Albero di trasmissione	Trasformare moto da rotatorio a lineare	Motore DC riceve un input sbagliato	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Zigrinatura per stampaggio corona non sufficiente	Zigrinatura in accordo con il sovrastampaggio corona	Test di durata
Albero di trasmissione	Trasformare moto da rotatorio a lineare	Magnete non incollato	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Materiale non adatto	Usare materiale in accordo con la colla	Test di durata
Magnete	Trasformare la posizione in un segnale di feedback (0-5V) per ECU	Motore DC riceve un input sbagliato	Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni	Errata magnetizzazione	Calibrazione e collaudo	Test di collaudo a fine linea
Magnete	Trasformare la posizione in un segnale di feedback (0-5V) per ECU	Motore DC riceve un input sbagliato	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Magnete rotto	Resistenza a carichi torsionali	Test di collaudo a fine linea
Magnete	Trasformare la posizione in un segnale di feedback (0-5V) per ECU	Motore DC riceve un input sbagliato	Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni	Magnete corto o lungo	Lunghezza magnete in accordo con posizione sensore e magnetizzazione	Calibrazione e collaudo
Magnete	Trasformare la posizione in un segnale di feedback (0-5V) per ECU	Magnete non incollato all'albero	Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU	Materiale non adatto alla applicazione	Materiale in accordo con la colla	Test di durata
Magnete	Trasformare la posizione in un segnale di feedback (0-5V) per ECU	Segnale sbagliato alla ECU	Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni	Magnete incollato nella posizione sbagliata sull'albero	Posizione in accordo con sensore e magnetizzazione	Test funzionale
colla	Trasformare la posizione in un segnale di feedback (0-5V) per ECU	La valvola è aperta quando dovrebbe essere chiusa	Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza	Materiale non adatto alla applicazione	Materiale in accordo con albero, magnete e temperature	Test caldo-umido
Gomito (camma)	Trasformare moto da rotatorio a lineare	La valvola rimane chiusa perché il moto non viene	Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e	Gomito troppo piccolo in altezza	Catena di tolleranze	Test di assemblaggio

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



		<i>trasformato</i>	<i>possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>			
<i>Gomito (camma)</i>	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La portata di gas è diversa dall'originale perché la trasformazione non avviene nello stesso modo</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Posizione e dimensione dei fori su gomito non corretta</i>	<i>Fori in accordo con la fdt e dimensioni in accordo con albero e pin</i>	<i>Test assemblaggio</i>
<i>Gomito (camma)</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>La portata di gas è diversa dall'originale perché la trasformazione non avviene nello stesso modo</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Forma gomito troppo piccola</i>	<i>Confrontare con originale</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Gomito (camma)</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>La portata di gas è diversa dall'originale perché la trasformazione non avviene nello stesso modo</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Forma gomito troppo grande</i>	<i>Confrontare con originale</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Cuscinetto volvente</i>	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La valvola è bloccata perché la pista esterna non ruota</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Cuscinetto difettoso</i>	<i>Standard automotive del fornitore</i>	<i>Controllo material e in arrivo</i>
<i>Cuscinetto volvente</i>	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La valvola è chiusa perché il cuscinetto è fuori sede e non trasmette il moto</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Diametro interno sbagliato</i>	<i>Diametro interno interferenza con perno</i>	<i>Controllo material e in arrivo</i>
<i>Cuscinetto volvente</i>	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La valvola è chiusa perché il moto non viene trasformato</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un</i>	<i>cuscinetto troppo piccolo in altezza</i>	<i>Catena di tolleranze</i>	<i>Test di assemblaggio</i>

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



			<i> sensore emissioni</i>			
<i>Cuscinetto volvente</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>La portata di gas è diversa dall'originale perché la trasformazione non avviene nello stesso modo</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Diametro esterno troppo piccolo</i>	<i>Confrontare con originale</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Cuscinetto volvente</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>La portata di gas è diversa dall'originale perché la trasformazione non avviene nello stesso modo</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Diametro esterno troppo grande</i>	<i>Confrontare con originale</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Perno per cuscinetto</i>	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La valvola è chiusa perché il cuscinetto è fuori sede e non trasmette il moto</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Perno troppo piccolo</i>	<i>Diametro in interferenza con gomito e cuscinetto</i>	<i>Test di assemblaggio</i>
<i>Corpo valvola</i>	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	<i>L'attuatore non è fissato e sigillato</i>	<i>Spia motore perché malfunzionamento valvola e errore ECU</i>	<i>Fori per viti troppo grandi</i>	<i>Fori in funzione delle viti</i>	<i>Test caldo-umido</i>
<i>Corpo valvola</i>	<i>Sigillare da ambiente esterno</i>	<i>Carter fuori sede, la molla potrebbe danneggiarsi e quindi la valvola è aperta quando dovrebbe chiudersi</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Agganci per carter sul corpo troppo piccoli</i>	<i>Agganci in funzione del carter</i>	<i>Test di assemblaggio</i>
<i>Corpo valvola</i>	<i>Evitare perdite di gas quando la valvola è chiusa</i>	<i>Difetti di fusione sul corpo evitano la chiusura completa del disco</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Difetti di fusione</i>	<i>Definire rugosità massima</i>	<i>Test di perdita</i>
<i>Corpo valvola</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>La portata di gas è diversa dall'originale perché la trasformazione non avviene nello stesso modo (area di passaggio)</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Il foro per il disco è troppo piccolo oppure di una forma diversa</i>	<i>Calcolo portata passante attraverso area</i>	<i>Test su vettura</i>

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



		<i>diversa)</i>				
<i>Corpo valvola</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>La portata di gas è diversa dall'originale perché la trasformazione non avviene nello stesso modo (area di passaggio diversa)</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Il foro per il disco è troppo piccolo oppure di una forma diversa</i>	<i>Calcolo portata passante attraverso area</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Corpo valvola</i>	<i>Sigillare l'interfaccia tra collettore e valvola stessa</i>	<i>Parte dei gas di scarico si disperde in ambiente</i>	<i>Cofano sporco perché la valvola disperde gas esausti</i>	<i>Difetti di fusione</i>	<i>Definire rugosità massima</i>	<i>Test di perdita</i>
<i>Corpo valvola</i>	<i>Sigillare l'interfaccia tra collettore e valvola stessa</i>	<i>L'interfaccia tra valvola e collettore non sigillata e la molla potrebbe danneggiarsi e quindi la valvola è aperta quando dovrebbe chiudersi</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Gola per o-ring 4 troppo grande</i>	<i>Gola in accordo con specifiche o-ring 4</i>	<i>Test di perdita</i>
<i>o-ring 4</i>	<i>Sigillare l'interfaccia tra collettore e valvola stessa</i>	<i>Valvola e collettori non sigillati</i>	<i>Cofano sporco perché la valvola disperde gas esausti</i>	<i>o-ring troppo grande o sottile</i>	<i>Catene di tolleranza</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Sede cuscinetto</i>	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La valvola è chiusa perché il moto non viene trasformato</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Il componente non è planare</i>	<i>Tolleranza di planarità</i>	<i>Test funzionale</i>
<i>Sede cuscinetto</i>	<i>Chiusura automatica quando il motore DC non è attuato</i>	<i>La valvola è aperta quando dovrebbe essere chiusa perché l'appoggio della molla non permette la chiusura</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Componente troppo corto</i>	<i>Analisi tolleranze e carico molla</i>	<i>Test funzionale</i>
<i>Sede cuscinetto</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>La valvola è chiusa perché il moto non viene trasformato</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Foro sul componente troppo grande</i>	<i>Catena tolleranze</i>	<i>Test funzionale</i>

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



<i>Sede cuscinetto</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>Valvola aperta quando dovrebbe essere chiusa</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Foro sul componente errato</i>	<i>Comparare con originale</i>	<i>Test funzionale</i>
<i>Stelo valvola</i>	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La valvola rimane aperta perché il disco e lo stelo non sono saldati</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Diametro stelo troppo piccolo</i>	<i>Interferenza con disco</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>Stelo valvola</i>	<i>Chiusura automatica quando il motore DC non è attuato</i>	<i>La valvola è aperta quando dovrebbe essere chiusa</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Stelo troppo lungo</i>	<i>Catena tolleranze</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>molla</i>	<i>Chiusura automatica quando il motore DC non è attuato</i>	<i>La molla non chiude completamente la valvola</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Molla troppo corta</i>	<i>Catena tolleranze otturatore</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>molla</i>	<i>Evitare perdite di gas quando la valvola è chiusa</i>	<i>La molla non chiude completamente la valvola</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Carico della molla troppo piccolo</i>	<i>Carico in accordo con otturatore</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>molla</i>	<i>Riprodurre la fdt originale</i>	<i>La molla non chiude completamente la valvola</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Molla corta e carico piccolo</i>	<i>Comparare con originale</i>	<i>Test di collaudo a fine linea</i>
<i>Disco</i>	<i>Evitare perdite di gas quando la valvola è chiusa</i>	<i>Il disco non chiude completamente la valvola</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Disco non planare</i>	<i>Tolleranza di planarità e concentricità</i>	<i>Test di perdita</i>
<i>Disco</i>	<i>Evitare perdite di gas quando la valvola è chiusa</i>	<i>Il disco non chiude completamente la valvola</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Disco troppo piccolo o forma sbagliata</i>	<i>Catene tolleranze</i>	<i>Test di perdita</i>
<i>Guarnizione a labbro</i>	<i>Sigillare l'interfaccia tra collettore e valvola stessa</i>	<i>Se la molla viene in contatto con i gas potrebbe danneggiarsi e la valvola rimarrebbe aperta</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Guarnizione piccola</i>	<i>Interferenza con albero e boccola</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Boccola di guida per stelo</i>	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La valvola è bloccata perché il moto non viene trasmesso</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore</i>	<i>Boccola non cilindrica / conica</i>	<i>Tolleranze di cilindricità/ conicità</i>	<i>Test su vettura</i>

2. DFMEA

2.5 Matrice dei rischi



			<i>emissioni</i>			
<i>Boccola di guida per stelo</i>	<i>Trasformare moto da rotatorio a lineare</i>	<i>La boccola non è fissata al corpo quindi non viene trasmesso il moto</i>	<i>Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni</i>	<i>Boccola troppo piccola</i>	<i>Interferenza con corpo</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Boccola di guida per stelo</i>	<i>Sigillare l'interfaccia tra collettore e valvola stessa</i>	<i>Se la molla viene in contatto con i gas potrebbe danneggiarsi e la valvola rimarrebbe aperta</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Boccola troppo grande</i>	<i>Diametro interno in accordo con la guarnizione a labbro</i>	<i>Test su vettura</i>
<i>Carter</i>	<i>Sigillare l'interfaccia tra collettore e valvola stessa</i>	<i>Se la molla viene in contatto con i gas potrebbe danneggiarsi e la valvola rimarrebbe aperta</i>	<i>Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza</i>	<i>Carter troppo grande</i>	<i>Catena tolleranze</i>	<i>Test di assemblaggio</i>
<i>Guarnizioni metalliche</i>	<i>Sigillare l'interfaccia tra collettore e valvola stessa</i>	<i>Interfaccia tra valvola e collettore non sigillata</i>	<i>Cofano sporco perché la valvola disperde gas esausti</i>	<i>Fori troppo grandi</i>	<i>Fori in accordo con quelli sul corpo</i>	<i>Test di perdita</i>

Tabella 2.2 risk matrix per componente

Oltre alle caratteristiche specifiche nella tabella 2.2 sono state portate avanti prove di validazione specifiche per il materiale, sui componenti: cuscinetto volvente e ruote dentate; per determinare il materiale più adatto.

Cuscinetto volvente

Test di caldo-umido e successivamente di durata è stato condotto sul cuscinetto in modo da validare la scelta di utilizzare acciaio non inox, in quanto il sottogruppo attuatore è ben sigillato in modo da non far penetrare umidità al suo interno e rovinare il cuscinetto anche con valvola in funzionamento.

Da questo risultato si è deciso di intraprendere la stessa strada per il perno di fissaggio su gomito del cuscinetto stesso.

Questa analisi per avere anche un vantaggio dal punto di vista economico dell'acquisto del componente.

Ruote dentate

Le ruote dentate in oggetto (satelliti e corona) sono state sottoposte a prove di durata in quanto la scelta dei materiali è ampia. In particolare sono state testate in:

- PSU-polisulfone
- acciaio, ricoperte di materiale plastico PTFE

Le prime sono risultate efficaci nel test di durata in quanto un materiale sufficientemente resistente ma auto-lubrificato.

Caratteristiche del polisulfone:

- Elevata resistenza al carico
- Elevata temperatura in uso continuo
- Bassa deformazione creep
- Alta resistenza all'idrolisi
- Eccellente stabilità dimensionale
- Soggetto a stress cracking
- Debole agli agenti atmosferici

Le seconde con l'anima resistente di acciaio sono risultate molto efficaci in quanto il materiale polimerico di rivestimento è auto-lubrificante quindi non necessita di un altro tipo di lubrificazione e l'acciaio garantisce una durata elevata.

Le caratteristiche principali del PTFE sono:

- la completa inerzia chimica, per cui non viene aggredito dalla quasi totalità dei composti chimici;
- la completa insolubilità in acqua e in qualsiasi solvente organico;
- ottime qualità dielettriche;
- ottime qualità di resistenza al fuoco: non propaga la fiamma;
- ottime proprietà di scorrevolezza superficiale: il coefficiente di attrito risulta il più basso tra i prodotti industriali;
- antiaderenza: la superficie non è incollabile.

Visto il successo di entrambe le prove si è scelto il polisulfone per ragioni economiche, nonostante le ruote in acciaio abbiano dimostrato una resistenza maggiore, ma eccessiva per l'applicazione al basso carico delle ruote in analisi.

2.6 Scale SOD e azioni

Le scale S-O-D, acronimo di severity, occurrence e detection, quantificano tutte le modalità di guasto secondo:

- gravità dell'effetto (S)
- probabilità di accadimento (O)
- rilevabilità del guasto (D)

Ad ognuno dei tre fattori sarà assegnato un punteggio da 1 a 10, in cui (per le voci "S" e "O") 1 rappresenta la condizione di minimo rischio e 10 quella di massimo rischio (per la voce "D" minore è il punteggio - ad esempio 1 - maggiore è la possibilità di rilevamento del modo di guasto).

I punteggi vengono assegnati secondo scale non lineari in modo da garantire una corretta ponderazione dei tre fattori.

Nella pratica vengono utilizzate tabelle pubblicate da AIAG e VDA [3], riportate nelle tabelle 2.3, 2.4, 2.5.

La gravità dell'effetto (S) indica la perdita o il degrado di una funzione primaria del veicolo, in questo caso l'attenzione è posta sull'intera autovettura piuttosto che sul singolo componente o sul prodotto oggetto dell'analisi, quindi indica la gravità del danno se si dovesse presentare. In particolare gli effetti indicati nella analisi sono le conseguenze della modalità di guasto, ad ognuno di essi è associato un indice di gravità.

A titolo di esempio di seguito vengono riportati i due effetti maggiormente visibili dalla analisi dfmea della valvola EGR e associato il valore di gravità:

1- Possibile malfunzionamento del motore auto e riduzione potenza.

Indica il caso di valvola aperta cioè passa più gas di scarico di quanto è comandato dalla ECU.

Valore di gravità: 7, degradazione di una funzione primaria del veicolo.

2-Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni.

Indica il caso di valvola chiusa cioè non passano gas in ricircolo.

Valore di gravità: 9, veicolo non compatibile con le normative di emissioni.

Nella tabella 2.3 tratta da [3] è possibile vedere la scala S di riferimento utilizzata:

Product General Evaluation Criteria Severity (S)			
Potential Failure Effects rated according to the criteria below.			Blank until filled in by user
S	Effect	Severity criteria	Corporate or Product Line Examples
10	Very High	Affects safe operation of the vehicle and/or other vehicles, the health of driver or passenger(s) or road users or pedestrians.	
9		Noncompliance with regulations.	
8	High	Loss of primary vehicle function necessary for normal driving during expected service life.	
7		Degradation of primary vehicle function necessary for normal driving during expected service life.	
6	Moderate	Loss of secondary vehicle function.	
5		Degradation of secondary vehicle function.	
4		Very objectionable appearance, sound, vibration, harshness, or haptics.	
3	Low	Moderately objectionable appearance, sound, vibration, harshness, or haptics.	
2		Slightly objectionable appearance, sound, vibration, harshness, or haptics.	
1	Very low	No discernible effect.	

Tabella 2.3 scala severity

La probabilità (O) indica la possibilità che l'evento succeda dopo l'attuazione delle azioni preventive, in questo caso l'attenzione è posta sulla modalità del guasto del prodotto dell'analisi. In particolare indica l'efficacia delle azioni preventive in funzione del grado di innovazione di queste, ad ognuna di esse è associata un indice di probabilità.

A titolo di esempio di seguito vengono riportati due azioni preventive dalla analisi dfmea della valvola EGR e associato il valore di probabilità:

1- Catena tolleranze.

Analisi delle tolleranze da applicare al componente in funzione dei componenti in accoppiamento.

Valore di probabilità: 5, design nuovo ma con moderata sperimentazione.

2-Dentini anti-inversione.

Necessità della presenza di un dentino anti-inversione che eviti il montaggio capovolto in fase di processo.

Valore di probabilità: 2, design comparabile a originale.

2. DFMEA

2.6 Scale SOD e azioni



Nella tabella 2.4 tratta da [3] è possibile vedere la scala O di riferimento utilizzata:

Occurrence Potential (O) for the Product			Blank until filled in by user
Potential Failure Causes rated according to the criteria below. Consider Product Experience and Prevention Controls when determining the best Occurrence estimate (Qualitative rating).			
O	Prediction of Failure Cause Occurring	Occurrence criteria - DFMEA	Corporate or Product Line Examples
10	Extremely high	First application of new technology anywhere without operating experience and/or under uncontrolled operating conditions. No product verification and/or validation experience. Standards do not exist and best practices have not yet been determined. Prevention controls not able to predict field performance or do not exist.	
9	Very high	First use of design with technical innovations or materials within the company. New application or change in duty cycle / operating conditions. No product verification and/or validation experience. Prevention controls not targeted to identify performance to specific requirements.	
8		First use of design with technical innovations or materials on a new application. New application or change in duty cycle / operating conditions. No product verification and/or validation experience. Few existing standards and best practices, not directly applicable for this design. Prevention controls not a reliable indicator of field performance.	
7	High	New design based on similar technology and materials. New application or change in duty cycle / operating conditions. No product verification and/or validation experience. Standards, best practices, and design rules apply to the baseline design, but not the innovations. Prevention controls provide limited indication of performance	
6		Similar to previous designs, using existing technology and materials. Similar application, with changes in duty cycle or operating conditions. Previous testing or field experience. Standards and design rules exist but are insufficient to ensure that the failure cause will not occur. Prevention controls provide some ability to prevent a failure cause.	

