



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale

Laurea In Ingegneria Meccanica

PROGETTAZIONE E INDUSTRIALIZZAZIONE DI UN ALZACRISTALLO AFTERMARKET

Tutor universitario: Prof. Giampiero MASTINU

Tutor aziendale: Ing. Fabio BALZA

Federico Boscolo 654655

Anno Accademico 2007/08

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro svolto per la realizzazione di questo elaborato è stato possibile grazie al contributo della ALGO S.p.A. di Albavilla (Co) Ringrazio tutto il personale dell'ufficio tecnico e dell'ufficio metodi, oggi miei colleghi di lavoro, che mi hanno guidato nella fase progettuale dell'alzacristallo e nella sua successiva industrializzazione, il personale dell'attrezzeria che ha fornito informazioni preziose sulle attrezzature, gli amici del reparto prototipi e prove che hanno sempre dato consigli su come realizzare il meccanismo. Ringrazio in particolar modo il Direttore Generale dell'azienda, l'Ing.Claudio Esposito per avermi permesso di svolgere il tirocinio proponendomi successivamente in azienda come tecnico e l'Ing.Fabio Balza per la disponibilità dimostrata nell'insegnarmi il "mestiere".

Un ringraziamento infine a tutto il personale di tutti i reparti per aver messo a disposizione la risorsa più importante: il tempo.

SOMMARIO

PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA	7
1. LE TECNOLOGIE DISPONIBILI	9
1.1 TECNOLOGIA PUSH & PULL	9
1.2 TECNOLOGIA ARM&SECTOR	10
1.3 TECNOLOGIA DRUM&CABLE	11
2. COSTRUZIONE DELL'ALZACRISTALLO	13
2.1 PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DELLA MACCHINA	13
2.2 PROGETTAZIONE DELL'ALZACRISTALLO	15
2.3 SCELTA DEI MATERIALI	17
3. FENOMENI DEGRADANTI: LA CORROSIONE	20
3.1 LA CORROSIONE PER COMBINAZIONE DIRETTA	21
3.2 TIPI DI CORROSIONE	22
3.2.1 – <i>Corrosione intergranulare</i>	22
3.2.2 – <i>Corrosione interstiziale</i>	22
3.2.3 – <i>Corrosione per vaiolatura</i>	22
3.2.4 – <i>Corrosione sotto sforzo</i>	23
3.3.5 – <i>Corrosione per fatica</i>	23
3.3 MORFOLOGIA DELLA CORROSIONE	24
3.4 LA ZINCATURA COME METODO DI PROTEZIONE	24
3.4.1 <i>La zincatura a caldo o galvanizzazione</i>	25
3.4.2 <i>Confronto tra la galvanizzazione e altri metodi di protezione</i>	27
4. REALIZZAZIONE DEL CAMPIONE	28
5. INDUSTRIALIZZAZIONE DEL PRODOTTO	29
6. LA SALDATURA	31
6.1 INFLUENZA DEI PARAMETRI NELLA SALDATURA	32
6.2 SALDATURA E SICUREZZA DELL'OPERATORE	35
7. CONTROLLO DEGLI ERRORI: IL METODO FMEA	37
8. PROVE DI VALIDAZIONE DEI COMPONENTI	41
8.1 PROVA SALVAMOTORE	41
8.2 COLLAUDI DEL FUNZIONAMENTO	41
8.2.1 <i>Carico massimo d'impatto</i>	42
8.3 COLLAUDO DI STATICITA' / PROVA EFFRAZIONE.	42

8.4 PROVE DI CARATTERIZZAZIONE	42
8.5 ENDURANCE TEST	42
9. BIBLIOGRAFIA	44

ALLEGATO 1: Emissione disegni

ALLEGATO 2: Tavole dei disegni emessi

ALLEGATO 3: Distinta base

ALLEGATO 4: Elenco operazioni

ALLEGATO 5: Convalida stampo modulare saldatura

ALLEGATO 6: Diagramma sinottico

ALLEGATO 7: FMEA

PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA

Da sempre Algo è specializzata nel disegno, nella produzione e nella fornitura di sistemi per alzacristalli elettrici e manuali per l'industria automobilistica secondo tre metodi: arm and sector, Bowden cable e "golde" drive cable.

La società opera seguendo canali distinti: il primo, che è quello storico, riguarda gli accessori e i ricambi; il secondo, detto "primo impianto", si suddivide in "diretto", rivolto cioè alle piccole case automobilistiche costruttrici e alle quali viene fornito il materiale direttamente, e "indiretto", con produzione conto terzi e secondo livello.

Facendo seguito a questo nuovo posizionamento dell'attività, Algo ha definito una nuova strategia commerciale puntando a diventare soprattutto fornitore

di secondo livello. La scelta si è dimostrata vincente: non solo l'azienda è tra le poche realtà che non hanno risentito della crisi del settore automobilistico, ma il fatturato ha fatto registrare continui incrementi.

Algo continua ad anticipare le tendenze e le richieste del mercato; offre flessibilità produttiva, rapidità di realizzazione e capacità tecnica di adattamento alle nuove tecnologie, vero punto di forza della società.

Oggi gran parte della produzione viene realizzata da Algo seguendo le normative ISO 9001-2000 – ISO TS 16949 e distribuita con diversi marchi commerciali propri, ed attraverso altri marchi di aziende primarie operanti nel settore del ricambio, sia in Italia che all'estero.

Nel corso degli anni, si è specializzata per la fornitura a case che producono serie limitate di autoveicoli, colmando un vuoto che per i grandi produttori rappresenta in parte una difficoltà, a seguito di motivi organizzativi e logistici.



Figura 1: Sede principale di ALGO a Albavilla (Co)



Figura 2: Stabilimento di Ne (Ge)

La caratteristica che rende Algo maggiormente competitiva, qualità a parte, è sicuramente la capacità di fornire risposte adeguate anche a richieste per la produzione di piccole quantità. Con questa strategia, infatti, la produzione si mantiene all'avanguardia sul mercato, potendo realizzare, velocemente ed economicamente, nuove attrezzature di controllo e particolari necessari per la produzione di nuovi modelli.

In questo modo Algo riesce ad essere presente con i nuovi modelli sul mercato, non appena una nuova automobile sia presentata al pubblico, senza che questa tempestività influisca sui ritmi della produzione normalmente in corso.

Uno dei punti di forza più evidenti finora acquisiti è la velocità di reazione.

Per i prodotti destinati all'After market, infatti, è possibile realizzare il prototipo dell'alzacristalli ed arrivare alla disponibilità del prodotto finito e pronto per la distribuzione nello spazio di sole 3/4 settimane. Attualmente viene prestata particolare attenzione allo sviluppo dei nuovi modelli tenendo come riferimento sin dalla fase prototipale la stessa tecnologia dell' originale, per poterne garantire la perfetta intercambiabilità.

Vengono inoltre realizzate anche le versioni che prevedono la funzione comfort.

Il costante interscambio di informazioni e l'esperienza acquisita collaborando con primarie aziende del settore automotive, costituiscono una solida base che permette ora di produrre e fornire, attrezzature e macchinari specifici per la produzione degli alzacristalli stessi per conto di clienti soprattutto esteri.

Algo opera attraverso tre stabilimenti: ad Albavilla (Como), a Né (Genova) e ad Alzate Brianza (Como) su una superficie di 3.000 metri quadrati inaugurati alla fine del 2002. Le produzioni sono diversificate. Albavilla produce accessori e ricambi, Alzate Brianza lavora per il primo impianto diretto e indiretto e Né fornisce i semilavorati ai primi due stabilimenti.

Algo S.p.A. controlla le seguenti società:

- Bestidea S.r.l. di Albavilla (Como)
- Meccanica Briantea S.r.l. di Limbiate (Milano),
- Electric Life Romania, Timisoara, Romania
- Alga Polska, Piotrkow Tribunalski, Polonia.



Figura 3: lo stabilimento di Alzate Brianza (Co)