Occurrence Potential (O) for the Product			Blank until filled in by user
Potential Failure Causes rated according to the criteria below. Consider Product Experience and Prevention Controls when determining the best Occurrence estimate (Qualitative rating).			
O	Prediction of Failure Cause Occurring	Occurrence criteria - DFMEA	Corporate or Product Line Examples
5	Moderate	Detail changes to previous design, using proven technology and materials. Similar application, duty cycle or operating conditions. Previous testing or field experience, or new design with some test experience related to the failure. Design addresses lessons learned from previous designs. Best Practices re-evaluated for this design but have not yet been proven. Prevention controls capable of finding deficiencies in the product related to the failure cause and provide some indication of performance.	
4		Almost identical design with short-term field exposure. Similar application, with minor change in duty cycle or operating conditions. Previous testing or field experience. Predecessor design and changes for new design conform to best practices, standards, and specifications. Prevention controls capable of finding deficiencies in the product related to the failure cause and indicate likely design conformance.	
3	Low	Detail changes to known design (same application, with minor change in duty cycle or operating conditions) and testing or field experience under comparable operating conditions, or new design with successfully completed test procedure. Design expected to conform to Standards and Best Practices, considering Lessons Learned from previous designs. Prevention controls capable of finding deficiencies in the product related to the failure cause and predict conformance of production design.	
2	Very low	Almost identical mature design with long term field exposure. Same application, with comparable duty cycle and operating conditions. Testing or field experience under comparable operating conditions. Design expected to conform to standards and best practices, considering Lessons Learned from previous designs, with significant margin of confidence. Prevention controls capable of finding deficiencies in the product related to the failure cause and indicate confidence in design conformance.	
1	Extremely low	Failure eliminated through prevention control and failure cause is not possible by design	

Tabella 2.4 scala occurrence

2. DFMEA

2.6 Scale SOD e azioni

La rilevabilità (D) indica la probabilità di rilievo del difetto dopo l'attuazione delle azioni di controllo, in questo caso l'attenzione è posta sul controllo del prodotto dell'analisi prima della messa in produzione. In particolare indica l'efficacia delle azioni di controllo in funzione del grado di innovazione di queste, ad ognuna di esse è associata un indice di rilevabilità. La scala in questo caso è inversa alle precedenti, cioè 10 non rilievo, 1 rilievo al 100% il difetto.

A titolo di esempio di seguito vengono riportati due azioni di controllo dalla analisi dfmea della valvola EGR e associato il valore di rilevabilità:

1- Test di collaudo a fine linea.

Valore di rilevabilità: 4, elevata rilevabilità con test di tipo passa non passa.

2-Test di vibrazione.

Valore di rilevabilità: 2, misuro i cicli nel quale degrada, anche se sono eccessivamente alti per l'applicazione.

Nella tabella 2.5 tratta da [3] è possibile vedere la scala D di riferimento utilizzata:

Detection Potential (D) for the Validation of the Product Design				
Detection Controls rated according to Detection Method Maturity and Opportunity for Detection.				Blank until filled in by user
D	Ability to Detect	Detection Method Maturity	Opportunity for Detection	Corporate or Product Line Examples
10	Very low	Test procedure yet to be developed.	Test method not defined	
9		Test method not designed specifically to detect failure mode or cause.	Pass-Fail, Test-to-Fail, Degradation Testing	
8	Low	New test method; not proven.	Pass-Fail, Test-to-Fail, Degradation Testing	
7		Proven test method for verification of functionality or validation of performance, quality, reliability and durability; planned timing is later in the product development cycle such that test failures may result in production delays for re-design and/or re-tooling.	Pass-Fail Testing	
6	Moderate		Test-to-Failure	
5			Degradation Testing	
4	High	Proven test method for verification of functionality or validation of performance, quality, reliability and durability; planned timing is sufficient to modify production tools before release for production.	Pass-Fail Testing	
3			Test-to-Failure	
2			Degradation Testing	
1	Very high	Prior testing confirmed that failure mode or cause cannot occur, or detection methods proven to always detect the failure mode or failure cause.		

Tabella 2.5 scala detection

L'analisi delle modalità, effetti e cause di guasto sono competenza del progettista che possiede l'intera conoscenza del prodotto; la definizione delle S-O-D viene fatta in team multifunzionale tramite brainstorming.

Lo stesso team successivamente può decidere di rafforzare l'analisi in modo da ridurre ancora i rischi attuando delle azioni correttive.

Le azioni correttive vengono definite tramite brainstorming, a supporto viene definita una priorità del rischio, cioè delle modalità di guasto che sono più a rischio di altre rispetto ai valori assegnati di S-O-D.

Queste priorità anch'esse seguono una tabella pubblicata da AIAG e VDA [3], visibile in tabella 2.6.

In passato veniva utilizzato il metodo RPN (risk priority number):

$$RPN=S \times O \times D$$

E fissato un limite di soglia sopra la quale le azioni erano ad alta priorità e sotto le quali a bassa priorità.

La tabella 2.6 invece segue un ordine per gravità, probabilità e rilevabilità, ad esempio le modalità con gravità 9-10 rientreranno nelle elevate priorità, in cascata le altre in funzione anche della probabilità e rilevabilità.

Action Priority (AP) for DFMEA and PFMEA						
Action Priority is based on combinations of Severity, Occurrence, and Detection ratings in order to prioritize actions for risk reduction.						Blank until filled in by user
Effect	S	Prediction of Failure Cause Occurring	O	Ability to Detect	D	ACTION PRIORITY (AP)
Product or Plant Effect Very high	9-10	Very high	8-10	Low - Very low	7-10	H
				Moderate	5-6	H
				High	2-4	H
				Very high	1	H
		High	6-7	Low - Very low	7-10	H
				Moderate	5-6	H
				High	2-4	H
				Very high	1	H
		Moderate	4-5	Low - Very low	7-10	H
				Moderate	5-6	H
				High	2-4	H
				Very high	1	M
		Low	2-3	Low - Very low	7-10	H
				Moderate	5-6	M
				High	2-4	L
				Very high	1	L
		Very low	1	Very high - Very low	1-10	L
Product or Plant Effect High	7-8	Very high	8-10	Low - Very low	7-10	H
				Moderate	5-6	H
				High	2-4	H
				Very high	1	H
		High	6-7	Low - Very low	7-10	H
				Moderate	5-6	H
				High	2-4	H
				Very high	1	M
		Moderate	4-5	Low - Very low	7-10	H
				Moderate	5-6	M
				High	2-4	M
				Very high	1	M
		Low	2-3	Low - Very low	7-10	M
				Moderate	5-6	M
				High	2-4	L
				Very high	1	L
		Very low	1	Very high - Very low	1-10	L

Effect	S	Prediction of Failure Cause Occurring	O	Ability to Detect	D	ACTION PRIORITY (AP)	Comments
Product or Plant Effect Moderate	4-6	Very high	8-10	Low - Very low	7-10	H	
				Moderate	5-6	H	
				High	2-4	M	
				Very high	1	M	
		High	6-7	Low - Very low	7-10	M	
				Moderate	5-6	M	
				High	2-4	M	
				Very high	1	L	
		Moderate	4-5	Low - Very low	7-10	M	
				Moderate	5-6	L	
				High	2-4	L	
				Very high	1	L	
		Low	2-3	Low - Very low	7-10	L	
				Moderate	5-6	L	
				High	2-4	L	
				Very high	1	L	
		Very low	1	Very high - Very low	1-10	L	
Product or Plant Effect Low	2-3	Very high	8-10	Low - Very low	7-10	M	
				Moderate	5-6	M	
				High	2-4	L	
				Very high	1	L	
		High	6-7	Low - Very low	7-10	L	
				Moderate	5-6	L	
				High	2-4	L	
				Very high	1	L	
		Moderate	4-5	Low - Very low	7-10	L	
				Moderate	5-6	L	
				High	2-4	L	
				Very high	1	L	
		Low	2-3	Low - Very low	7-10	L	
				Moderate	5-6	L	
				High	2-4	L	
				Very high	1	L	
		Very low	1	Very high - Very low	1-10	L	
No discernible Effect	1	Very low - Very high	1-10	Very high - Very low	1-10	L	

Tabella 2.6 azioni prioritarie

Questo metodo introdotto dall'handbook [3] definisce le combinazioni di valori che portano:

- elevata priorità (H)
- media priorità (M)
- bassa priorità (L)

Il team in base a queste informazioni decide se attivare ulteriori azioni correttive dove è possibile seguendo l'ordine H-M-L.

Per questa analisi specifica si è deciso di attivare azioni per tutte le modalità che sono risultate H e per le modalità di guasto M con un RPN superiore a 100.

Riassumendo:

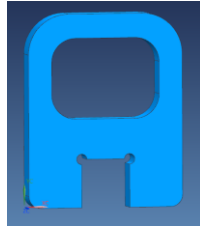
- AP=H azione attivata
- AP=M e RPN>100 azione attivata
- AP=M e RPN<100 nessuna azione
- AP=L nessuna azione

Si è deciso di adottare il metodo SOD, invece di RPN (integrandolo eventualmente), in quanto un metodo più preciso che assegna il peso adeguato alla modalità di guasto, mentre il metodo RPN indipendentemente dai valori di gravità (S) assegna un numero alla modalità di fallimento.

Successivamente alla definizione delle azioni correttive (dove si è scelto di attuarle) si ripete il ragionamento SOD con i valori abbassati in funzione dell'azione correttiva adottata e si applica nuovamente il metodo delle AP in modo da abbassare il rischio con diversi re-loop.

Di seguito vengono riportati alcuni **esempi** virtuosi [2] della analisi completa SOD e AP sulla valvola EGR:

ESEMPIO 1



- Componente: sede cuscinetto
- Funzione elementare: riprodurre la fdt originale
- Modalità di guasto: portata di gas esausti in ricircolo diversa da originale
- Effetto: Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni
- S: 9
- Causa: Posizione e/o dimensione del foro errata
- Prevenzione: Posizione e dimensione del foro in accordo con cuscinetto, compatibile con originale e catena di tolleranze
- O: 5
- Controllo: test su vettura
- D: 4
- Priorità azione: H
- Azione correttiva: realizzare un calibro passa non passa per verificare forma e dimensione del foro
- Nuovo S: 9
- Nuovo O: 3
- Nuovo D: 2
- Nuova priorità azione: L

[2] A differenza delle analisi strutturali, di funzione e dei rischi; l'analisi SOD e di azioni correttive non vengono pubblicate nel suddetto scritto in quanto parte del know-how aziendale, vengono riportati solo esempi ma non l'analisi completa.

ESEMPIO 2

- Componente: magnete
- Funzione elementare: trasformare la posizione dell'albero di trasmissione in segnale per ECU (0-5V)
- Modalità di guasto: il motore DC riceverà un input errato
- Effetto: Limitata riduzione di NOX, consumi aumentano e possibile spia se sulla vettura è montato un sensore emissioni
- S: 9
- Causa: magnetizzazione errata
- Prevenzione: calibrazione e test del magnete
- O: 5
- Controllo: test collaudo di fine linea
- D: 4
- Priorità azione: H
- Azione correttiva: specificare la direzione di magnetizzazione direttamente a disegno
- Nuovo S: 9
- Nuovo O: 3
- Nuovo D: 4
- Nuova priorità azione: L

3. PFMEA

3.1 Generalità

La PFMEA è l'analisi sistematica di ogni prevedibile modo di guasto o errore che possa verificarsi nelle operazioni manuali o automatiche del processo produttivo, delle cause che possono provocarlo e delle possibili conseguenze sfavorevoli sul processo, sul prodotto e sul cliente che lo utilizza.

Si propone di definire modifiche al processo produttivo, al sistema di controllo, ed eventualmente anche al progetto, da apportare prima di iniziare la realizzazione del processo, per eliminare o ridurre i possibili guasti o malfunzionamenti.

La PFMEA è un documento vivo e deve:

- Essere avviata prima o allo stadio di fattibilità
- Essere avviata prima di attrezzare la produzione
- Prendere in considerazione tutte le operazioni di fabbricazione dai singoli componenti agli assemblaggi
- Includere tutti i processi dell'impianto che possono influenzare la fabbricazione e le operazioni di assemblaggio, quali spedizione.

La PFMEA presuppone che il prodotto come è progettato risponda all'intento del progetto.

Le modalità potenziali di guasto che possono verificarsi a causa di una debolezza del progetto possono essere incluse nella PFMEA.

La PFMEA non fa riferimento a modifiche di progetto del prodotto per superare le limitazioni nel processo. Comunque prende in considerazione caratteristiche di progetto del prodotto relative al processo pianificato di fabbricazione e assemblaggio per assicurare che, per quanto possibile, il prodotto risultante risponda ai bisogni e alle aspettative del cliente.

Per esempio, aggiungere una caratteristica a un particolare e una caratteristica di accoppiamento a un fissaggio eliminerà la possibilità che un operatore collochi un particolare in un orientamento errato.

La struttura della pfmea come segue:

- Diagramma di flusso
- Matrice correlazioni (elenco delle operazioni)
- Matrice dei rischi
- SOD e azioni

Analogamente alla dfmea si imposta una analisi strutturale (diagramma di flusso) seguita da una analisi di funzioni (elenco operazioni) e successivamente la definizione delle modalità, effetti, cause, controlli preventivi e di rivelazione di guasto, concludendo con analisi SOD e azioni correttive.

La competenza di queste fasi è come segue:

- Diagramma di flusso è competenza del progettista del processo
- Matrice correlazioni (elenco delle operazioni) è competenza del progettista del processo
- Matrice dei rischi è competenza del progettista del processo con condivisione nel team multifunzionale
- SOD e azioni sono competenza dell'intero team multifunzionale tramite brainstorming

La differenza sostanziale tra dfmea e pfmea consiste principalmente:

1. negli effetti: in dfmea sono le conseguenze visibili dal cliente e quindi sul veicolo stesso, per la pfmea gli effetti vengono considerati anche quelli sull'operatore, sulle operazioni successive e quindi le conseguenze del fallimento dopo tale evento, non necessariamente in modo diretto sul cliente finale, in modo da generare dei controlli per intercettare prima della vendita al cliente l'eventuale modalità di guasto sulla linea.
2. Le cause invece sono ben definite e classificate tra:
 - macchine
 - operatore
 - materiali
 - ambiente
3. Stato di aggiornamento; rispetto alla DFMEA che difficilmente viene modificata dopo la validazione del prodotto, la PFMEA rimane viva fino alla produzione e soggetta a diverse modifiche di miglioramento e ottimizzazione. Può essere modificata anche in seguito alla produzione se si vogliono inserire azioni di miglioramento in linea.
A tal proposito nei capitoli successivi verrà descritto il risultato finale di una serie di ragionamenti per arrivare e definire il diagramma di flusso e operazioni; ad esempio inizialmente si è ipotizzato un diagramma di flusso con determinate operazioni, successivamente, in particolare a seguito di una internalizzazione di diverse operazioni, il diagramma e le operazioni per la produzione della valvola EGR sono variate in maniera sostanziale.

Anche in questo caso le frasi utilizzate devono contenere informazioni tecniche e non frasi generali ma la causa può essere imputata a uno dei quattro elementi elencati sopra a differenza della dfmea dove l'unico elemento causa del danno è il design.

3.2 Diagramma di flusso

Una PFMEA dovrebbe iniziare con lo sviluppo dell'informazione per la comprensione delle operazioni di fabbricazione e di assemblaggio da analizzare e definire i loro requisiti.

Il diagramma di flusso di processo è un input primario alla PFMEA, è usato come strumento per aiutare a stabilire lo scopo dell'analisi durante la progettazione del sistema di fabbricazione.

Un diagramma di flusso di processo descrive il flusso del prodotto attraverso il processo – dall'ingresso all'uscita. Questo dovrebbe includere ogni stadio del processo di fabbricazione o assemblaggio così come i loro output (caratteristiche di prodotto, requisiti, deliverables, ecc.) e input (caratteristiche di processo, fonti di variazione, ecc) correlati.

Partendo dai sottogruppi della valvola, individuati nel capitolo 1.3, si è costruito un diagramma di flusso ipotizzando quattro centri di lavoro dedicati ai quattro sottogruppi:

- SG circuito
- SG motore
- SG trasmissione
- SG otturatore

Il punto di partenza nella definizione dei centri di lavoro sono le isole già presenti in reparto per la produzione di valvola EGR a solenoide e pneumatica, che accoglieranno con l'integrazione di nuove attrezzature la valvola a motore DC; questa integrazione verrà descritta meglio nel capitolo 4.5 ma è indispensabile avere una idea iniziale per definire il diagramma di flusso.

Quindi il diagramma risponde alle domande:

- 1-come produrre la valvola dati i componenti validati?
- 2-con quali attrezzature produrla?

Il diagramma di flusso in forma integrale e secondo gli standard Facet viene riportato nella PFMEA nell'appendice.

Di seguito nella figura 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 viene riportata una versione leggibile su A4 per la comprensione delle operazioni e divise per sottogruppi e centri di lavoro.

Questo risulta essere il diagramma di flusso definitivo del prodotto, nel corso dell'analisi si sono assunte diverse internalizzazioni ed esternalizzazioni che hanno trasformato il diagramma nel tempo; in particolare le seguenti operazioni erano state considerate come operazioni da conto lavoristi, e successivamente una loro parte sono state inserite all'interno del flusso o viceversa:

- Tutto il SG trasmissione fatto in isola 27 era stato considerato da conto lavoristi esterni, successivamente si è mantenuta come operazione esterna la sola produzione del SG corona comprendente il sovrastampaggio della corona sull'albero e dell'incollaggio del magnete.
- Saldatura tig dello stelo e della sede cuscinetto è stata considerata una lavorazione interna all'isola 16, tuttavia come si può vedere nel capitolo 4.5 tramite la "spaghetti chart", tale operazione "sporca" il flusso delle operazioni quindi si è deciso di esternalizzarla.