1. LE TECNOLOGIE DISPONIBILI

1.1 TECNOLOGIA PUSH & PULL

L'alzacristallo "Push&Pull" è il primo nato nella tecnologia degli alzacristalli. Il suo funzionamento è abbastanza semplice: una fune metallica a cui viene avvolto un cavo metallico è vincolato a un pattino che scorre su una guida di opportuna lunghezza. Il cavo è azionato da una ruota dentata con una opportuna inclinazione del dente in modo da ingranare senza problemi. Alla ruota dentata è collegata la manovella in caso di azionamento manuale o un motore elettrico se l'alzacristallo è elettrico. All'azionamento del dispositivo, il cavo viene "tirato" o "spinto" a seconda del verso di rotazione della ruota dentata permettendo così il movimento di salita o discesa del vetro. Il cavo in eccesso che si crea in fase di discesa del cristallo è convogliato all'interno di un tubo sagomato che evita possibili interferenze con gli altri accessori installati in portiera. Nel caso di vetri di eccessiva larghezza e o non abbastanza vincolati nello scorrimento si utilizza la struttura a doppio cavo: si installa in portiera una seconda guida con tutti gli accessori (pattino, pinza,...) e si convoglia il cavo in eccesso proveniente dalla prima guida all'interno della seconda. Con questo sistema il cavo che viene "tira" il pattino sulla prima guida "spinge" il pattino sulla seconda guida.

Il sistema Push&Pull ha come vantaggio principale la possibilità di realizzare corse vetro elevate senza eccessivi vincoli. E' utilizzato soprattutto nei veicoli commerciali e di trasporto persone (Astra e Renault Magnum utilizzano la tecnologia a cavo singolo, Renault Premium quella a cavo doppio). Per contro il costo dell'alzacristallo non è economicamente vantaggioso rispetto alle altre tecnologie a disposizione.



Figura 4: alzacristallo a cavo singolo

1.2 TECNOLOGIA ARM&SECTOR

La seconda tipologia costruttiva degli alzacrystallo è quella “Arm&Sector”: un settore dentato a cui è vincolato rigidamente un braccio ruota per effetto di una ruota dentata azionata dal movimento della manovella o del motore elettrico. Durante l’azionamento del sistema il centro del settore, che risulta essere il centro di istantanea rotazione del sistema, permette al disco di ruotare e di conseguenza di far muovere il braccio. All’estremità del braccio è installato un perno con un rullino che sono montati su una canalina di opportuna forma e lunghezza che è collegata rigidamente al vetro. Nell’azionamento del sistema l’estremità del braccio disegna un arco di circonferenza: la traslazione lungo l’asse X è libera all’interno della canalina mentre la traslazione lungo l’asse Y è utilizzata per alzare e abbassare il vetro. Il sistema a braccio singolo viene utilizzato ad esempio sulle portiere posteriori di Toyota Aigo.

Analogamente a prima, in caso di escursioni relativamente lunghe del vetro è possibile adottare un doppio braccio: il sistema si basa sul principio del pantografo. All’assieme settore braccio di prima vengono aggiunti 2 bracci trasversali e un braccio secondario che vengono assemblati all’estremità del braccio principale. La posizione del perno con rullino del sistema a braccio singolo diventa una cerniera attorno alla quale ruotano tutti i bracci del sistema. Il braccio inferiore è dotato del perno con rullino che è sistemato all’interno di una canalina fissa montata in portiera mentre il braccio superiore e il braccio secondario, anch’essi con perno e rullino all’estremità libera, impegnano una canalina mobile sulla quale è fissato il vetro. Un sistema di questo tipo è installato sulle porte anteriori di modelli Volvo e Mercedes.



Figura 5: alzacrystallo a doppio braccio

1.3 TECNOLOGIA DRUM&CABLE

L'ultima tipologia di tecnologia costruttiva degli alzacristalli elettrici è costituita dal sistema "Drum&Cable" più comunemente chiamata "Bowden". L'alzacristalli è composto da una guida caratterizzata da lunghezza cordale e raggio di curvatura sul quale è libero di scorrere un pattino dove viene fissata la piastra cristallo. Agli estremi opposti del pattino sono collegati due funi che formano la trasmissione inferiore e la trasmissione superiore. Entrambi i cavi sono avvolti su un tamburo. Azionando il motore elettrico o la manovella per la discesa del vetro si ha la rotazione del tamburo che avvolge la fune della trasmissione inferiore che richiama il pattino verso il basso. Durante questa rotazione la trasmissione superiore si svolge dal tamburo e lascia libera la traslazione del pattino. La corretta tensione del cavo è mantenuta dalle molle poste vicino alla scatola rocchetto o sulla piastra motore che agendo su una bussola (con duplice la funzione di guida molla e di arresto guaina) mantiene la giusta tensione del cavo sia in fase di salita che in fase di discesa del vetro. Il sistema Bowden singolo è adottato sulle autovetture che presentano una sufficiente guida del cristallo tramite l'intelaiatura della portiera.

Nelle portiere in cui il cristallo è eccessivamente lungo oppure non si dispone di una corretta guida del vetro nell'intelaiatura della portiera si ricorre al sistema Bowden doppio in cui alla prima guida viene affiancata una seconda guida generalmente di dimensione analoga. La corretta movimentazione dei pattini avviene introducendo una trasmissione centrale che collega l'estremità superiore della guida anteriore a quella inferiore dell'altra: azionando il meccanismo in discesa la trasmissione inferiore verrà avvolta sul tamburo e richiama il pattino in discesa che a sua volta comanda il cavo della trasmissione centrale richiamandolo verso il basso. L'altra estremità della trasmissione centrale è collegata al pattino dell'altra guida; la fune della trasmissione centrale esce dall'estremo superiore della guida anteriore e si collega all'estremità inferiore della guida posteriore: questo incrocio permette quindi la traslazione verso il basso anche del secondo pattino.

Vantaggi del sistema Bowden sono la semplicità di realizzazione e il costo relativamente contenuto. Per contro questa tecnologia costruttiva vincola la corsa massima del vetro perché al crescere della corsa richiesta si ha un incremento dell'ingombro assiale del tamburo per via della necessità di ulteriori gole di avvolgimento.

Il sistema Bowden singolo viene utilizzato ad esempio su Renault Clio nelle porte posteriori o su Skoda Fabia mentre il sistema Bowden doppio è utilizzato sempre da Renault su Clio nelle porte anteriori oppure su Fiat Scudo, Fiat Bravo, Seat Ibiza,...



Figura 6: Alzacristallo Bowden singolo

2. COSTRUZIONE DELL'ALZACRISTALLO

La base di partenza nella progettazione di un alzacrystallo after market è la rilevazione delle quote di fissaggio in portiera delle guide (Drum&Cable e Push&Pull) o delle canaline (Arm&Sector) e dei punti di fissaggio del motore mentre per il corretto funzionamento del sistema vengono rilevate le lunghezze delle guide (D&C, P&P), il raggio di curvatura (D&C) e la lunghezza dei bracci (A&S). Altre quote possono essere rilevate dalla portiera in casi particolari.

Per la rilevazione delle quote viene utilizzata una macchina a rilevazione di coordinate per contatto Mitutoyo.

2.1 PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DELLA MACCHINA

La macchina per rilevare le coordinate è costituita da un piano di riferimento in granito rettificato. La scelta di usare il granito come piano di riferimento è dato da 3 motivi:

- Il granito è una pietra vecchia che esiste sulla Terra da millenni e quindi può essere considerato meccanicamente stabile
- Il granito può essere facilmente lavorato
- Nel malaugurato caso di una caduta accidentale di un pezzo sul piano di riscontro il granito si scheggia mentre altri materiali (acciaio, ghisa,...) tendono a "bollarsi"

Il montante e la testa della macchina sono provvisti di pattini pneumostatici che presentano come vantaggio, rispetto ad altri sistemi di scorrimento, di:

- Annullare gli attriti creando un strato d'aria che separa le parti meccaniche di pochi micrometri;
- Annullando gli attriti si annulla il calore prodotto dall'attrito stesso e quindi anche possibili deformazioni termiche che altererebbero le misure;
- Non si hanno vibrazioni trasmesse tra le parti in movimento per via dell'assenza di contatto tra le parti in movimento;
- La macchina ha maggiore rigidità strutturale

Su ogni asse di scorrimento sono installate delle righe ottiche per la misura della posizione rispetto all'asse di misura.

All'estremità della testa è montato un tastatore a testa sferica di diametro 3 mm costruita in rubino sintetico lucidato, caratterizzato da elevata durezza (è il materiale più duro conosciuto dopo il diamante) con conseguente bassissima usura e con buone caratteristiche di lavorabilità. Il tastatore ha possibilità di compiere piccole traslazioni lungo i 3 assi. All'interno della testa di misura c'è un microinterruttore che si apre al contatto del

tastatore sul pezzo quando viene esercitata una forza di contatto maggiore rispetto a quella di chiusura dell'interruttore.

Per eseguire le misure il software di controllo della macchina ha bisogno, prima di tutto, di acquisire una serie di punti per poter costruire il piano di misura. Acquisito il piano di misura occorre definire la direzione degli assi di misura e orientarlo nello spazio. Il passo successivo consiste nel definire nel piano scelto un'origine del sistema di assi. La scelta dell'origine, per convenzione, cade sul foro di passaggio del perno motore. Gli altri punti necessari per la definizione del fissaggio dell'alzacristalli sono la posizione dei fori di fissaggio del motore in portiera e la posizione di fissaggio delle guide (D&C e P&P) o delle canaline (A&S).