LEGENDA:

Componente

SG finale

Operazione

Condizione

Centro di lavoro
di competenza

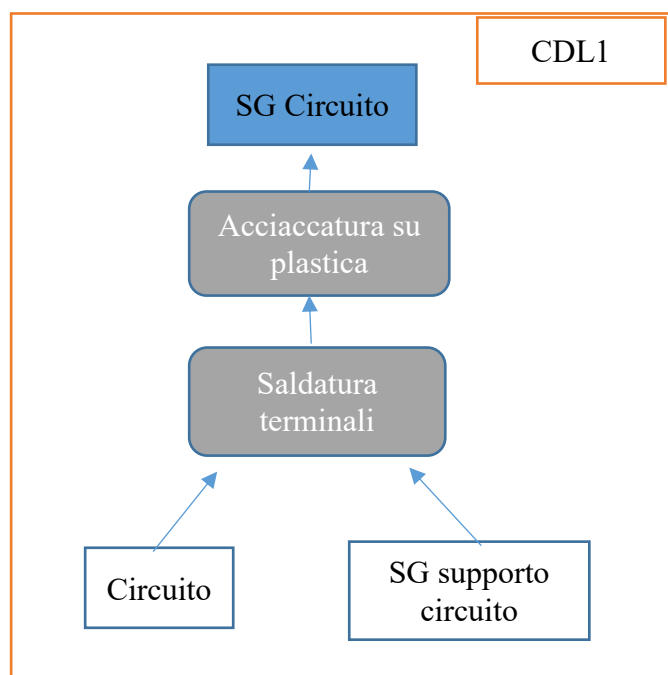


Figura 3.1 DDF SG circuito

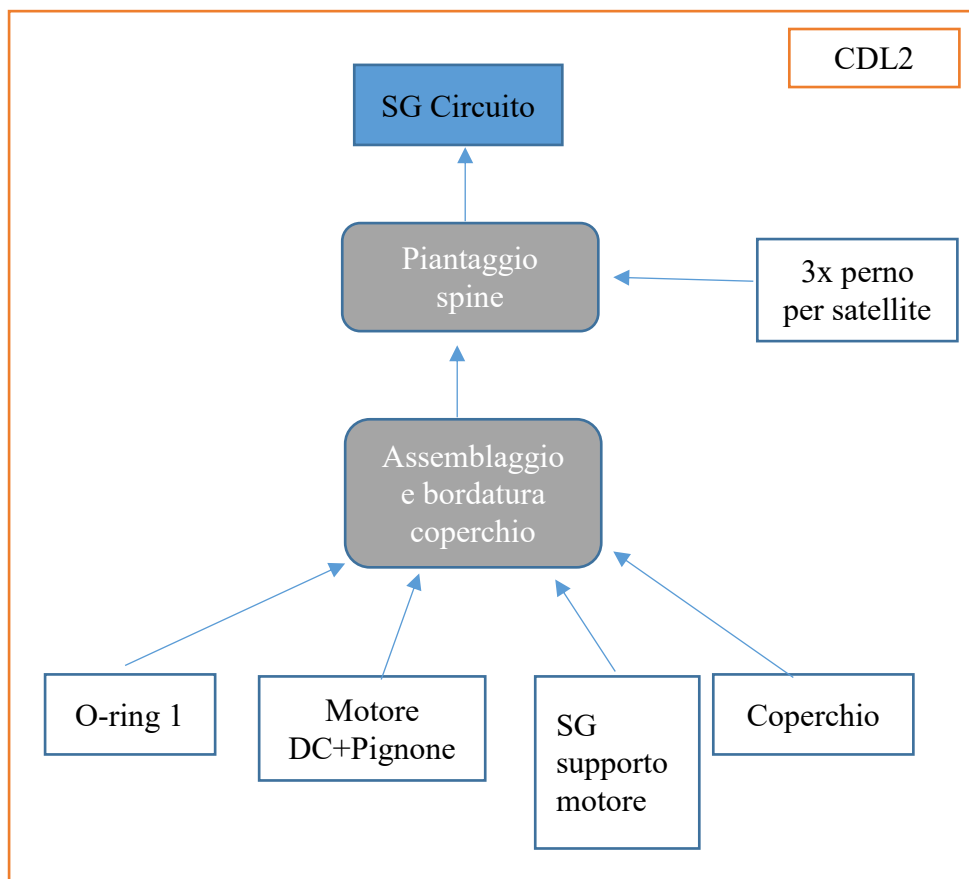


Figura 3.2 DDF SG motore

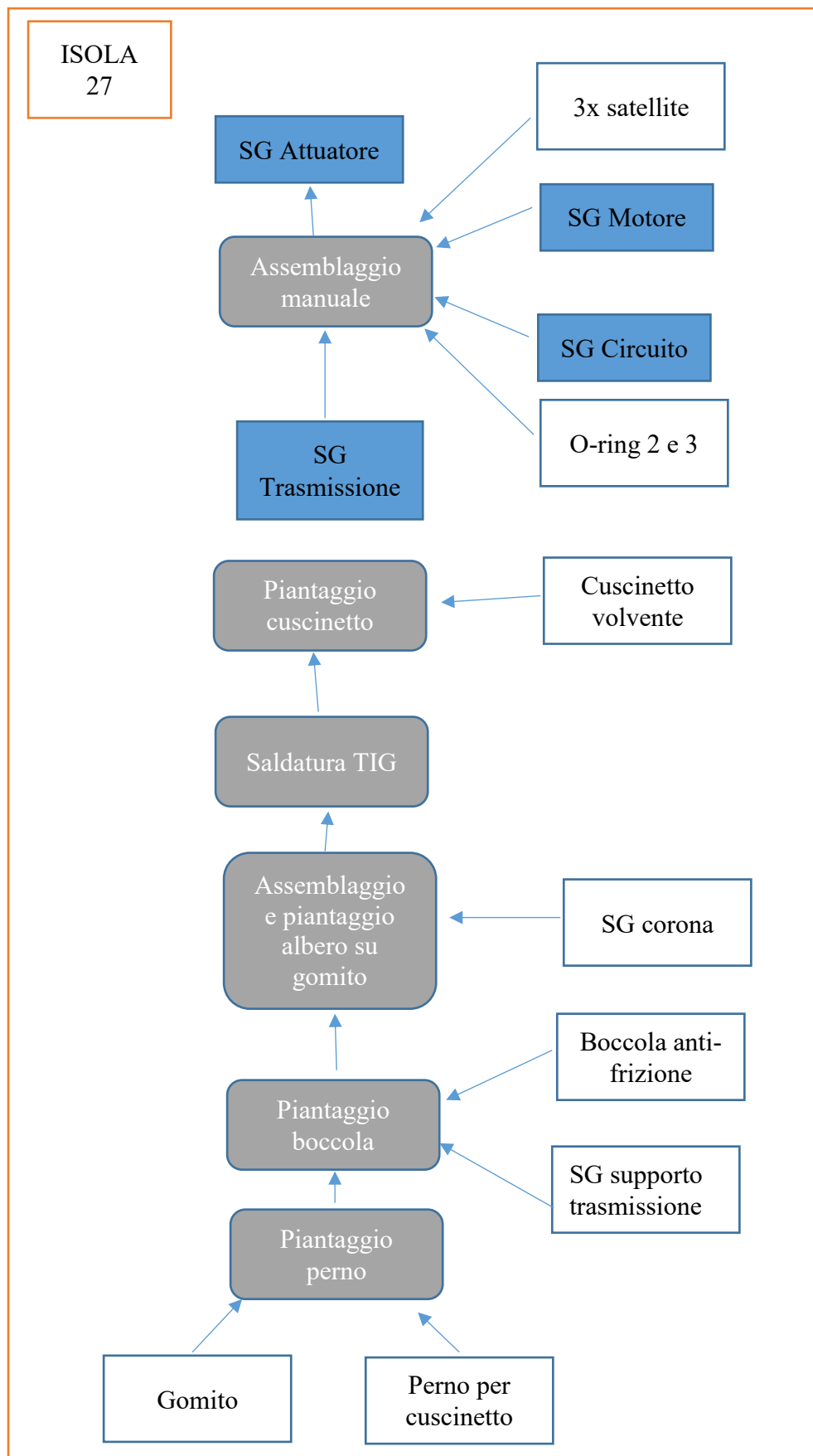


Figura 3.3 DDF SG Attuatore

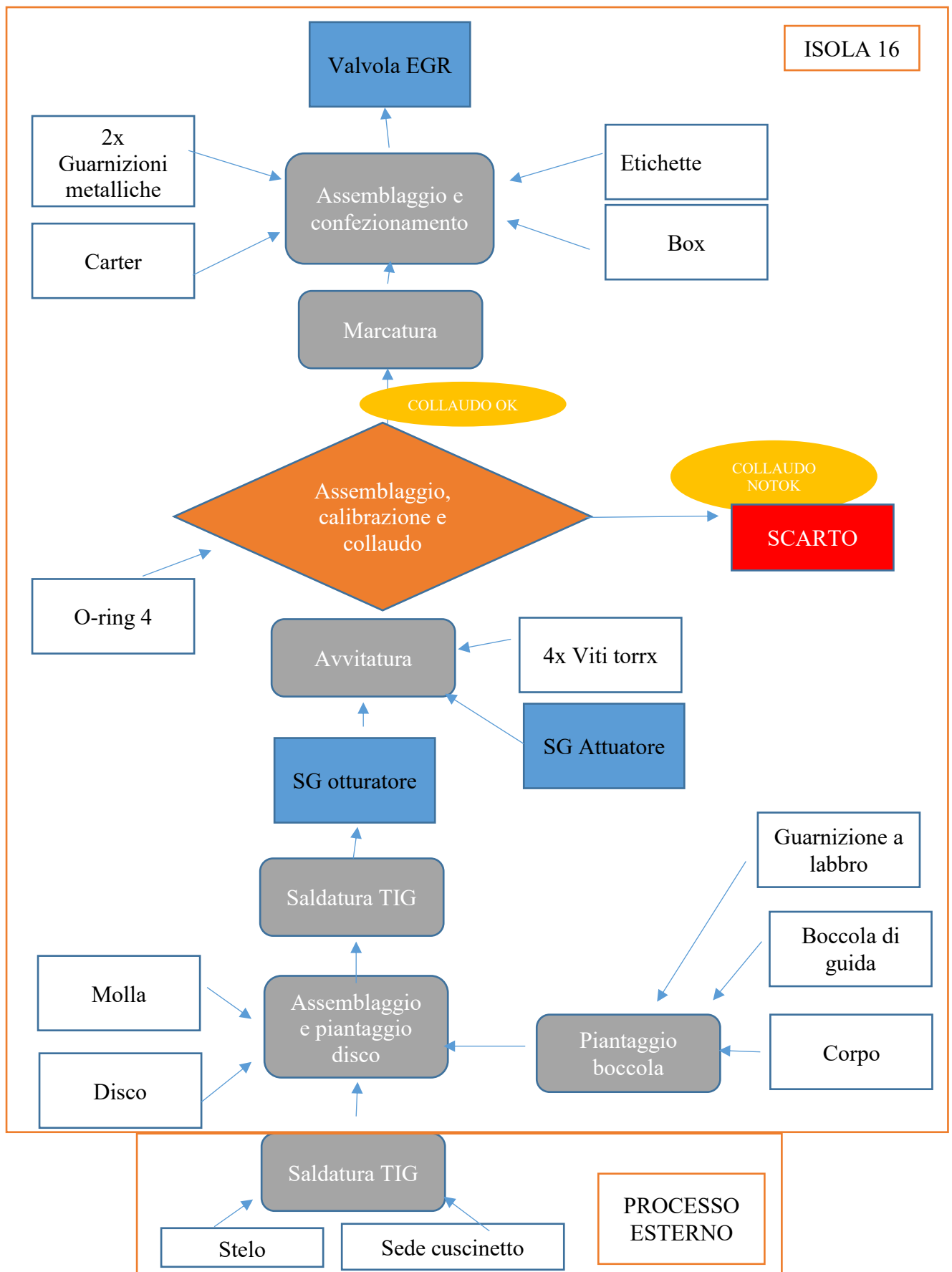


Figura 3.4 DDF valvola

3. PFMEA

Diagramma di flusso

In particolare i seguenti sottogruppi, che nei diagrammi di flusso vengono visti come componenti, provengono da lavorazioni esterne e consistono in:

- SG supporto circuito: sovrastampaggio di terminali A,B,C,D,E e 4x boccole passa-vite,
- SG supporto motore: sovrastampaggio di terminali motore dx, sx e 4x boccole passa-vite.
- SG supporto trasmissione: sovrastampaggio di 4x boccole passa-vite.
- SG corona: sovrastampaggio della corona sull'albero e successivamente incollaggio del magnete sull'albero.

3.3 Matrice delle correlazioni

Questa matrice consiste nell'elencare la funzione del processo, ossia una descrizione dello scopo di ogni operazione e associata il proprio centro di lavoro di competenza e numero operazione.

La funzione del processo descrive il proposito o l'intento dell'operazione. Si raccomanda un'analisi del rischio al fine di limitare il numero di fasi da includere solo a quelli che aggiungono valore o altrimenti risultano avere probabilmente un impatto negativo sul prodotto. Se ci sono funzioni di processo multiple da analizzare riguardo a una data operazione, ognuna deve essere allineata sul modulo con i suoi rispettivi "Requisiti" per aiutare lo sviluppo delle modalità di guasto associate.

Tramite il diagramma di flusso si costruisce il ciclo per la realizzazione della valvola e di seguito vengono descritte in modo più dettagliato le operazioni con la propria funzione e centro di competenza riportate nella matrice delle correlazioni:

- CDL 1:
 - 0010- inserire il motore DC nel supporto motore e appoggiare l'o-ring 1 sulla propria sede sul supporto motore, successivamente effettuare la bordatura del coperchio;
 - 0020- effettuare il piantaggio dei tre perni per satellite sul supporto motore;
- CDL 2:
 - 0010- Saldatura a stagno dei tre terminali di feedback sul circuito attraverso filo in bronzo;
 - 0020- Acciacatura della plastica del supporto circuito sul circuito in modo da fissarlo;
- ISOLA 27:
 - 0010- Piantare il perno per cuscinetto sul gomito;
 - 0020- Piantare la boccola anti-frizione sul supporto trasmissione;
 - 0030- Inserire il sottogruppo corona (composto da corona costampata, albero e magnete incollato) nel supporto trasmissione e successivamente piantare il gomito sull'albero;
 - 0035- Saldare il gomito con l'albero di trasmissione piantato nella operazione precedente;
 - 0040- Piantare il cuscinetto sul perno cuscinetto;
 - 0050- Cliccare i tre sottogruppi, motore, circuito e trasmissione interponendo due o-ring (2 e 3);
- ISOLA 16:
 - 0020- Inserire la guarnizione a labbro nella boccola e successivamente piantare la boccola nel corpo pressofuso;
 - 0030- Inserire la molla e il sottogruppo composto da stelo e sede cuscinetto saldati nel corpo, successivamente comprimere la molla tramite una attrezzatura e piantare il disco sullo stelo;
 - 0050- Saldare il disco e lo stelo della operazione precedente;

3. PFMEA

Matrice delle correlazioni

- 0060- Avvitare il sottogruppo attuatore con il sottogruppo otturatore;
- 0070- Inserire l'o-ring 4 nella sua sede sul corpo, successivamente calibrare il sensore e collaudare la valvola;
- 0090- Marcatura del codice Facet sul corpo;
- 0100- Cliccare il carter sul corpo e confezionare la valvola con scatola, etichetta e accessori (guarnizioni metalliche).

I centri di lavoro di competenza in questa fase vengono assegnati alle operazioni, ma descritti e (ri) progettati nel capitolo 4.5; in particolare ISOLA 27 e ISOLA 16 sono esistenti in reparto per la produzione delle valvole pneumatiche e a solenoide quindi sono stati riadattati per poter accogliere anche questa tecnologia, i CDL 1 e 2 invece risultano nuovi.

3.4 Matrice dei rischi

La matrice dei rischi viene utilizzata come strumento principale dell'analisi, sono riassunte:

- analisi del ciclo
- analisi dei fallimenti
- prevenzione e rilevazione
- SOD e azioni di ottimizzazione

Analogamente a quello che succede per la DFMEA nella PFMEA nella matrice dei rischi vengono indicati i seguenti punti, tuttavia la loro definizione differisce dalla DFMEA come segue:

1. FM (failure mode): modalità di rottura del prodotto o di fallimento dell'operazione
2. FE (failure effect): conseguenze del fallimento sul cliente, sulla operazione successiva e sull'operatore in termini di sicurezza
3. FC (failure cause): caratteristica del processo andata storta che può ricadere in: macchine (set-up macchina, parametri ecc), operatori (istruzioni di lavoro, anti-inversione, poka-yoke ecc), materiali (olio, grasso ecc), ambiente (umido, contaminato, poco luminoso ecc)

Le frasi utilizzate per questa struttura devono contenere informazioni tecniche e specifiche, non devono essere frasi ambigue che possono subire diverse interpretazioni in base al lettore.

Successivamente alla analisi dei rischi si attuano azioni di prevenzione e controllo:

4. Controllo di prevenzione: anticipare il guasto
5. Controllo di rilevazione: rilevare il guasto se presente

I controlli di rilevazione vengono fatti in modo da individuare lo scarto prima della vendita del prodotto; quando la percentuale di scarti risulta troppo elevata si apre una indagine di analisi del motivo degli scarti, inserendo eventualmente un ulteriore controllo di rilevazione.

Queste ultime due colonne descritte saranno quindi gli output principali della DFMEA. L'insieme di tutte le righe sulla colonna della prevenzione saranno le caratteristiche da specificare o da adottare durante il processo, mentre quelle sulla rilevazione costituiranno il piano di controllo del centro di lavoro. Questo è riassumibile in figura 3.5.

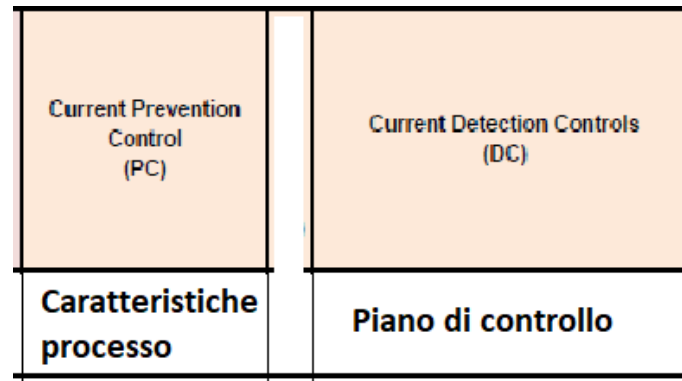


Figura 3.5 output PFMEA

Tornando al caso studio della valvola EGR a motore DC quindi è possibile portare avanti l'analisi descritta sopra per ogni operazione del processo di fabbricazione della valvola. Per semplicità di lettura verranno descritte un elenco di caratteristiche che si possono individuare e successivamente si entrerà nel merito della singola operazione e delle modalità di guasto che la caratterizzano.

La versione completa di questa analisi è possibile visionarla sulla PFMEA presente nell'appendice.

Caratteristiche generali: (FC)

1. Incoming di ogni componente in isola
 - Codice errato sulla busta oppure assenza di codice
 - Codice giusto sulla busta ma componente sbagliato
 - Busta o confezione non adatta a proteggere il componente (i componenti arrivano in isola danneggiati)
 - Stampa errata di distinta base e/o disegni a reparto
2. Operazioni: (FC)
 - Verso sbagliato di assemblaggio (possibile mancanza dei anti-inversione sul componente previsto in fase DFMEA)
 - Dimenticanza di un componente (eventuale poka-yoke dove possibile su componenti o tramite attrezzature)
 - Arrivare a fine corsa nel montaggio su una attrezzatura per consentire la corretta lavorazione
 - Montaggio di attrezzature nel set-up macchina errato
 - Parametri inseriti nel set-up macchina errati
 - Grado di pulizia dell'utensile per le operazioni che lo richiedono
 - Utilizzo dei guanti per operazioni che richiedono elevato grado di pulizia
 - Utilizzo di occhiali per saldature
 - Poka-yoke su ogni posaggio

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



Le caratteristiche generali sopra descritte verranno meglio specificate per ogni operazione del ciclo in FM, FE, FC, PC e DC nella tabella 3.1.

La versione integrale della matrice dei rischi è possibile visionarla nell'appendice.