Acquisiti i dati dei fissaggi in portiera si acquisiscono i dati della meccanica degli alzacristalli che consistono nella misura della lunghezza cordale della guida, del raggio di curvatura e della posizione dei fissaggi della guida rispetto a uno degli estremi. L'estremo scelto è in funzione dello spazio libero a disposizione della guida in portiera in modo da poter compensare eventuali errori di misura o di costruzione successivi senza compromettere il funzionamento del sistema.

L'utilizzo della macchina di controllo a coordinate verrà ripresa successivamente per il controllo del campione e dei calibri di controllo.

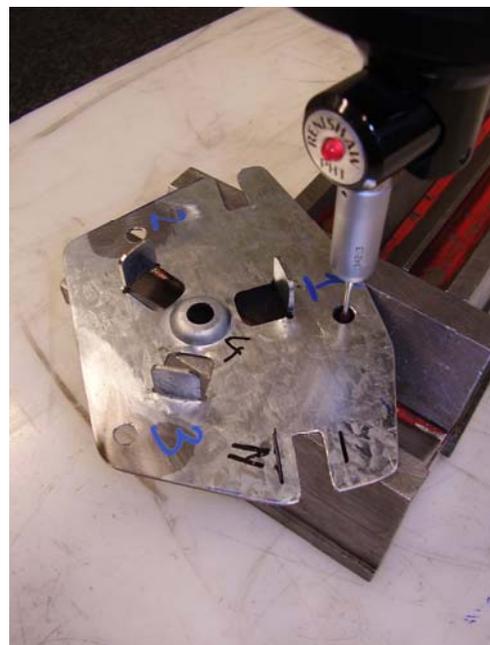


Figura 7: Macchina di misura

2.2 PROGETTAZIONE DELL'ALZACRISTALLO

Partendo dalle dimensioni caratteristiche rilevate mediante la macchina di misura a contatto è possibile ricreare l'alzacristallo. Per la progettazione si utilizza il software CATIA e nello specifico i moduli *Part*, *Generative sheetmetal*, *Wireframe&Surface design* e *Assembly* per quanto riguarda la modellazione 3D e il modulo *Drafting* per la messa in tavola dei componenti.

Il primo componente da realizzare è la guida. Partendo dal valore di lunghezza cordale e raggio di curvatura si crea sul piano la sezione della guida e si realizza l'operazione di estrusione per creare la guida. Per ottimizzare la gestione a magazzino delle guide vengono realizzate con step di 5mm sulla lunghezza cordale e step di 50mm sul raggio di curvatura salvo casi eccezionali. Successivamente si crea mediante il comando tasca le scantonature per alloggiare le pulegge.

Il primo sottoassieme si crea unendo alla guida i supporti puleggia e generando un nuovo codice nel gestionale. I supporti puleggia sono realizzati per tranciatura e sono costituiti da 5 tasche dove verranno alloggiati gli arresti guaina. In caso di necessità, lo stampo di trancia è stato realizzato per modificare i punzoni e tagliare eventuali denti che andrebbero a interferire durante il montaggio in portiera. Il supporto viene già fornito completo di puleggia e perno pressato da un fornitore esterno.

Lo step successivo consiste nell'assemblare alla guida con supporti le staffe e la piastra motore con relativa creazione di nuovo codice prodotto nel gestionale.

La piastra motore è realizzata partendo dalla posizione dei punti fissi in portiera: si creano i fori di fissaggio e il foro centrale per il tamburo avvolgi cavo. In generale, per convenzione, viene allineato un foro di fissaggio con il foro centrale per semplificare le successive operazioni di controllo dimensionale. La geometria esterna viene realizzata in maniera più semplice possibile salvo interferenze con quanto già presente in portiera. La piastra motore viene realizzata con il modulo *sheetmetal* per sfruttare i comandi CATIA relativi alle operazioni di piega lamiera e di imbutitura per creare le borchie.

Il passaggio successivo consiste nel creare la meccanica dell'alzacristallo (i così detti *codici ZT*): all'assieme guida vengono assemblati tutti gli altri componenti.