Operazione	CDL	FM	FE	FC	PC	DC
<i>Incoming per ogni componente</i>	<i>Tutti</i>	<i>Non è possibile riconoscere il componente</i>	<i>Non è possibile iniziare la produzione</i>	<i>Codice sbagliato o assente su busta</i>	<i>Verificare la correttezza di ogni busta e codice</i>	<i>Verificare durante l'approvazione di avvio produzione</i>
<i>Incoming per ogni componente</i>	<i>Tutti</i>	<i>Componente sbagliato</i>	<i>Scarto nella prossima operazione</i>	<i>Codice corretto ma componente errato</i>	<i>Verificare la correttezza di ogni busta e codice</i>	<i>Verificare durante l'approvazione di avvio produzione</i>
<i>Incoming per ogni componente</i>	<i>Tutti</i>	<i>Componente danneggiato</i>	<i>Scarto nella prossima operazione</i>	<i>Confezione non adatta</i>	<i>Verificare la compatibilità e resistenza della confezione</i>	<i>Verificare durante l'approvazione di avvio produzione</i>
<i>Incoming per ogni componente</i>	<i>Tutti</i>	<i>Componente sbagliato oppure assemblaggio sbagliato</i>	<i>Scarto nella prossima operazione</i>	<i>Stampa sbagliata di DB e/o disegni</i>	<i>Verificare la corretta stampa in accordo con il codice</i>	<i>Verificare durante l'approvazione di avvio produzione</i>
<i>0010-bordatura coperchio</i>	<i>CDL1</i>	<i>Montare il motore DC capovolto</i>	<i>Scarto nella prossima operazione</i>	<i>Montare il motore DC capovolto</i>	<i>Istruzioni di lavoro che illustrano il corretto verso e anti-inversione sui componenti</i>	<i>Verificare durante l'approvazione di avvio produzione</i>
<i>0010-bordatura coperchio</i>	<i>CDL1</i>	<i>o-ring rotto o fuori sede durante la compressione</i>	<i>Sul cliente. Umidità in contatto con il motore DC. Valvola non funzionante</i>	<i>Montare l'o-ring fuori sede</i>	<i>Istruzioni di lavoro che illustrano il corretto verso</i>	<i>Verificare durante l'approvazione di avvio produzione e eventuale luce rossa sulla pressa</i>
<i>0010-bordatura coperchio</i>	<i>CDL1</i>	<i>Montare il coperchio capovolto</i>	<i>Scarto nella prossima operazione</i>	<i>Montare il coperchio capovolto</i>	<i>Istruzioni di lavoro che illustrano il corretto verso</i>	<i>Verificare durante l'approvazione di avvio produzione</i>
<i>0010-bordatura coperchio</i>	<i>CDL1</i>	<i>Dimenticare il motore DC durante l'assemblaggio</i>	<i>Scarto in collaudo</i>	<i>Dimenticare il motore DC durante l'assemblaggio</i>	<i>Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione</i>	<i>Testare la valvola completa</i>
<i>0010-bordatura coperchio</i>	<i>CDL1</i>	<i>Dimenticare l'o-ring durante il montaggio</i>	<i>Sul cliente. Umidità in contatto con il motore DC. Valvola non funzionante</i>	<i>Dimenticare l'o-ring durante il montaggio</i>	<i>Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio</i>	<i>Controllo visivo e luce rossa sulla pressa</i>

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



					<i>nella stazione</i>	
0010- bordatura coperchio	CDL1	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca la bordatura coperchio	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0010- bordatura coperchio	CDL1	Il sottogruppo si rompe durante la bordatura perché è stato posizionato al contrario sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca la bordatura coperchio	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0010- bordatura coperchio	CDL1	Manca la bordatura perché la forza è troppo bassa	Sul cliente. Umidità in contatto con il motore DC. Valvola non funzionante	Forza di compression e troppo bassa	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa. L'operatore muove il coperchio.
0010- bordatura coperchio	CDL1	Il sottogruppo si rompe durante la bordatura perché la forza è eccessiva	Scarto nella prossima operazione	Forza di compression e troppo alta	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa.
0020- piantaggio perno per satellite	CDL1	Dimenticare i 3 perni o qualcuno di questi	Scarto in collaudo	Dimenticare i 3 perni o qualcuno di questi	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Verificare distinta base durante l'approvazione di avvio produzione
0020- piantaggio perno per satellite	CDL1	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0020- piantaggio perno per satellite	CDL1	Il sottogruppo si rompe durante il piantaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0020- piantaggio perno per satellite	CDL1	Mancata compressione perché forza bassa	Scarto nella prossima operazione perché	Forza troppo bassa	La pressa manuale ha un fine corsa	Controllo visivo e l'operatore prova a muovere le spine

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



			<i>manca il piantaggio</i>			
0010-saldatura terminali	CDL2	Montare il circuito capovolto	Scarto in collaudo	Montare il circuito capovolto	Istruzioni di lavoro e poka-yoke sul componente	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0010-saldatura terminali	CDL2	Deposito di sporco sul circuito durante il montaggio	Scarto in collaudo	Prendere il circuito con le mani	Indossare i guanti e usare le pinze per posizionare il circuito	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0010-saldatura terminali	CDL2	Dimenticarsi di saldare tutti e tre i terminali	Scarto in collaudo	Dimenticarsi di saldare tutti e tre i terminali	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Collaudo valvola completa
0010-saldatura terminali	CDL2	Manca la saldatura perché la temperatura è troppo bassa	Scarto in collaudo	Temperatura della saldatrice troppo bassa	Luce sulla saldatrice quando arriva a temperatura	Controllo visivo
0010-saldatura terminali	CDL2	Saldatura non accettabile	Scarto in collaudo	Presenza di sporco sull'utensile saldatore	Istruzioni sulla pulizia periodica dell'utensile	Controllo visivo
0010-saldatura terminali	CDL2	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca la saldatura	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0010-saldatura terminali	CDL2	Il sottogruppo si rompe durante la saldatura	Scarto nella prossima operazione perché manca la saldatura	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0020-acciacatura plastica	CDL2	Manca la saldatura perché la temperatura è troppo bassa	Scarto in collaudo	Temperatura della saldatrice troppo bassa	Luce sulla saldatrice quando arriva a temperatura	Controllo visivo
0020-acciacatura plastica	CDL2	Saldatura non accettabile	Scarto in collaudo	Presenza di sporco sull'utensile saldatore	Istruzioni sulla pulizia periodica dell'utensile	Controllo visivo
0020-acciacatura plastica	CDL2	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca la saldatura	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0020- acciacatura plastica	CDL2	Il sottogruppo si rompe durante la saldatura	Scarto nella prossima operazione perché manca la saldatura	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0010- piantaggio perno per cuscinetto	ISOLA 27	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0010- piantaggio perno per cuscinetto	ISOLA 27	Il sottogruppo si rompe durante il piantaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0010- piantaggio perno per cuscinetto	ISOLA 27	Perno bloccato nell'attrezzo	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Tolleranza sbagliata sull'attrezzo	Tolleranza sull'attrezzo in base a quelle del perno	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione sui primi 100 pezzi
0010- piantaggio perno per cuscinetto	ISOLA 27	Mancata compressione perché la forza troppo bassa	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo bassa	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa. L'operatore muove il perno.
0010- piantaggio perno per cuscinetto	ISOLA 27	Il sottogruppo si rompe perché la forza è troppo alta	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo alta	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa.
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 27	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 27	Il sottogruppo si rompe durante il piantaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 27	Montare la boccola capovolta	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Montare la boccola capovolta	Istruzioni di lavoro e anti- inversione sul componente	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 27	Mancata compressione perché la forza troppo bassa	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo bassa	La pressa manuale ha un fine corsa.	L'operatore prova a muovere la boccola
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 27	Dimenticare la boccola durante il montaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Dimenticare la boccola durante il montaggio	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio gomito	ISOLA 27	Montare il supporto trasmissione capovolto sull'albero	Scarto in operazione successiva	Montare il supporto trasmissione capovolto sull'albero	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio gomito	ISOLA 27	Montare il gomito capovolto sull'albero	Scarto nella prossima operazione per piantaggio gomito errato	Montare il gomito capovolto sull'albero	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio gomito	ISOLA 27	Dimenticare il supporto trasmissione durante il montaggio	Scarto nella prossima operazione	Dimenticare il supporto trasmissione durante il montaggio	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio gomito	ISOLA 27	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio gomito	ISOLA 27	Il sottogruppo si rompe durante il piantaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0030- piantaggio gomito	ISOLA 27	Il posaggio danneggia il magnete	Scarto in collaudo	Il posaggio danneggia il magnete	Zona dell'attrezzatur a attorno al magnete in teflon	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio gomito	ISOLA 27	Mancata compressione perché la forza troppo bassa	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo bassa	La pressa manuale ha un fine corsa.	L'operatore prova a muovere il gomito
0035- saldatura tig del gomito	ISOLA 27	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca la saldatura	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0035- saldatura tig del gomito	ISOLA 27	Il sottogruppo si rompe durante la saldatura	Scarto nella prossima operazione perché manca la saldatura	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0035- saldatura tig del gomito	ISOLA 27	Posizione sbagliata della saldatura perché utensile non affilato	Scarto nella prossima operazione perché saldatura sbagliata	Mancano le istruzioni sull'affilatur a dell'utensile saldatore	Istruzioni sull'affilatura utensile saldatore	L'operatore verifica visivamente la saldatura
0035- saldatura tig del gomito	ISOLA 27	Mancata saldatura perché parametri di saldatura troppo bassi	Scarto nella prossima operazione perché saldatura sbagliata	Parametri tempo, flusso di gas argon, rampa di riscaldament o troppo bassi	Parametri da controllare: tempo, flusso di gas argon, rampa di riscaldamento	La saldatrice individua i minimi valori con luce rossa. L'operatore muove il gomito.
0035- saldatura tig del gomito	ISOLA 27	Mancata saldatura perché parametri di saldatura troppo alti	Scarto nella prossima operazione perché saldatura sbagliata	Parametri tempo, flusso di gas argon, rampa di riscaldament o troppo alti	Parametri da controllare: tempo, flusso di gas argon, rampa di riscaldamento	La saldatrice individua i massimi valori con luce rossa. L'operatore muove il gomito.
0040- piantaggio cuscinetto	ISOLA 27	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0040- piantaggio cuscinetto	ISOLA 27	Il sottogruppo si rompe durante il piantaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0040- piantaggio cuscinetto	ISOLA 27	Utensile danneggiato	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Dimenticare di usare l'olio	Contenitore dell'olio visibile sul banco	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0040- piantaggio cuscinetto	ISOLA 27	Eccessiva deformazione	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Eccessivo riscaldamento	Calibrare il riscaldatore	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0040- piantaggio cuscinetto	ISOLA 27	Dimenticare il foglio di metallo tra supporto trasmissione e gomito	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Supporto trasmissione danneggiato	Fissare il foglio metallico alle attrezzature sul banco	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0040- piantaggio cuscinetto	ISOLA 27	Mancata compressione perché la forza troppo bassa	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo bassa	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa. L'operatore muove il cuscinetto.
0040- piantaggio cuscinetto	ISOLA 27	Il sottogruppo si rompe perché la forza è troppo alta	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo alta	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa.
0050- assemblaggio attuatore	ISOLA 27	Montare i satelliti capovolti	Scarto nella prossima operazione	Montare i satelliti capovolti	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0050- assemblaggio attuatore	ISOLA 27	Dimenticare i tre satelliti o qualcuno di questi	Scarto in collaudo	Dimenticare i tre satelliti o qualcuno di questi	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Verificare la distinta base durante l'approvazione di avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0050- assemblaggio attuatore	ISOLA 27	Dimenticare i due o-ring o qualcuno di questi	Sul cliente. Umidità a contatto con motore DC e la valvola non funziona	Dimenticare i due o-ring o qualcuno di questi	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Verificare la distinta base durante l'approvazione di avvio produzione
0050- assemblaggio attuatore	ISOLA 27	o-ring rotto durante l'assemblaggi o	Sul cliente. Umidità a contatto con motore DC e la valvola non funziona	Montare l'o- ring fuori dalla sede sul supporto circuito	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0050- assemblaggio attuatore	ISOLA 27	Montare il sottogruppo motore ruotato	Scarto in collaudo	Montare il sottogruppo motore ruotato	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio e poka-yoke su supporto circuito	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0050- assemblaggio attuatore	ISOLA 27	Montare il sottogruppo trasmissione ruotato	Scarto in collaudo	Montare il sottogruppo trasmissione ruotato	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio e poka-yoke su supporto circuito	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0050- assemblaggio attuatore	ISOLA 27	Dimenticarsi il sottogruppo circuito o motore o trasmissione	Scarto nella prossima operazione	Dimenticarsi il sottogruppo circuito o motore o trasmissione	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Collaudo valvola
0050- assemblaggio attuatore	ISOLA 27	Dimenticarsi di cliccare i sottogruppi	Scarto in collaudo	Dimenticarsi di cliccare i sottogruppi	Raggiungere il fine-corsa sui sottogruppi	L'operatore muove il sottogruppo e controllo uditivo del cliccaggio
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 16	Montare la guarnizione a labbro capovolta	Sul cliente. Possibile malfunzionamento del motore e riduzione della potenza	Montare la guarnizione a labbro capovolta	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 16	Montare la boccola capovolta	Scarto nella prossima operazione	Montare la boccola capovolta	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio e poka-yoke sull'attrezzatura	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 16	Dimenticare la guarnizione a labbro	Sul cliente. Possibile malfunziona- mento del motore e riduzione della potenza	Dimenticare la guarnizione a labbro	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Controllo visivo
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 16	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 16	Il sottogruppo si rompe durante il piantaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 16	Mancata compressione perché la forza troppo bassa	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo bassa	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa. L'operatore muove la boccola.
0020- piantaggio boccola anti- frizione	ISOLA 16	Il sottogruppo si rompe perché la forza è troppo alta	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo alta	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa.
0030- piantaggio disco	ISOLA 16	Montare la molla capovolta	Scarto in collaudo	Montare la molla capovolta	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio disco	ISOLA 16	Dimenticarsi la molla	Scarto in collaudo	Dimenticarsi la molla	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Collaudo valvola
0030- piantaggio disco	ISOLA 16	Montare sg stelo e sede cuscinetto in posizione sbagliata	Scarto nella prossima operazione	Montare sg stelo e sede cuscinetto in posizione sbagliata	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio e poka-yoke su posaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0030- piantaggio disco	ISOLA 16	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio disco	ISOLA 16	Il sottogruppo si rompe durante il piantaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio disco	ISOLA 16	Non si monta il disco perché non ho compresso la molla	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0030- piantaggio disco	ISOLA 16	Mancata compressione perché la forza troppo bassa	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo bassa	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa. L'operatore muove il disco.
0030- piantaggio disco	ISOLA 16	Il sottogruppo si rompe perché la forza è troppo alta	Scarto nella prossima operazione perché manca il piantaggio	Forza troppo alta	Forza è una caratteristica di processo	La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa.
0050- saldatura tig stelo	ISOLA 16	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca la saldatura	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0050- saldatura tig stelo	ISOLA 16	Il sottogruppo si rompe durante il piantaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca la saldatura	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0050-saldatura tig stelo	ISOLA 16	Posizione sbagliata della saldatura perché utensile non affilato	Scarto nella prossima operazione perché saldatura sbagliata	Mancano le istruzioni sull'affilatura dell'utensile saldatore	Istruzioni sull'affilatura utensile saldatore	L'operatore verifica visivamente la saldatura
0050-saldatura tig stelo	ISOLA 16	Mancata saldatura perché parametri di saldatura troppo bassi	Scarto nella prossima operazione perché saldatura sbagliata	Parametri tempo, flusso di gas argon, rampa di riscaldamento o troppo bassi	Parametri da controllare: tempo, flusso di gas argon, rampa di riscaldamento	La saldatrice individua i minimi valori con luce rossa. L'operatore muove il gomito.
0050-saldatura tig stelo	ISOLA 16	Mancata saldatura perché parametri di saldatura troppo alti	Scarto nella prossima operazione perché saldatura sbagliata	Parametri tempo, flusso di gas argon, rampa di riscaldamento o troppo alti	Parametri da controllare: tempo, flusso di gas argon, rampa di riscaldamento	La saldatrice individua i massimi valori con luce rossa. L'operatore muove il gomito.
0060-avvitatura	ISOLA 16	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca l'avvitatura	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0060-avvitatura	ISOLA 16	Il sottogruppo si rompe durante il piantaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca l'avvitatura	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0060-avvitatura	ISOLA 16	Montare il sottogruppo otturatore in modo sbagliato sull'attuatore	Scarto in collaudo	Montare il sottogruppo otturatore in modo sbagliato sull'attuatore	Istruzione di lavoro sulla posizione del montaggio e poka yoke sul posaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0060-avvitatura	ISOLA 16	Dimenticare le quattro viti o qualcuna di esse	Sul cliente. L'umidità entra in contatto con il motore DC e la valvola non funziona	Dimenticare le quattro viti o qualcuna di esse	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Verificare la distinta base durante l'approvazione ad avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0060-avvitatura	ISOLA 16	Mancata compressione perché la coppia è troppo bassa	Sul cliente. L'umidità entra in contatto con il motore DC e la valvola non funziona	Coppia troppo bassa	Coppia è una caratteristica di processo	L'avvitatore raggiunge un valore minimo di coppia in un determinato tempo in una specifica quota. L'operatore muove le viti.
0060-avvitatura	ISOLA 16	Il sottogruppo si rompe perché la coppia è troppo alta	Scarto nella prossima operazione perché manca l'avvitatura	Coppia troppo alta	Coppia è una caratteristica di processo	L'avvitatore raggiunge un valore massimo di coppia in un determinato tempo in una specifica quota.
0070-calibrazione e collaudo	ISOLA 16	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Scarto nella prossima operazione perché manca calibrazione e collaudo	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0070-calibrazione e collaudo	ISOLA 16	Il sottogruppo si rompe durante il test	Scarto nella prossima operazione perché manca calibrazione e collaudo	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0070-calibrazione e collaudo	ISOLA 16	Connessione o uscita dei pin errata	Scarto nella prossima operazione perché manca calibrazione e collaudo	Connessione o uscita dei pin errata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0070-calibrazione e collaudo	ISOLA 16	Falso scarto	Falso scarto	Ricetta dei parametri errata	Creazione di schede set-up dei parametri isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0090-marcatura	ISOLA 16	Il sottogruppo non monta sul posaggio	Marcatura mancante	Attrezzatura sbagliata	Creazione di schede set-up isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0090-marcatura	ISOLA 16	Il sottogruppo si rompe durante la marcatura	Marcatura mancante o sbagliata	Manca un poka-yoke di posizione sulla attrezzatura	La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione

3. PFMEA

3.4 Matrice dei rischi



0090- marcatura	ISOLA 16	Marcatura mancante	Marcatura mancante o sbagliata	Marcatura mancante	Creazione di schede set-up dei parametri isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0090- marcatura	ISOLA 16	Codice marcato errato	Marcatura mancante o sbagliata	Codice marcato errato	Creazione di schede set-up dei parametri isola	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0100- confezioname nto	ISOLA 16	Dimenticare il carter	Sul cliente. Gas si disperdono nella valvola e non funziona	Dimenticare il carter	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Verificare la distinta base durante l'approvazione di avvio produzione
0100- confezioname nto	ISOLA 16	Montare male il carter	Sul cliente. Possibile malfunziona mento del motore e riduzione della potenza	Montare male il carter	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0100- confezioname nto	ISOLA 16	Dimenticare le guarnizioni metalliche	Sul cliente. Gas si disperdono nell'ambien te	Dimenticare le guarnizioni metalliche	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0100- confezioname nto	ISOLA 16	Dimenticarsi la valvola nel confezioname nto	Sul cliente. reclamo	Dimenticarsi la valvola nel confezionam ento	Istruzioni di lavoro e posizione dei componenti in ordine di montaggio nella stazione	Pesatura della confezione
0100- confezioname nto	ISOLA 16	Inserire la valvola capovolta	Sul cliente. Possibile valvola danneggiata	Inserire la valvola capovolta	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio	Verificare durante l'approvazione di avvio produzione
0100- confezioname nto	ISOLA 16	Non chiusura completa della scatola	Sul cliente. Possibile valvola danneggiata	Non chiusura completa della scatola	Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio	Controllo visivo

Tabella 3.1 Risk matrix PFMEA

3.4 Scale SOD e azioni

Le scale **S-O-D**, acronimo di severity, occurrence e detection, quantificano tutte le modalità di guasto secondo:

- gravità dell'effetto (S)
- probabilità di accadimento (O)
- rilevabilità del guasto (D)

Ad ognuno dei tre fattori sarà assegnato un punteggio da 1 a 10, in cui (per le voci "S" e "O") 1 rappresenta la condizione di minimo rischio e 10 quella di massimo rischio (per la voce "D" minore è il punteggio - ad esempio 1 - maggiore è la possibilità di rilevamento del modo di guasto).