In genere si parte dalle trasmissioni a fune: si assemblano gli arresti guaina e le bussole guida molla e con il modulo *wireframe&surface* si creano le guaine delle trasmissioni. Per la realizzazione del campione viene utilizzato in prima approssimazione la lunghezza calcolata da CATIA imponendo una tensione dei capi della guaina pari a 1. Successivamente nell'*assembly* vengono posizionati il pattino e la piastra cristallo.

La scelta della piastra cristallo è in funzione del sistema di ancoraggio al vetro rilevato in portiera al momento della rilevazione quote. Posizionato il pattino e la relativa pinza si utilizza il comando “*spline*” del modulo *wireframe&surface* per creare la fune di comando del sistema e calcolare la sua lunghezza in prima approssimazione.

La lunghezza della fune di trasmissione può essere calcolata anche teoricamente come

$$L_{cavo} = L_G + L_A + L_B + L_C + L_T$$

Dove:

L_G = lunghezza della guaina calcolata dal software

L_A = lunghezza del cavo impegnata nell’arresto guaina

L_B = lunghezza del cavo impegnata nella bussola molla

L_C = Lunghezza della corda d’arco impegnata tra il pattino e il fondo guida

L_T = Lunghezza del cavo impegnato nel tamburo

L’avvolgimento della fune nel tamburo, in posizione di finecorsa, deve essere garantito per un minimo di 90° in modo da garantire il corretto ingranamento del cavo nel tamburo ed evitare rumorosità di funzionamento (se l’avvolgimento fosse minore di 90° ci sarebbe il rischio di “pizzicamento” del cavo con la gola di impegno del grano di fissaggio). Sapendo che il tamburo ha un passo di 2mm è possibile calcolare a finecorsa quant’è la lunghezza del cavo avvolto sul tamburo.

Altro particolare da tener presente nel calcolo della lunghezza del cavo è la compressione delle molle: il compito delle molle è quello di tenere in tensione la fune per il corretto funzionamento della trasmissione. Se il cavo non fosse sufficientemente teso il rischio principale sarebbe un avvolgimento non corretto sul tamburo con conseguente blocco del meccanismo. Assemblato il meccanismo si crea un nuovo codice nel gestionale (*codice ZF*) che identifica l’alzacristallo completo: si aggiunge il motore elettrico e le relative viti di fissaggio.

Una volta finito l’assemblaggio dell’alzacristallo in 3D si procede alla messa in tavola dei disegni utilizzando il modulo *Drafting*.

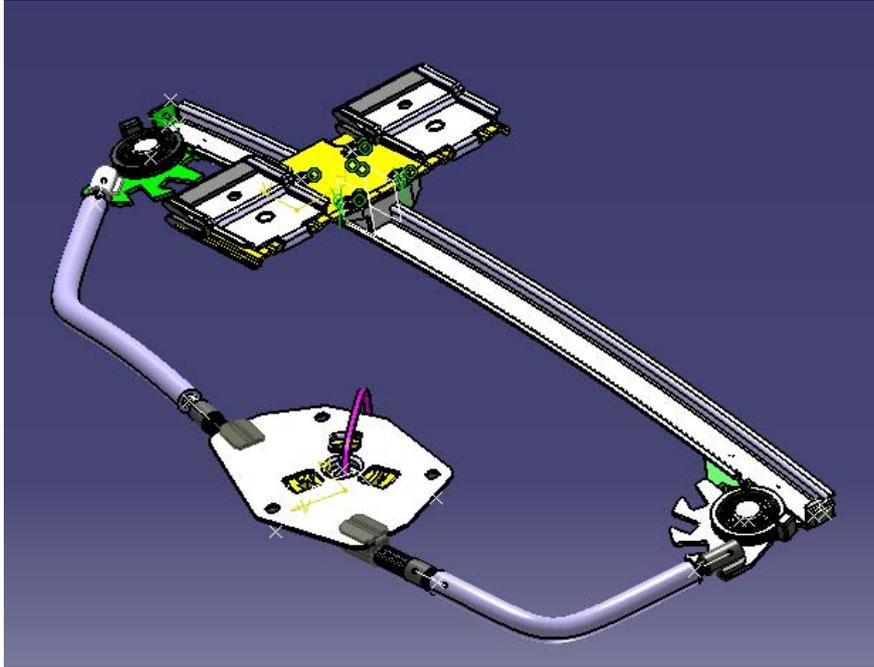


Figura 8: Modello 3D dell'alzacristallo ZF SK24 L

2.3 SCELTA DEI MATERIALI

La guida, le staffe e le piastre motore sono gli articoli di maggior consumo all'interno dell'azienda e devono pertanto essere costruiti in un materiale con buone caratteristiche meccaniche per resistere alle sollecitazioni e avere una buona attitudine a deformarsi plasticamente. Inoltre il materiale deve avere una buona resistenza a corrosione per un ciclo di vita abbastanza lungo. Il materiale che sembra rispondere meglio alle caratteristiche sopra elencate è l'acciaio *DX52 D UNI EN 10327* che è composto da