I punteggi vengono assegnati secondo scale non lineari in modo da garantire una corretta ponderazione dei tre fattori.

Analogamente alla DFMEA nella pratica vengono utilizzate tabelle pubblicate da AIAG e VDA [3], riportate nelle tabelle 3.2, 3.3, 3.4.

La gravità dell'effetto (S) indica la sicurezza per l'operatore e la percentuale di successo e insuccesso dell'operazione, se necessita di essere ripetuta o subire rielaborazioni per risolvere il problema oppure se è irreversibile, in questo caso l'attenzione è posta sull'efficacia dell'operazione piuttosto che sul prodotto oggetto dell'analisi o sul effetto del cliente, quindi indica quando ci si accorge del danno se si dovesse presentare. In particolare gli effetti indicati nella analisi sono le conseguenze della modalità di guasto, ad ognuno di essi è associato un indice di gravità.

A titolo di esempio di seguito vengono riportati i due effetti maggiormente visibili dalla analisi pfmea della valvola EGR e associato il valore di gravità:

1- Scarto nella prossima operazione.

Indica il caso in cui l'operazione precedente fallisce e non si può passare alla successiva.

Valore di gravità: 7, il 100% è scarto.

2- Sul cliente.

Indica il caso in cui durante le operazioni non ci si accorge del guasto.

Valore di gravità: 7, degradazione di una funzione primaria del veicolo.

Nella tabella 3.1 tratta da [3] è possibile vedere la scala S di riferimento utilizzata:

Process General Evaluation Criteria Severity (S)				
Potential Failure Effects rated according to the criteria below.				
S	Effect	Impact to Your Plant	Impact to Ship-to Plant (when known)	Impact to End User (when known)
10	High	Failure may result in an acute health and/or safety risk for the manufacturing or assembly worker	Failure may result in an acute health and/or safety risk for the manufacturing or assembly worker	Affects safe operation of the vehicle and/or other vehicles, the health of driver or passenger(s) or road users or pedestrians.
9		Failure may result in in-plant regulatory noncompliance	Failure may result in in-plant regulatory noncompliance	Noncompliance with regulations.
8	Moderately high	100% of production run affected may have to be scrapped. Failure may result in in-plant regulatory noncompliance or may have a chronic health and/or safety risk for the manufacturing or assembly worker	Line shutdown greater than full production shift; stop shipment possible; field repair or replacement required (Assembly to End User) other than for regulatory noncompliance. Failure may result in in-plant regulatory noncompliance or may have a chronic health and/or safety risk for the manufacturing or assembly worker.	Loss of primary vehicle function necessary for normal driving during expected service life.
7		Product may have to be sorted and a portion (less than 100%) scrapped; deviation from primary process; decreased line speed or added manpower	Line shutdown from 1 hour up to full production shift; stop shipment possible; field repair or replacement required (Assembly to End User) other than for regulatory noncompliance	Degradation of primary vehicle function necessary for normal driving during expected service life.

Process General Evaluation Criteria Severity (S)					
Potential Failure Effects rated according to the criteria below.					Blank until filled in by user
S	Effect	Impact to Your Plant	Impact to Ship-to Plant (when known)	Impact to End User (when known)	Corporate or Product Line Examples
6	Moderately low	100% of production run may have to be reworked off line and accepted	Line shutdown up to one hour	Loss of secondary vehicle function.	
5		A portion of the production run may have to be reworked off line and accepted	Less than 100% of product affected; strong possibility for additional defective product; sort required; no line shutdown	Degradation of secondary vehicle function.	
4		100% of production run may have to be reworked in station before it is processed	Defective product triggers significant reaction plan; additional defective products not likely; sort not required	Very objectionable appearance, sound, vibration, harshness, or haptics.	
3	Low	A portion of the production run may have to be reworked in-station before it is processed	Defective product triggers minor reaction plan; additional defective products not likely; sort not required	Moderately objectionable appearance, sound, vibration, harshness, or haptics.	
2		Slight inconvenience to process, operation, or operator	Defective product triggers no reaction plan; additional defective products not likely; sort not required; requires feedback to supplier	Slightly objectionable appearance, sound, vibration, harshness, or haptics.	
1	Very low	No discernible effect	No discernible effect or no effect	No discernible effect.	

Tabella 3.2 scala severity

La probabilità (O) indica la possibilità che l'evento succeda dopo l'attuazione delle azioni preventive, in questo caso l'attenzione è posta sulle tipologie di azioni preventive, in particolare indica l'efficacia delle azioni preventive in funzione del grado di innovazione di queste, ad ognuna di esse è associata un indice di probabilità.

A titolo di esempio di seguito vengono riportati due azioni preventive dalla analisi pfmea della valvola EGR e associato il valore di probabilità:

1- Istruzioni di lavoro su corretto verso di montaggio.

Istruzioni di tipo fotografico e testuale che spiegano in modo descrittivo ma anche a buon impatto visivo il corretto verso di montaggio del componente.

Valore di probabilità: 2, azione con elevato impatto.

2- La posizione sul posaggio è permessa in un solo verso.

Inserimento di un sistema poka-yoke su posaggio che evita errori.

Valore di probabilità: 1, azione con impatto quasi nullo.

Nella tabella 3.3 tratta da [3] è possibile vedere la scala O di riferimento utilizzata:

Occurrence Potential (O) for the Process				
Potential Failure Causes rated according to the criteria below. Consider Prevention Controls when determining the best Occurrence estimate. Occurrence is a predictive qualitative rating made at the time of evaluation and may not reflect the actual occurrence. The occurrence rating number is a relative rating within the scope of the FMEA (process being evaluated). For Prevention Controls with multiple Occurrence Ratings, use the rating that best reflects the robustness of the control.				Blank until filled in by user
O	Prediction of Failure Cause Occurring	Type of Control	Prevention Controls	Corporate or Product Line Examples
10	Extremely high	None	No prevention controls.	
9	Very high	Behavioral	Prevention controls will have little effect in preventing failure cause.	
8				
7	High	Behavioral or Technical	Prevention controls somewhat effective in preventing failure cause.	
6				
5	Moderate	Behavioral or Technical	Prevention controls are effective in preventing failure cause.	
4				
3	Low	Best Practices: Behavioral or Technical	Prevention controls are highly effective in preventing failure cause.	
2	Very low			
1	Extremely low	Technical	Prevention controls are extremely effective in preventing failure cause from occurring due to design (e.g. part geometry) or process (e.g. fixture or tooling design). Intent of prevention controls - Failure Mode cannot be physically produced due to the Failure Cause.	

Tabella 3.3 scala occurrence

La rilevabilità (D) indica la probabilità di rilievo del difetto dopo l'attuazione delle azioni di controllo, in questo caso l'attenzione è posta sul controllo del prodotto dell'analisi prima della messa sul mercato. In particolare indica l'efficacia delle azioni di controllo in funzione del grado di innovazione di queste, ad ognuna di esse è associata un indice di rilevabilità.

La scala in questo caso è inversa alle precedenti, cioè 10 non rilievo, 1 rilievo al 100% il difetto.

A titolo di esempio di seguito vengono riportati due azioni di controllo dalla analisi pfmea della valvola EGR e associato il valore di rilevabilità:

1- Verificare durante l'approvazione di avvio produzione.

Valore di rilevabilità: 6, ispezione umana.

2- La pressa raggiunge un valore minimo di pressione in un determinato tempo e segna luce rossa.

Valore di rilevabilità: 3, macchina automatizzata.

Nella tabella 3.4 tratta da [3] è possibile vedere la scala D di riferimento utilizzata:

Detection Potential (D) for the Validation of the Process Design			
Detection Controls rated according to the Detection Method Maturity and Opportunity for Detection.			
D	Ability to Detect	Detection Method Maturity	Opportunity for Detection
10	Very low	No testing or inspection method has been established or is known.	The failure mode will not or cannot be detected.
9		It is unlikely that the testing or inspection method will detect the failure mode.	The failure mode is not easily detected through random or sporadic audits.
8	Low	Test or inspection method has not been proven to be effective and reliable (e.g. plant has little or no experience with method, gauge R&R results marginal on comparable process or this application, etc.).	Human inspection (visual, tactile, audible), or use of manual gauging (attribute or variable) that should detect the failure mode or failure cause.
7			Machine-based detection (automated or semi-automated with notification by light, buzzer, etc.), or use of inspection equipment such as a coordinate measuring machine that should detect failure mode or failure cause.

Detection Potential (D) for the Validation of the Process Design			
Detection Controls rated according to the Detection Method Maturity and Opportunity for Detection.			
D	Ability to Detect	Detection Method Maturity	Opportunity for Detection
6	Moderate	Test or inspection method has been proven to be effective and reliable (e.g. plant has experience with method; gauge R&R results are acceptable on comparable process or this application, etc.).	Human inspection (visual, tactile, audible), or use of manual gauging (attribute or variable) that will detect the failure mode or failure cause (including product sample checks).
5			Machine-based detection (semi-automated with notification by light, buzzer, etc.), or use of inspection equipment such as a coordinate measuring machine that will detect failure mode or failure cause (including product sample checks).
4	High	System has been proven to be effective and reliable (e.g. plant has experience with method on identical process or this application), gauge R&R results are acceptable, etc.	Machine-based automated detection method that will detect the failure mode downstream , prevent further processing or system will identify the product as discrepant and allow it to automatically move forward in the process until the designated reject unload area. Discrepant product will be controlled by a robust system that will prevent outflow of the product from the facility.
3			Machine-based automated detection method that will detect the failure mode in-station , prevent further processing or system will identify the product as discrepant and allow it to automatically move forward in the process until the designated reject unload area. Discrepant product will be controlled by a robust system that will prevent outflow of the product from the facility.
2			Machine-based detection method that will detect the cause and prevent the failure mode (discrepant part) from being produced.
1	Very high	Failure mode cannot be physically produced as-designed or processed, or detection methods proven to always detect the failure mode or failure cause.	

Tabella 3.4 scala detection

L'analisi delle modalità, effetti e cause di guasto sono competenza del progettista che possiede l'intera conoscenza del prodotto; la definizione delle S-O-D viene fatta in team multifunzionale tramite brainstorming.

Lo stesso team successivamente può decidere di rafforzare l'analisi in modo da ridurre ancora i rischi attuando delle azioni correttive.

Le tabelle di riferimento per la pfmea di S-O-D sono diverse da quelle per la dfmea e i valori assumono significati diversi

Le azioni correttive invece assumono la stessa tabella 2.6 indicata nel capitolo 2.6.

Esse vengono definite tramite brainstorming, a supporto viene definita una priorità del rischio, cioè delle modalità di guasto che sono più a rischio di altre rispetto ai valori assegnati di S-O-D.

Il team in base a queste informazioni decide se attivare ulteriori azioni correttive dove è possibile seguendo l'ordine H-M-L.

Analogamente a quanto successo nelle dfmea, per questa analisi specifica si è deciso di attivare azioni per tutte le modalità che sono risultate H e per le modalità di guasto M con un RPN superiore a 100.

Riassumendo:

- AP=H azione attivata
- AP=M e RPN>100 azione attivata
- AP=M e RPN<100 nessuna azione
- AP=L nessuna azione

Successivamente alla definizione delle azioni correttive (dove si è scelto di attuarle) si ripete il ragionamento SOD con i valori abbassati in funzione dell'azione correttiva adottata e si applica nuovamente il metodo delle AP in modo da abbassare il rischio con diversi re-loop.

Di seguito vengono riportati alcuni **esempi** virtuosi [3] della analisi completa SOD e AP sul processo della valvola EGR:

ESEMPIO 1

- Operazione: ISOLA 27 - 0060
- Funzione elementare: Assemblaggio sottogruppi motore, circuito e trasmissione
- Modalità di guasto: l'o-ring si rompe durante il montaggio
- Effetto: sul cliente. L'umidità entra in contatto con il motore DC e la valvola non funziona.
- S: 7
- Causa: montaggio o-ring fuori dalla sede
- Prevenzione: istruzioni di lavoro sul corretto montaggio
- O: 3
- Controllo: verificare durante l'avvio produzione
- D: 6
- Priorità azione: M, RPN=126
- Azione correttiva: utilizzare del grasso per aiutarsi con la operazione di posizionamento dell'o-ring
- Nuovo S: 7
- Nuovo O: 2
- Nuovo D: 6
- Nuova priorità azione: M, RPN=84

ESEMPIO 2

- Operazione: CDL - 0020
- Funzione elementare: Piantaggio dei perni per satellite
- Modalità di guasto: dimenticare uno dei perni o qualcuno di essi
- Effetto: scarto in collaudo
- S: 8
- Causa: dimenticare uno dei perni o qualcuno di essi
- Prevenzione: istruzioni di lavoro e componenti sul banco in ordine di montaggio
- O: 3
- Controllo: verificare la distinta base durante l'avvio produzione
- D: 6
- Priorità azione: Mm RPN=144
- Azione correttiva: fotocellule montate sull'attrezzatura per individuare la presenza di tutti e tre i perni
- Nuovo S: 8
- Nuovo O: 2
- Nuovo D: 6
- Nuova priorità azione: M, RPN=96

[3] A differenza delle analisi strutturali, di funzione e dei rischi; l'analisi SOD e di azioni correttive non vengono pubblicate nel suddetto scritto in quanto parte del know-how aziendale, vengono riportati solo esempi ma non l'analisi completa.

4. DOCUMENTI PER LA PRODUZIONE

L'analisi condotta nei capitoli 2 e 3 oltre a prevenire le modalità di guasto che possono insorgere sul prodotto o sul processo, aiuta il progettista nella stesura di piani completi. Nei sotto-capitoli che seguiranno si entrerà nel dettaglio di questi piani della valvola EGR a motore DC; il contenuto dei documenti utili per la progettazione del prodotto e per la produzione è direttamente ricavabile dalla analisi FMEA.

Nello schema 4.1 e 4.2 è possibile comprendere il collegamento tra l'analisi fatta e i documenti di output:

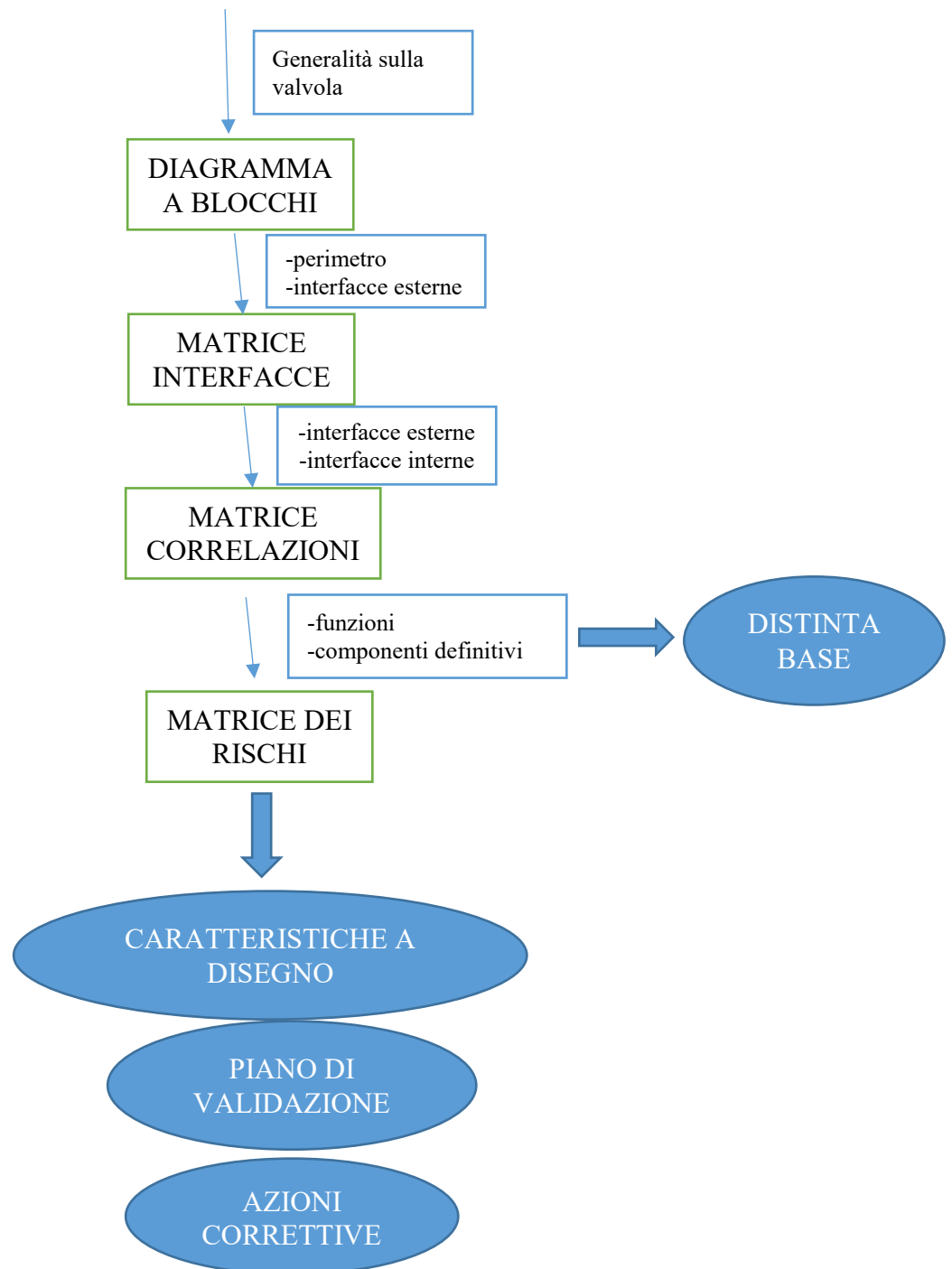


Figura 4.1 input-output DFMEA

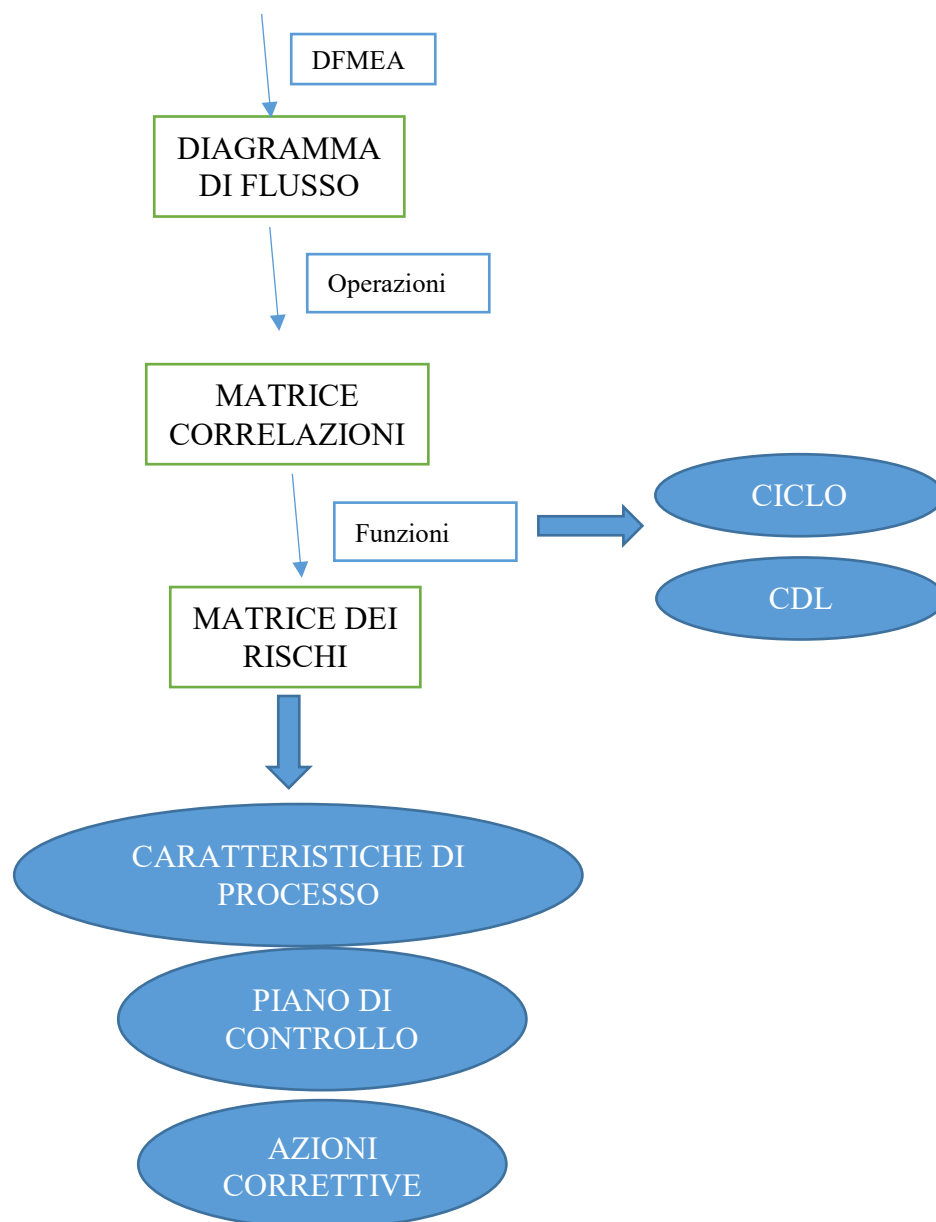


Figura 4.2 input-output PFMEA

4.1 Distinta base

A seguito della analisi è possibile stabilire in modo definitivo la distinta base della valvola, la quale contiene i componenti per lo più di acquisto (compresi sottogruppi in conto lavoro) in modo da codificarli per l'accettazione del magazzino arrivi e stoccaggio.

Di seguito l'elenco dei componenti e sottogruppi con i rispettivi livelli:

<u>COMPONENTE o SOTTOGRUPPO</u>	<u>LIVELLO</u>
- VALVOLA EGR A MOTORE	1
- ETICHETTA NEUTRA	1
- ASTUCCIO FACET	1
- GUARNIZIONE METALLICA	1
- SG ATTUATORE	.2
- SG MOTORE	..3
- SG SUPPORTO MOTORE	...4
- MOTORE DC CON PIGNONE	...4
- COPERCHIO	...4
- O-RING 1	...4
- 3x PERNO PER SATELLITE	...4
- SG CIRCUITO	..3
- SG SUPPORTO CIRCUITO	...4
- CIRCUITO HE	...4
- 2x O-RING 2 e 3	..3
- 3x SATELLITE	..3
- SG TRASMISSIONE	..3
- SG CORONA E MAGNETE	...4
- BOCCOLA ANTIFRIZIONE	...4
- GOMITO	...4
- CUSCINETTO	...4
- PERNO PER CUSCINETTO	...4
- SG SUPPORTO TRASMISSIONE	...4
- SG OTTURATORE	.2
- CORPO PRESSOFUSO	..3
- BOCCOLA GUIDA PER STELO	..3
- ANELLO DI TENUTA	..3
- SG STELO E SEDE CUSCINETTO	..3
- STELO	...4
- SEDE CUSCINETTO	...4
- DISCO VALVOLA	..3
- MOLLA CONICA	..3
- O-RING 4	..3
- CARTER	.2
- 4x VITE TORX M6 X 40	.2

4.2 Caratteristiche del prodotto

Tramite l'analisi DFMEA è possibile individuare le caratteristiche del prodotto che necessitano di controlli di entità diversa in fase di validazione, accettazione e/o produzione. Per definire queste caratteristiche si utilizzano le classi che come "Classificazione di una caratteristica di prodotto o parametro del processo produttivo che può riguardare la sicurezza o la conformità ai regolamenti, l'idoneità, le funzioni, le prestazioni, i requisiti del prodotto, o le successive fasi del processo produttivo".

Ci sono due differenti tipi di caratteristiche speciali:

- CC Caratteristica critica: ha effetto sulla sicurezza del prodotto o dell'operatore di linea, ha impatto sulla conformità ai requisiti legali, requisiti ambientali e omologativi. Fanno riferimento a questa tipologia le caratteristiche sicurezza, regolamentazione.
- SC Caratteristica significativa: ha effetto sulla forma, installazione e funzione del prodotto (esclusa la sicurezza), ha impatto sul processo di assemblaggio del prodotto finito o sul processo di fabbricazione dei componenti. Fanno riferimento a questa tipologia le caratteristiche funzionalità, montabilità e le importanti.

Nella tabella 4.1 viene riassunta la classificazione utilizzata in Facet:

SIMBOLO	CLASSIFICAZIONE	DESCRIZIONE	SEVERITY
▽ (Delta Rovesciato)	Sicurezza	Le caratteristiche la cui mancata conformità può pregiudicare la sicurezza delle persone; utilizzatore finale e/o operatori.	9-10
R ①	Conformità Legale, Omologativa, Regolamenti.	Caratteristica la cui mancata osservazione può pregiudicare la conformità a regolamentazione nazionale ed internazionale compresi i requisiti omologativi.	9-10
◇ (Diamante)	Funzionale e Montabilità	Le caratteristiche la cui mancata conformità può provocare gravi problemi in esercizio per quanto riguarda la funzionalità o la montabilità sul veicolo. CSR requisiti cliente.	7-8
⬠ (Pentagono)	Importante	Le caratteristiche la cui mancata conformità può pregiudicare il corretto funzionamento del prodotto in esercizio o il corretto assemblaggio.	4-6
Ⓢ (Set-Up)	Set-up processo	Caratteristiche di processo funzionali all'avvio del processo produttivo.	-

Tabella 4.1 caratteristiche speciali

La progettazione dopo aver analizzato specifiche tecniche e requisiti del cliente, disposizioni di legge, regolamenti nazionali ed internazionali, risultati di prova, dati storici di progetti precedenti, FMEA, standard di controllo dei prodotti Facet, risultati di gruppi di lavoro di miglioramento ecc., definisce le caratteristiche significative e le evidenzia in specifiche tecniche (disegni, tabelle ecc.) mediante l'apposito simbolo grafico in base alle regole definite nella tabella 4.1.

Se i clienti hanno una definizione e identificazione grafica delle caratteristiche significative diversa da quella adottata da Facet, è responsabilità di progettazione creare e condividere con il cliente una matrice di correlazione da indicare nell'apposita tabella tecnica prima dell'emissione del disegno.

La versione integrale della assegnazione delle classi è riportata nella DFMEA in allegato nell'appendice, a titolo di esempio si riportano alcuni casi di assegnazione delle caratteristiche di seguito:

- 1 -DIAMANTE: numero di denti, modulo e caratteristiche ruote dentate sia di satelliti che della corona
- 2- R: posizione del sensore che ne definisce il feedback, il quale definisce il nuovo segnale per apertura e chiusura della valvola
- 3- PENTAGONO: diametro del gomito per il corretto piantaggio sull'albero di trasmissione.

4.3 Piano di validazione

Il piano di validazione del design è direttamente ricavabile dalla DFMEA nella colonna dei controlli di rivelazione.

Alcune prove sono già utilizzate in Facet per le valvole in produzione, il seguente piano tiene conto anche di prove aggiuntive; in particolare sono state aggiunte prove di caduta per il packaging, corrosione alla nebbia salina, compatibilità con campi elettromagnetici eterni e test su vettura.

Molti dei valori nella tabella 4.2 vengono oscurati tramite una X in quanto oggetto di know-how aziendale. Il piano da valenza di tutte le prove prese in considerazione per limitare i rischi di fallimento sul design della EGR ma non sul modo di rivelazione.

CARATTERISTICHE	CLASSE	PZ	CONDIZIONI DI PROVA	LIMITI
CARATTERISTICHE GENERALI				
Requisiti generali e dimensionali	importante △	X	Rilevamento: • Dimensioni e tolleranze • Marcatura • Grado di protezione IPXXXX • Materiali e rivestimenti superficiali	Secondo disegno Facet
CARATTERISTICHE FUNZIONALI				
Rilevamento funzione di trasferimento	critica ◇	X	Rilevare la funzione di trasferimento della valvola (corsa vs duty cycle) alle temperature estreme del campo di lavoro (alta e bassa)	al termine della prova tutti i pezzi devono essere in tolleranza riportata su disegno
Rilevamento sensore di posizione: Uscita in tensione	importante △	X	Rilevare uscita in tensione con V_{alim} alle temperature estreme del campo di lavoro (alta e bassa)	tolleranza : $\pm X V$
Rilevamento sensore di posizione: Uscita in resistenza	importante △	X	Rilevare uscita in resistenza alle temperature estreme del campo di lavoro (alta e bassa)	Tolleranza $\pm X \%$
Rilevamento sensore di posizione: corrente assorbita	secondaria	X	Rilevare la corrente assorbita con V_{alim}	Tolleranza: ($\pm X \%$)
Rilevamento tempi di attuazione: tempi di apertura	secondaria	X	Rilevare l'intervallo di tempo in cui la valvola raggiunge il 90% dell'escursione richiesta	Limite superiore $< X ms$
Rilevamento tempi di attuazione: tempi di chiusura	secondaria	X	Rilevare l'intervallo di tempo in cui la valvola raggiunge il 90% dell'escursione richiesta	Limite superiore $< X ms$
Rilevamento azionamento: corrente assorbita	secondaria	X	Rilevare la corrente assorbita con $V_{alim} = X V f = X Hz$ alle temperature estreme del campo di lavoro (alta e bassa)	Tolleranza $\pm X \%$
Rilevamento azionamento: induttanza di avvolgimento	importante △	X	Rilevare la corrente assorbita con $V_{alim} = X V$ alle temperature estreme del campo di lavoro (alta e bassa)	Tolleranza $\pm X \%$
Rilevamento azionamento: resistenza di avvolgimento	secondaria	X	Rilevare la corrente assorbita con $V_{alim} = X V$ alle temperature estreme del campo di lavoro (alta e bassa)	Tolleranza $\pm X \%$
Rilevamento azionamento: isteresi	secondaria	X	Rilevare la corrente assorbita con $V_{alim} = X V$ alle temperature estreme del campo di lavoro (alta e bassa)	Tolleranza $< X A$
Rilevamento forza di richiamo valvola	secondaria	X	Rilevare la forza minima che la molla deve esercitare alla quota massima di lavoro. In modo da garantire che la valvola rimanga chiusa nonostante la spinta dei gas di scarico.	Tolleranza: X
Rilevamento forza di apertura	importante △	X	Rilevare la forza minima che la valvola, in posizione di chiusura e ad una posizione intermedia, esercita in seguito all'applicazione di un DC=100%.	Tolleranza $\pm X \%$

PROVE DI RESISTENZA E DURATA				
Resistenza agli agenti chimici	secondaria	X	Sottoporre il componente a test chimici con le modalità	norma <i>Facet</i>
Prova di tenuta ermetica stelo mobile	secondaria	X	- Applicare sul lato aperto del condotto una pressione di X bar. - Avviare la misura di perdita monitorando la caduta di pressione dopo X secondi. - dopo i cicli rapidi di temperatura, di durata e di vibrazione.	Tolleranza X bar al termine della prova non si devono presentare fuori uscite di aria dallo stelo
Prova per trafilamento	importante ⬆	X	- Rilevare con una differenza di pressione di X bar. - Dopo i cicli rapidi di temperatura.	Tolleranza: il flusso misurato deve essere $\leq X$ litri/min.
Prova di resistenza ai cicli termici	importante ⬆	X	I pezzi non sono alimentati elettricamente durante la prova. - Temperatura bassa: $-X^{\circ}\text{C}$. - Temperatura alta: $+X^{\circ}\text{C}$. Esecuzione X cicli	non si devono presentare deformazioni o rotture. Caratteristiche funzionali, tenute e perdite dentro le tolleranze.
Prova di resistenza alle vibrazioni	importante ⬆	X	- Accelerazione X - Forma d'onda di sollecitazione: X - Durata: X h per ogni asse	non si devono presentare deformazioni o rotture.
				Caratteristiche funzionali, tenute e perdite dentro le tolleranze.
Prova di resistenza agli shock meccanici	importante ⬆	X	- La prova è costituita da un primo test che simula le buche stradali e da un secondo test che rappresenta sollecitazioni minori. - Le valvole non sono alimentate elettricamente.	non si devono presentare deformazioni o rotture. Caratteristiche funzionali, tenute e perdite dentro le tolleranze.
Prova di durata	importante ⬆	X	Come vibrazioni per durata di X cicli	non si devono presentare deformazioni o rotture. Caratteristiche funzionali, tenute e perdite dentro le tolleranze.
Prova di caldo umido permanente	secondaria	X	- Temperature max: $+X^{\circ}\text{C}$ - Umidità relativa durante il riscaldamento e alla temperatura max: X % - Umidità relativa durante il raffreddamento e a Tamb: X % - Temperatura min: $-X^{\circ}\text{C}$ - Numero di cicli: X - Durata di un ciclo: X h a $+X^{\circ}\text{C}$ e X h a $X^{\circ}\text{C}$ - Verifica della resistenza dielettrica (solo per valvole elettriche): dopo X ore dal termine della prova - Alimentazione: attivazione della valvola ogni 1 ora eseguendo n° X cicli di apertura e chiusura complete.	non si devono presentare deformazioni o rotture. Caratteristiche funzionali, tenute e perdite dentro le tolleranze. Resistenza a isolamento dielettrico e nessun segno di corrosione
Resistenza di isolamento elettrico	secondaria	X	- Tensione di test: X V - Punti di misura: tutti i connettori verso il corpo metallico - Temperatura: $X^{\circ}\text{C} \div XC$	La resistenza di isolamento deve essere $> X \Omega$
Prova di corrosione in nebbia salina	secondaria	X	Sottoporre il componente alla prova di corrosione in nebbia salina con le modalità	norma <i>Facet</i>
Compatibilità campi elettromagnetici esterni	secondaria	X	Sottoporre la valvola a campi elettromagnetici esterni di diversa intensità e verificarne le variazioni di prestazione	La valvola deve proporre le medesime prestazioni dell'OE dopo la prova
Test on real car	importante ⬆	X	Verificare il funzionamento e il montaggio della valvola su veicolo	La valvola deve essere montabile su veicolo e proporre le medesime prestazioni dell'OE
CADUTA	secondaria	X	Verificare la tenuta del packaging con X prove di caduta da X m con orientazione differente tra le cadute	La valvola e i componenti interni devono risultare intatti

Tabella 4.2 piano di validazione

4.4 Ciclo di lavorazione

Dalla analisi PFMEA è possibile ottenere la stesura del ciclo di lavorazione. A ogni centro di lavoro viene assegnato un ciclo con le seguenti operazioni:

- CDL 1:
 - Operazione 0010- Bordatura del coperchio;
 - Operazione 0020- Piantaggio perni per satellite.

- CDL 2:
 - Operazione 0010- Saldatura a stagno dei terminali;
 - Operazione 0020- Acciaccatura della plastica.

- ISOLA 27:
 - Operazione 0010- Piantaggio perno per cuscinetto;
 - Operazione 0020- Piantaggio la boccola anti-frizione;
 - Operazione 0030- Piantaggio gomito sull'albero;
 - Operazione 0035- Saldatura gomito;
 - Operazione 0040- Piantare il cuscinetto;
 - Operazione 0050- Assemblaggio attuatore;

- ISOLA 16:
 - Operazione 0020- Piantaggio la boccola;
 - Operazione 0030- Piantaggio disco sullo stelo;
 - Operazione 0050- Saldatura disco;
 - Operazione 0060- Avvitatura otturatore e attuatore;
 - Operazione 0070- calibratura e collaudo valvola;
 - Operazione 0090- Marcatura;
 - Operazione 0100- Confezionamento

Nel capitolo 4.5 verranno specificate nel dettaglio le attrezzature utilizzate e nel capitolo 4.6 le caratteristiche del processo.

4.5 Struttura centri di lavoro

In questo capitolo verranno descritti i centri di lavoro, il flusso delle operazioni e le attrezzature utilizzate.

IL CDL1 è un banco nuovo composto da due operazioni:

- Operazione 0010- Bordatura del coperchio;
- Operazione 0020- Piantaggio perni per satellite.

Le attrezzature utilizzare sono:

- 0010- pressa servo assistita
- 0020- pressa manuale

Nella figura 4.3 è possibile vedere la configurazione del banco e il flusso.

IL CDL2 è un banco nuovo composto da due operazioni:

- Operazione 0010- Saldatura a stagno dei terminali;
- Operazione 0020- Acciaccatura della plastica.

Le attrezzature utilizzare sono:

- 0010- saldatrice manuale
- 0020- saldatrice manuale

Nella figura 4.3 è possibile vedere la configurazione del banco e il flusso.

L' ISOLA 27 è un'isola già presente in reparto, utilizzata per la realizzazione dei sottogruppi attuatore delle valvole a solenoide.

La configurazione precedente alla modifica dell'isola è come segue:

- Operazione 0010- Piantaggio stelo;
- Operazione 0020- Piantaggio la boccola;
- Operazione 0030- assemblaggio manuale;
- Operazione 0040- Piantare boccola;

A seguito dell'inserimento in isola di un ulteriore sottogruppo attuatore, la configurazione dell'isola viene cambiata, in particolare inserendo le operazioni 0035 e 0050:

- Operazione 0010- Piantaggio perno per cuscinetto;
- Operazione 0020- Piantaggio la boccola anti-frizione;
- Operazione 0030- Piantaggio gomito sull'albero;
- Operazione 0035- Saldatura gomito;
- Operazione 0040- Piantare il cuscinetto;
- Operazione 0050- Assemblaggio attuatore;

Le attrezzature quindi utilizzate sono:

- 0010-Pressa servo assistita;
- 0020- Pressa manuale;
- 0030- Pressa manuale;
- 0035- Saldatrice TIG;
- 0040- Pressa servo assistita;
- 0050- Assemblaggio manuale;

Nella figura 4.3 è possibile vedere la configurazione nuova dell'isola e il flusso.

L' ISOLA 16 è un'isola già presente in reparto, utilizzata per la realizzazione delle valvole a solenoide e pneumatiche.

La configurazione attuale è adatta ad accogliere la nuova valvola e le attrezzature utilizzate saranno:

- 0020- Pressa servo assistita;
- 0030- Pressa servo assistita;
- 0050- Saldatrice TIG;
- 0060- Avvitatore;
- 0070- Macchina di calibrazione e collaudo automatica;
- 0090- Marcatrice automatica;
- 0100- Manuale

Nella figura 4.3 vengono riportati i CDL1, CDL2 e ISOLA 27 nelle nuove configurazioni a titolo di esempio, la stessa procedura è stata svolta per l'isola 16.

La fattibilità del flusso viene verificata tramite lo "spaghetti chart" dove si sovrappongono i flussi in isola di tutti i codici passanti e si verifica che non ci siano troppi incroci che renderebbero il flusso dell'operatore all'interno dei banchi "poco pulito", ad esempio rischia di percorrere percorsi troppo lunghi senza operazioni intermedie oppure di confondere le operazioni perché posizionate in un ordine non sequenziale ecc.

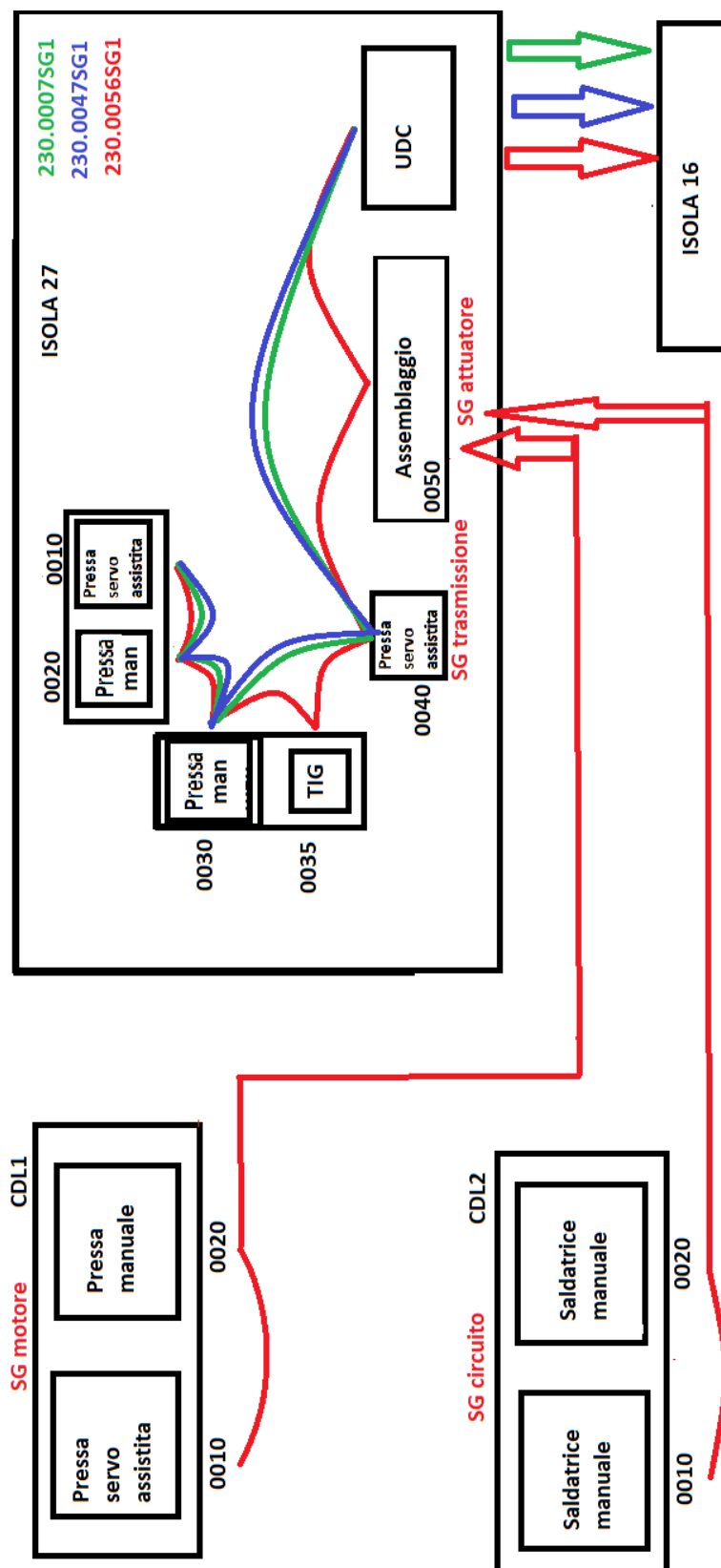


Figura 4.3 Flusso e spaghetti chart

4.6 Caratteristiche del processo

Analogamente a quanto descritto nel capitolo 4.2 si possono definire delle caratteristiche come in tabella 4.1 sui parametri del processo; quindi impostazioni macchina o parametri caratteristici del processo ecc.

Di seguito in tabella 4.3 vengono indicati i parametri fondamentali individuati, non vengono indicati i valori in quanto parte del know-how aziendale ma le caratteristiche da tenere sotto controllo e la loro classe di appartenenza:

CDL	OPERAZIONE	CARATTERISTICA	CLASSE
CDL1	0010-Bordatura coperchio	Pressione massima e minima	Set-up
CDL1	0010-Bordatura coperchio	Tempo di pressione	Set-up
CDL2	0010-Saldatura a stagno terminali	Temperatura saldatrice	Set-up
CDL2	0020-Acciaccatura plastica	Temperatura saldatrice	Set-up
ISOLA 27	0010-Piantaggio perno per cuscinetto	Pressione massima e minima	Set-up
ISOLA 27	0010-Piantaggio perno per cuscinetto	Tempo di pressione	Set-up
ISOLA 27	0035-Saldatura gomito	Flusso di gas argon	Set-up
ISOLA 27	0035-Saldatura gomito	Tempo di saldatura	Set-up
ISOLA 27	0035-Saldatura gomito	Rampa di riscaldamento	Set-up
ISOLA 27	0040-Piantare il cuscinetto	Calibrare il riscaldatore	Set-up
ISOLA 27	0040-Piantare il cuscinetto	Pressione massima e minima	Set-up
ISOLA 27	0040-Piantare il cuscinetto	Tempo di pressione	Set-up
ISOLA 16	0020-Piantaggio boccola	Pressione massima e minima	Set-up
ISOLA 16	0020-Piantaggio boccola	Tempo di pressione	Set-up
ISOLA 16	0030-Piantaggio disco	Pressione massima e minima	Set-up
ISOLA 16	0030-Piantaggio disco	Tempo di pressione	Set-up

ISOLA 16	0050-Saldatura disco	Flusso di gas argon	Set-up
ISOLA 16	0050-Saldatura disco	Tempo di saldatura	Set-up
ISOLA 16	0050-Saldatura disco	Rampa di riscaldamento	Set-up
ISOLA 16	0060-Avvitatura otturatore e attuatore	Coppia massima limite	Set-up
ISOLA 16	0070-calibratura e collaudo	Ricetta di calibratura sensore	Set-up
ISOLA 16	0070-calibratura e collaudo	Ricetta di collaudo valvola	Set-up
ISOLA 16	0090-Marcatura	Ricetta di marcatura	Set-up

Tabella 4.3 Caratteristiche di processo

Le operazioni che non vengono specificate nella tabella 4.3 sono operazioni manuali che non necessitano di caratteristiche di set-up macchina.

4.7 Piano di controllo

I piani di controllo sono caratteristici del centro di lavoro, quindi per la valvola EGR a motore DC si genereranno quattro piani di controllo rispettivamente per i quattro centri di lavoro: CDL1, CDL2, ISOLA 27 e ISOLA 16.

Il piano di controllo è un documento che viene compilato all'avvio produzione per verificare che il set-up dell'isola sia corretto e le caratteristiche da sottoporre a controlli siano comunicate al reparto e in particolare le metodologie e strumentazione di controllo.

Il piano di controllo si divide in due parti:

- 1-benestare avvio produzione: i controlli e i set-up da eseguire solo sul primo pezzo
- 2-controlli per operazione: i controlli da fare su ogni pezzo o su una certa quantità (esempio su 100 pezzi) per verificare la funzionalità e ripetibilità del processo.

Nella figura 4.5 viene riportato un esempio di piano di controllo sull'aspetto benestare avvio produzione.



Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic					Methods			Reaction Plan	
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.		Control Method
0000 benestare avvio produzione	Settaggio attrezzature ISOLA	CDL 2	-	-	Setup	Ⓢ	38.CDL2_SET-UP	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPResp)
	Settaggio parametri di macchina ISOLA		-	-	Setup	Ⓢ	39.CDL2_PARAMETRI	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPResp)
	Verifica corrispondenza tra Distinta base e Ordine di lavoro		-	-	Setup	Ⓢ	Distinta Base Ordine di Lavoro	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPResp)
			AA	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni (bordatura coperchio)		-	Nessuna imperfezione	Visivo	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPResp)
			AB	Presenza e tenuta della bordatura								
			AC	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio spine)								
			AD	Quote di set-up								

Figura.4.5 PC per benestare

Nella figura 4.6 viene riportato un esempio di piano di controllo sull'aspetto delle operazioni:

Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic			Methods					Reaction Plan	
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.		Control Method
op. 0070	Calibrazione e collaudo		AM	fdt corsa a PWM 45%; 50%; 60%; 90%		△	Disegno	MA.01840	100%	Continuo	Automatico (l'OK della macchina di collaudo identifica con un segno il pezzo collaudato OK)	Scartare componente. Al terzo difetto consecutivo fermare la produzione e richiedere intervento capoturno
		AO	Correttezza della marcatura		△	Disegno	MA.01840	100%	Continuo	Automatico (l'OK della macchina di collaudo identifica con un segno il pezzo collaudato OK)	Scartare componente. Al terzo difetto consecutivo fermare la produzione e richiedere intervento capoturno	

Figura.4.6 PC per operazioni

I piani di controllo in forma integrale sono visibili in appendice con alcune colonne oscurate

CONCLUSIONI

Lo scopo di tale analisi è stato quello di progettare la valvola EGR a motore DC, attraverso l'utilizzo del metodo FMEA che genera documenti, i quali entrano a far parte della documentazione di qualità del prodotto Facet.

Tramite l'analisi, oltre la generazione dei documenti di qualità si sono generati documenti per la produzione, conducendo ragionamenti guidati dal metodo tramite lo schema di input, output di DFMEA e PFMEA tra le matrici dei fogli.

La progettazione tramite questo metodo ha aiutato ad evitare possibili fallimenti sia nel design del prodotto che nel layout dei centri di lavoro.

Alcuni problemi sono stati riscontrati soprattutto in fase di definizione del processo, in modo da rendere il flusso delle operazioni snello e applicabile allo stabilimento Facet; in particolare si sono condotte diverse analisi sui centri di lavoro esistenti in modo da ridurre i costi di attrezzaggio dell'isola.

Inizialmente si è pensato di creare un'isola dedicata alla valvola ma analizzando i centri di lavoro esistenti e le somiglianze con i sottogruppi di altre tecnologie già prodotte e, in particolare, visto il poco flusso di codici attualmente presente su tali isole si è pensato di riutilizzare tali attrezzature e quindi di "spacchettare" la valvola in tali sottogruppi descritti nei capitoli.

Il progetto per la realizzazione del ricambio non si conclude con questo studio bensì questi piani generati andranno verificati e ottimizzati in fase di generazione dei prototipi e preserie della valvola che Facet porterà avanti prima della messa in produzione e vendita del ricambio.

Bibliografia

[1] Sitografia: M&IT Consulting, società di consulenza e formazione manageriale

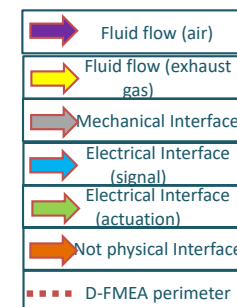
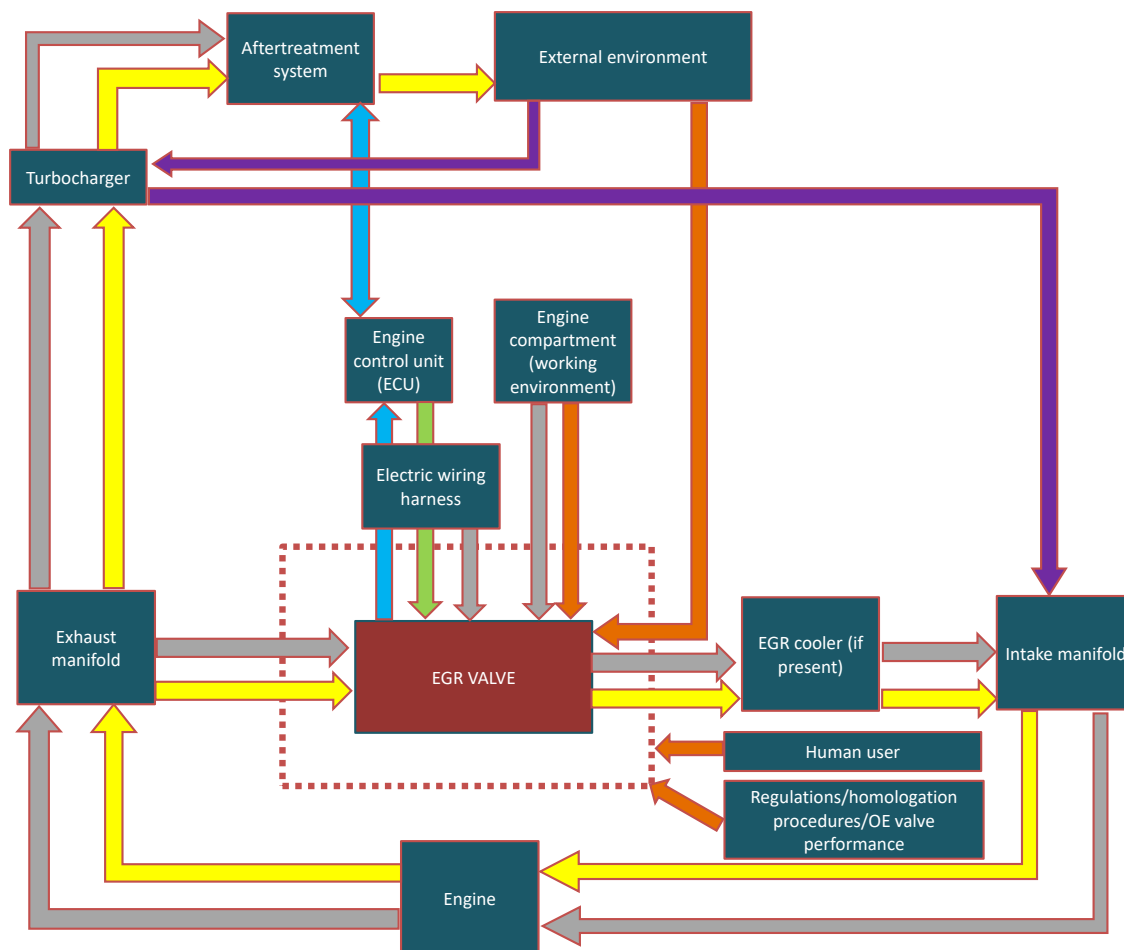
[2] Procedura interna FACET: linee guida per DFMEA e PFMEA

[3] FMEA Handbook: AIAG and VDA

[4] Ford FMEA Handbook

Appendice

FMEA DI PROGETTO							
Customer (cliente)		0	Supplier (fornitore)	0	Supplier Part No.	23.0056	MOD-0530(B)
Org. Date		13/01/2020		FMEA No.		0	
Prodotto finito	Sottogruppo	Componente	Design Responsibility	ENG	Core Team	Veglia Bombardi F., Guglielmi F., Sacerdoti F., Greco L., Garelli Renchez O., Peracchiotti	



[illegible]

23.0056 – valvola EGR a motore

O-ring 37x1,5
Capershu
Motore elettrico
Supporto motore
3 x sigilla
Boccola rivestita
4x vite Tack M8 x 40
Circuito
Supporto circuito
2X O-ring 42x1,5
3x satellite
Boccola elastica
Corona
Supporto trasmissione
4x boccola ottone
albero magnete
Boccola albero
Fermo per cuscinetto
Rondella
Gioinco
Cuscinetto
Carro valvola
O-ring 42x2,5
Sella cuscinetto
Storio
Molla
Piattello
Boccola con paravento
Guida stelo
Carter

Lamella A
Lamella B
Lamella C
Lamella D
Lamella E



FMEA DI PROGETTO

MOD-0530(B)

Customer (cliente)	0	0	Supplier Part No.	23.0056	Org. Date	13/01/2020
☒ Prodotto finito	☐ Sottogruppo	☐ Componente ENG	Core Team	Veggia Bombardi F., Guglielmi F., Sacerdoni F., Greco L., Garelli Renzhez O., Peracchiotti V.	FMEA No.	0