- C=0,12%
- Si=0,5%: è usato nel processo di produzione dell'acciaio per via dell'alto potere disossidante e ha grande influenza sulle caratteristiche meccaniche dell'acciaio. In generale questa quantità di silicio permette elevare sensibilmente la resistenza, il limite di snervamento e la durezza riducendo i valori di allungamento, strizione e resilienza. Permette inoltre di conferire una utile resistenza agli agenti corrosivi e agli acidi (soprattutto se si aumenta la quantità di silicio) e resistenza all'ossidazione a caldo (specialmente se accompagnato da cromo e alluminio). Per contro il silicio da problemi sulla deformabilità a freddo (per imbutitura profonda si mantiene un valore inferiore allo 0,2%), sulla saldabilità poiché tende a formare un silicato di difficile eliminazione nella zona di fusione e conferisce tendenza al surriscaldamento con conseguente ingrossamento del grano.

- Mn=0,6%: il manganese compare nella composizione chimica non solo perché è utilizzato nella produzione dell'acciaio come desolforante e disossidante ma perché permette di aumentare la tenacità (in particolare la resilienza) a parità di resistenza alla trazione e permette un forte aumento della resistenza a trazione quantificabile come 100Mpa per ogni punto percentuale. Per contro la presenza di questo elemento tende a peggiorare la deformazione plastica a freddo se la quantità di manganese supera questo valore (questo difetto è riscontrabile soprattutto se la struttura è perlitica)
- S=0,045%: è una quantità residua del processo produttivo. Lo zolfo è un elemento non desiderato in lega dato che peggiora le caratteristiche meccaniche. In particolar modo si ha un decadimento delle resilienza che si accentua all'aumentare della percentuale di carbonio. L'immiscibilità dello zolfo nel ferro determina la sua presenza come inclusioni non metalliche
- P=0,10%: come per lo zolfo è un elemento non desiderato che riduce le caratteristiche meccaniche dell'acciaio. Lo si trova disciolto nell'acciaio anche allo stato solido Ha una forte tendenza alle segregazioni e tende a diminuire notevolmente la lavorabilità a freddo.
- Ti=0,3%: data la sua notevole affinità con l'ossigeno e l'azoto nel processo produttivo è utilizzato come potente disossidante e deazoturante.

L'alzacristallo deve resistere ai fenomeni corrosivi di vario tipo perché, nonostante sia installato all'interno della portiera, le guarnizioni montate sulla cornice della portiera stessa non isolano l'alzacristallo dall'atmosfera e quindi da tutti i suoi componenti dannosi per il materiale

Per quanto riguarda la componentistica non metallica si utilizza l'*Hostaform®*, nome commerciale del POM (PoliOssiMetilene), un polimero semicristallino la cui produzione risale al 1959. I vantaggi del POM risiedono nel possedere una buona resistenza meccanica, una buona durezza e una discreta rigidità oltre a mantenere una stabilità geometrica per via del basso assorbimento di umidità e una resistenza a creep in un buon intervallo di temperatura (da -40°C a +85°C) anche in un ampio range di umidità. La stabilità chimica del polimero conferisce un'ottima resistenza agli oli e ai solventi organici. Il POM inoltre può essere saldato a ultrasuoni e può essere altresì incollato con opportuni adesivi. Per contro l'*Hostaform* può incendiarsi in fase di lavorazione e durante la combustione produce fumi tossici (soprattutto di formaldeide) perciò occorre tenere sotto stretto controllo la temperatura di fusione. La permeabilità a gas e vapori anche organici è

molto alta e la resistenza a acidi forti e agenti ossidanti è molto scarsa. Se non opportunamente stabilizzati il POM è attaccato dai raggi U.V.