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

C13	12	Electronic circuit	Be chemically compatible from salt corrosion	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Circuit is not compatible from salt corrosion because material corrodes	Material and resins are not suitable to application	Use material with same performance as material used by OE	Salt corrosion test
C13	14	Electronic circuit	Be unaffected by external electromagnetic fields	Engine light because valve malfunction possible ECU error	-	Motor responds to ECU input differently from expectations	Insufficient EMC shielding/excessive susceptibility	Design reproduces OE design, which is proven against EM interferences	External electromagnetic fields test
C13	15	Electronic circuit	Reproduce OE valve actuator transfer function and fluid dynamic functionality	Possible engine light because DC Motor turns by wrong angle	-	Sensor signal is different from OE	Sensor calibration is different from OE	Calibration test with comparison with OE valve	End of line test
C13	19	Electronic circuit	Withstand mechanical shock and vibration	Engine light because valve malfunction possible ECU error	-	No signal from ECU to motor	Circuit internal connections are physically interrupted	Declaration of compliance with automotive standard from circuit manufacturer	Vibration test
C13	20	Electronic circuit	Withstand thermal shock	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Circuit is not compatible from thermal shock because some components fail	Material and resins is not suitable to application	Use material with same performance as material used by OE	hot-cold test
C14	1	Circuit support	Seal from external environment	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Circuit support is not fix to body valve	Circuit support too high	OE equivalent at h=12,7 mm +/- tolerance (space analysis and tolerance chain) and planarity tolerance	Assembly test
C14	1	Circuit support	Seal from external environment	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	2 X O-ring 42x1,5 is not on his position	The grooves on circuit support is too large	Grooves according to o-ring 42x1,5 specifications	hot-wet test
C14	1	Circuit support	Seal from external environment	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Circuit support is not fix to motor support and transmission support	The hook on circuit support is too small	Hook according to motor support	Assembly test
C14	1	Circuit support	Seal from external environment	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Circuit suport is not fix to transmission support	Groove position on circuit support incorrectly	Groove on circuit support in according to transmission support	Assembly test
C14	2	Circuit support	Receive the signal	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Terminals B,D are not in contact to ECU	Terminals position on circuit support and connection geometry not correct	Position, connection geometry and antiversion in according to connector	Test on real car
C14	4	Circuit support	Trasform position into feedback (voltage 0-5V) signal for ECU.	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Circuit is not fixed	Circuit position on circuit support incorrect	Groove on circuit support in according to circuit	Test on real car
C14	5	Circuit support	Communicate signal to ECU	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Terminals A,C,E are not in contact to ECD	Terminals position on circuit support and connection geometry not correct	Position and connection geometry in according to electric wiring harness	Test on real car
C14	6	Circuit support	Turn rotary motion of motor into linear poppet motion	Possible Engine light because of valve malfunction	Pentagono	Satellite gears and pinion does not mesh	Holes position and dimension on circuit support not correct	Holes position and dimension in according to transmtion	End of line test
C14	10	Circuit support	Be chemically compatible from engine oils, brakes and transmiion	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Circuit support is not compatible from engine oils because material is porous	Material is not suitable to application	Use material with same performance as material used by OE	Specific chemical test
C14	11	Circuit support	Be chemically compatible from hydrocarbons	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Circuit support is not compatible from hydrocarbons	Material is not suitable to application	Use material with same performance as material used by OE	Specific chemical test
C14	16	Circuit support	Do not interfere with other parts in the engine compartment and to be montable and removable	Claim because valve not mountable	Pentagono	External surfaces of circuit support come in contact with engine compartment or connector is not assembly to wiring harness	circuit support is too big	OE equivalent +/- tolerance	Test on real car
C14	17	Circuit support	Stain place during operation	Engine light because valve malfunction possible ECU error	-	Humidity can be in contact with the electric actuator and connections to wiring harness interrupted	Circuit support cracks during use	Vibration test	End of line test
C14	19	Circuit support	Withstand mechanical shock and vibration	Engine light because valve malfunction possible ECU error	-	Humidity can be in contact with the electric actuator and connections to wiring harness interrupted	Circuit support cracks during use	OE equivalent dimension +/- tolerance (space analysis and tolerance chain) and planarity tolerance	Vibration test
C14	20	Circuit support	Withstand thermal shock	Engine light because valve malfunction possible ECU error	Pentagono	Circuit support is not compatible from thermal shock because the component fail	Material is not suitable to application	Use material with same performance as material used by OE	hot-cold test

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

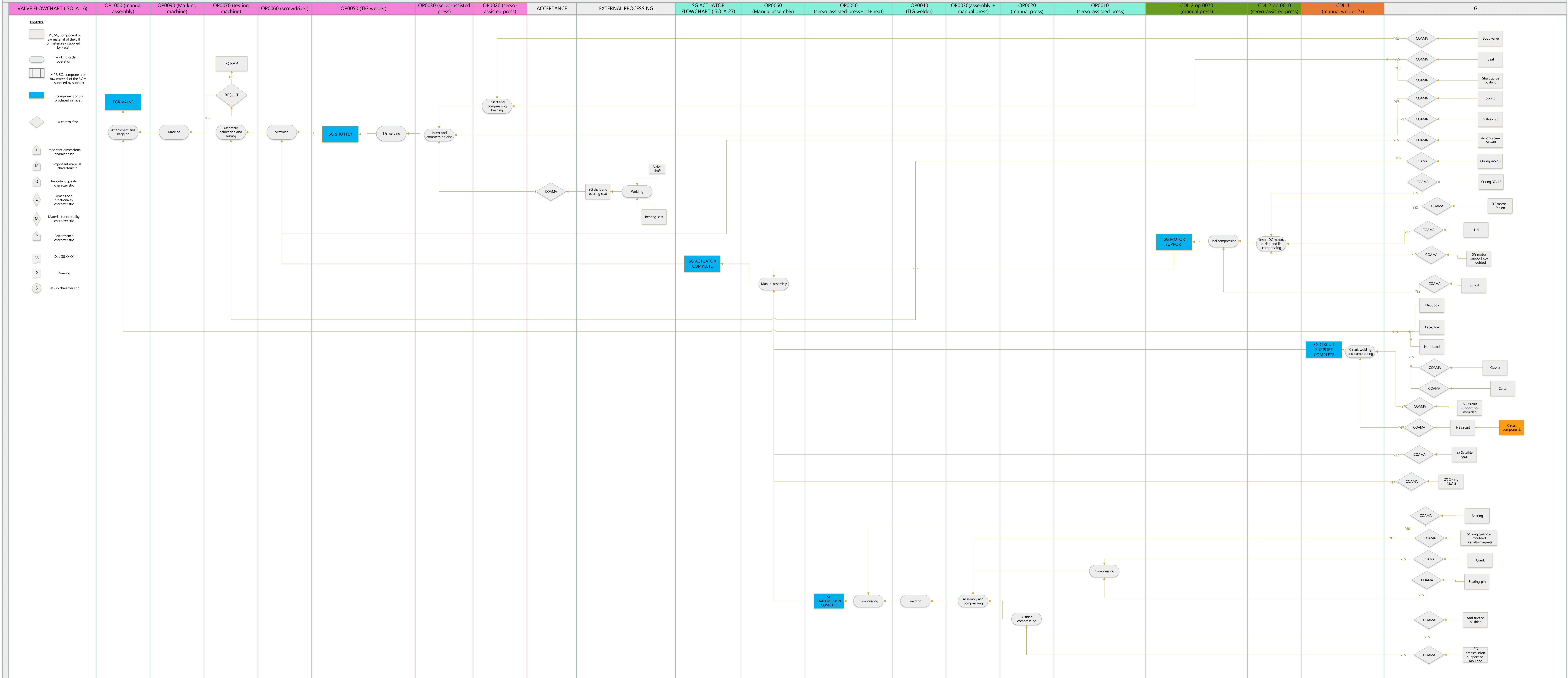
[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

EGR (DC motor) FLOWCHART



		FMEA DI PROCESSO				MOD-0530(
Customer (cliente)	0	Supplier (fornitore)	0	Supplier Part No.		Org. Date
☒ Prodotto finito	☐ Sottogruppo	☐ Componente	Design Responsibility	0	Core Team	Veggia Bombardi F., Guglielmi F., Sacerdoni F., Greco L., Garelli Renchez O., Peracchiotti V.
Operation		Staus				
0000	Incoming	v				
ISOLA 27 - 0010	Compressing pin on crank	v				
ISOLA 27 - 0020	anti-friction bushing compressing on SG transmission co-moulded	v				
ISOLA 27 - 0030	Insert SG ring gear (+shaft + magnet) on SG transmission co-moulded and compressing crank on shaft	v				
ISOLA 27 - 0040	welding crank on shaft	v				
ISOLA 27 - 0050	Bearing compressing on pin	v				
ISOLA 27 - 0060	Insert satellite gears on rods and assembly SG circuit support, SG motor support, SG transmission support and 2x o-ring	v				
CDL 1	Circuit welding and compressing on circuit support	v				
CDL2 op 0010	Insert DC motor, o-ring and lid compressing on motor support	v				
CDL2 op0020	Rod compressing on motor support	v				

Isola 16-0020	Insert and compressing bushing and seal on body valve	v
Isola 16-0030	Insert and compressing spring, disc and shaft (+ bearing seat) on body valve	v
Isola 16-0050	Disc welding on shaft	v
Isola 16-0060	Screwing SG actuator and SG shutter	v
Isola 16-0070	EGR valve calibration and testing	v
Isola 16-0090	Marking	v
Isola 16-0100	Accessories kit attachment (gasket) and assembly carter and bagging	v

Complete (V)	17
Analysis in progress	0
To do	0
Total item	17

[illegible]

[illegible]



☐ Prototipo ☐ Preserie ☒ Produzione

PIANO DI CONTROLLO

Piano di controllo: APQP230.0056sq4_PRD

Descrizione: SG circuito completo

Codice :230.0056sq4

Famiglia: 2300

Reparto: SEN

Data (Edizione.):

Indice:A

Core Team: Guglielmi, Veggia Bombardi, Germena, Allio

Approvato da: Federico VEGGIA BOMBARDI

Supplier code: C/L:

Data (Rev.):

Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic				Methods					Reaction Plan
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	
0000 benessere avvio produzione	Settaggio attrezzature ISOLA	CDL1	-	-	Setup	Ⓢ	38.CDL1_SET-UP	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPResp)
	Settaggio parametri di macchina ISOLA		-	-	Setup	Ⓢ	39.CDL1_PARAMET RI	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPResp)
	Verifica corrispondenza tra Distinta base e Ordine di lavoro		-	-	Setup	Ⓢ	Distinta Base Ordine di Lavoro	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPResp)
	CAC		AA	Presenza e qualità delle stagnature	-	Criterio di accettabilità CA 39.96049	Visivo	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPResp)	
			AB	Assenza di carbonizzazioni/ bruciature (saldatura)								
			AC	Presenza e tenuta della acciaccatura								
			AD	Assenza di carbonizzazioni/ bruciature (acciaccatura)								
AA	Presenza e qualità delle stagnature											
AB	Assenza di carbonizzazioni/ bruciature (saldatura)											
0010	Saldatura del circuito	AA	Presenza e qualità delle stagnature									
		AB	Assenza di carbonizzazioni/ bruciature (saldatura)									



☐ Prototipo ☐ Preserie ☒ Produzione

PIANO DI CONTROLLO

Piano di controllo: APQP230.0056sq4_PRD

Descrizione: SG circuito completo

Codice :230.0056sq4

Famiglia: 2300

Reparto: SEN

Data (Edizione.):

Indice:A

Core Team: Guglielmi, Veggia Bombardi, Germena, Allio

Approvato da: Federico VEGGIA BOMBARDI

Supplier code: C/L:

Data (Rev.):

Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic				Methods					Reaction Plan
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	
0020	acciacatura plastica		AD	Assenza di carbonizzazioni/ bruciature (acciacatura)								



☐ Prototipo ☐ Preserie ☒ Produzione

PIANO DI CONTROLLO

Piano di controllo: APQP23.0056sq2_PRD

Descrizione: SG motore completo

Codice :230.0056sq2

Famiglia: 2300

Reparto: SEN

Data (Edizione.):

Indice:A

Core Team: Guglielmi, Veggia Bombardi, Germena, Allio

Approvato da: Federico VEGGIA BOMBARDI

Supplier code: C/L:

Data (Rev.):

Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic				Methods					Reaction Plan	
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method		
0000 benessere avvio produzione	Settaggio attrezzature ISOLA	CDL 2	-	-	Setup	Ⓢ	38.CDL2_SET-UP	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)	
	Settaggio parametri di macchina ISOLA		-	-	Setup	Ⓢ	39.CDL2_PARAMETRI	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)	
	Verifica corrispondenza tra Distinta base e Ordine di lavoro		-	-	Setup	Ⓢ	Distinta Base Ordine di Lavoro	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)	
			AA	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni (bordatura coperchio)	-	Nessuna imperfezione	Visivo	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)		
			AB	Presenza e tenuta della bordatura									
			AC	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio spine)									
			AD	Quote di set-up									
op.0010	Inserimento motore DC e o-ring e bordatura coperchio sul supporto motore	AA	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni (bordatura coperchio)										
op.0020	Piantaggio spine su supporto motore	AC	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio spine)										



☐ Prototipo

☐ Preserie

☒ Produzione

PIANO DI CONTROLLO

Piano di controllo: APQP230.0056sq1_PRD

Descrizione: Valvola EGR

Codice :23.0056

Famiglia: 2300

Reparto: SEN

Data (Edizione.):

Indice:A

Core Team: Guglielmi, Veggia Bombardi, Germena, Allio

Approvato da: Federico VEGGIA BOMBARDI

Supplier code: C/L:

Data (Rev.):

Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic				Methods					Reaction Plan	
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method		
benestare avvio produzione	Settaggio attrezzature ISOLA	27	-	-	Setup	Ⓢ	38.ISOLA27_SET-UP	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)	
	Settaggio parametri di macchina ISOLA		-	-	Setup	Ⓢ	39.ISOLA27_PARAME TRI	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)	
	Verifica corrispondenza tra Distinta base e Ordine di lavoro		-	-	Setup	Ⓢ	Distinta Base Ordine di Lavoro	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)	
			AA	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio pin su gomito)	-	Nessuna imperfezione o parti in movimento	Visivo + tattile	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)		
			AB	Quote di set-up (piantaggio pin su gomito)									
			AC	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio boccola)									
			AD	Quote di set-up (piantaggio boccola)									
			AE	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio gomito albero)									
	AF	Quote di set-up (piantaggio gomito albero)											

	☐ Prototipo ☐ Preserie ☒ Produzione		PIANO DI CONTROLLO				Piano di controllo: APQP230.0056sq1_PRD					
	Descrizione: Valvola EGR		Codice :23.0056		Famiglia: 2300		Reparto: SEN		Data (Edizione.):		Indice:A	
	Core Team: Guglielmi, Veggia Bombardi, Germena, Allio		Approvato da: Federico VEGGIA BOMBARDI		Supplier code: C/L:		Data (Rev.):					
Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic				Methods					Reaction Plan
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	
0000		ISOLA 2	AG	Presenza e qualità della saldatura								
			AH	Assenza di carbonizzazioni/bruciature								
			AI	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio cuscinetto e pin)								
			AL	Quote di set-up (piantaggio cuscinetto e pin)								
			AM	Tenuta del cliccaggio								
op. 0010	Piantaggio pin nel gomito	AA	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio pin su gomito)									
op. 0020	Piantaggio boccola anti-frizione su supporto trasmissione costampato	AC	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio boccola)									
op. 0030	Inserire SG trasmissione nel SG corona e piantare il gomito sull'albero	AE	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio gomito albero)									
		AG	Presenza e qualità della saldatura									



☐ Prototipo

☐ Preserie

☒ Produzione

PIANO DI CONTROLLO

Piano di controllo: APQP230.0056sq1_PRD

Descrizione: Valvola EGR

Codice :23.0056

Famiglia: 2300

Reparto: SEN

Data (Edizione.):

Indice:A

Core Team: Guglielmi, Veggia Bombardi, Germena, Allio

Approvato da: Federico VEGGIA BOMBARDI

Supplier code: C/L:

Data (Rev.):

Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic				Methods					Reaction Plan
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	
op.0040	Saldare gomito sull'albero		AH	Assenza di carbonizzazioni/ bruciature								
op.0050	Piantaggio cuscinetto sul pin		AI	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio cuscinetto e pin)								



☐ Prototipo

☐ Preserie

☒ Produzione

PIANO DI CONTROLLO

Piano di controllo: APQP23.0056_PRD

Descrizione: Valvola EGR

Codice :23.0056

Famiglia: 2300

Reparto: SEN

Data (Edizione.):

Indice:A

Core Team: Guglielmi, Veggia Bombardi, Germena, Allio

Approvato da: Federico VEGGIA BOMBARDI

Supplier code: C/L:

Data (Rev.):

Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic				Methods					Reaction Plan	
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method		
stare avvio produzione	Settaggio attrezzature ISOLA		-	-	Setup	Ⓢ	38.ISOLA16_SET-UP	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)	
	Settaggio parametri di macchina ISOLA		-	-	Setup	Ⓢ	39.ISOLA16_RICETTE 39.ISOLA16_PARAME TRI	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)	
	Verifica corrispondenza tra Distinta base e Ordine di lavoro		-	-	Setup	Ⓢ	Distinta Base Ordine di Lavoro	Spec	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)	
			AA	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio boccola)	-	Nessuna imperfezione o parti in movimento	Visivo + tattile	1 pz	Inizio lotto ogni cambio turno.	Benestare avvio produzione e compilazione MOD-0394 (REP-RESP)	Verificare SET-UP macchina. Richiedere intervento MAN. Segnalare non conformità alla qualità Facet. (REPRsp)		
			AB	Quote di set-up (piantaggio boccola)									
			AC	Controllo sede cuscinetto									
			AD	Controllo sede disco									
			AE	Quote di set-up su carico molla compressa									
			AF	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni (piantaggio disco)									
			AG	Presenza e qualità della saldatura									



☐ Prototipo ☐ Preserie ☒ Produzione

Descrizione: Valvola EGR

Codice :23.0056

Famiglia: 2300

Reparto: SEN

Data (Edizione.):

Indice:A

Core Team: Guglielmi, Veggia Bombardi, Germena, Allio

Approvato da: Federico VEGGIA BOMBARDI

Supplier code: C/L:

Data (Rev.):

Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic				Methods					Reaction Plan
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	
0000 bene	CAC	ISOLA 16	AH	Assenza di carbonizzazioni/bruciature								
			AI	Posizione relativa cuscinetto e sede								
			AM	fdt corsa a PWM 45%; 50%; 60%; 90%								
			AN	Perdita per trafilamento								
			AO	Correttezza della marcatura								
			AP	Tenuta del cliccaggio								
op. 0020	Inserimento e piantaggio boccola con guarnizione su corpo	AA	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni e parti mobili (piantaggio boccola)									
op. 0030	Inserimento molla e SG albero + sede cuscinetto e piantaggio disco su albero	AF	Assenza di rotture, crepe, fessurazioni (piantaggio disco)									
op. 0050	Saldatura disco albero	AG	Presenza e qualità della saldatura									



☐ Prototipo ☐ Preserie ☒ Produzione

PIANO DI CONTROLLO

Piano di controllo: APQP23.0056_PRD

Descrizione: Valvola EGR

Codice :23.0056

Famiglia: 2300

Reparto: SEN

Data (Edizione.):

Indice:A

Core Team: Guglielmi, Veggia Bombardi, Germena, Allio

Approvato da: Federico VEGGIA BOMBARDI

Supplier code: C/L:

Data (Rev.):

Part/ Process Number	Process Name/ Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Manufacturing	Characteristic				Methods					Reaction Plan
			c.c	Product	Process	S.C.	Product/Process Spec/ Tolerance	Evaluation Meas. Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	
op.0060	Calibratura disco anello		AH	Assenza di carbonizzazioni/ bruciature								
op.0060	Avvitatura SG attuatore con SG otturatore		AI	Posizione relativa cuscinetto e sede								
			AL	Coppia di chiusura vtii								
op. 0070	Calibrazione e collaudo		AM	fdt corsa a PWM 45%; 50%; 60%; 90%								
			AO	Correttezza della marcatura								
op.0090	Marcatura		AO	Correttezza della marcatura								
op.0100	Assemblaggio carter e confezionamento con accessori		AP	Tenuta del cliccaggio								
			AQ	Numero di componenti nell'astuccio								
		AR	Tipologia e peso imballaggio. Etichettatura corretta									