3. FENOMENI DEGRADANTI: LA CORROSIONE

Nel corso della storia l'uomo ha cercato di preservare le sue opere dai danneggiamenti dovuti alla corrosione ma nel corso degli ultimi anni, complice anche l'inquinamento, questo fenomeno tende ad accentuarsi.

In natura i materiali sono presenti come ossidi e sali e la loro estrazione comporta la trasformazione di energia derivante da varie fonti, in energia chimica che porta il materiale a un livello energetico più elevato rispetto a quello di partenza con conseguente perdita di stabilità (è noto dalla chimica che livelli energetici più bassi tendono ad essere più stabili). I metalli tendono inoltre a delocalizzare sull'intera struttura metallica gli elettroni più esterni. In tal modo essi possono essere facilmente catturati da specie chimiche che tendono ad acquistare elettroni. Quando si verifica tale perdita, nel metallo si manifesta una repulsione elettrostatica tra cariche positive in eccesso che provoca il distacco di ioni positivi dal corpo metallico per ripristinare la preesistente condizione di elettroneutralità. Si innesca così un progressivo processo di corrosione. L'instaurarsi di questi processi elettrochimici comporta l'ossidazione dei materiali metallici che perdono quindi elettroni (e di conseguenza si corrodono) a favore di una specie chimica che si riduce (acquistando elettroni).

La propensione a ossidarsi e ridursi varia a seconda delle specie chimiche considerate: per ottenere un valore relativo della possibilità di riduzione/ossidazione si confrontano i potenziali di riduzione standard per prevedere l'entità del fenomeno.

La corrosione del materiale è influenzata da fattori esterni (il pH dell'ambiente di contatto, la presenza

di elementi inibitori, la temperatura, l'azione di correnti elettriche esterne, la velocità dei fluidi che lambiscono le superfici) e fattori interni (le proprietà chimiche del materiale, la microstruttura, le tensioni di deformazione, lo stato superficiale). Un esempio

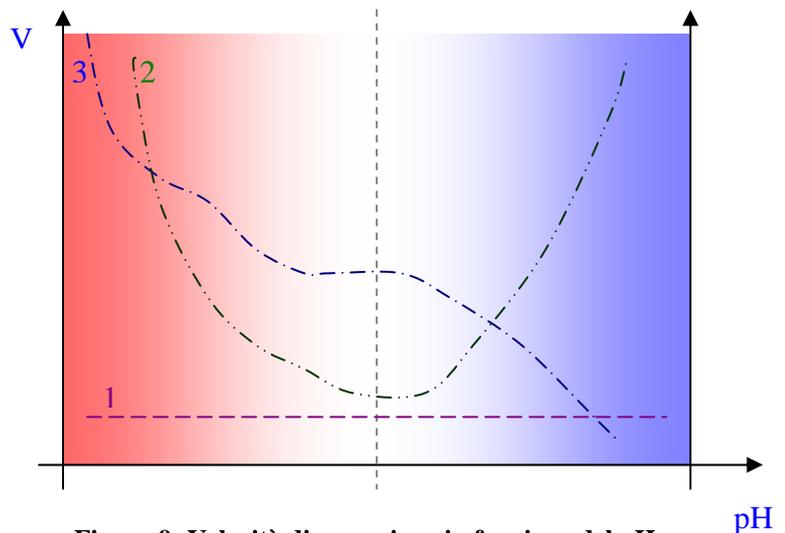


Figura 9: Velocità di corrosione in funzione del pH

dell'andamento della velocità di corrosione in funzione del pH della soluzione a contatto con diversi tipi di metalli è schematizzato nella figura 8.

- Nei *metalli nobili* (Au, Ag) la velocità di corrosione è bassa e non risentono del pH (curva 1);
- Nei *metalli anfoteri* (Al, Zn, Pb) la corrosione aumenta velocemente al variare del pH sia spostandosi nelle zone acide che in quelle basiche (curva 2);
- Gli *altri metalli* (Fe, Ni, Mg,...) sono fortemente corrosi in ambiente acido mentre in ambiente basico lo strato protettivo si rafforza rendendoli stabili e praticamente immuni alla corrosione (curva 3).

A livello meccanico, qualora la superficie di un pezzo presenti porosità, incrinature, cricche o altro può verificarsi una condensazione di tipo fisico dovuta alla tensione di vapore presente in una fase liquida contenuta in un poro capillare. Tale fenomeno è in relazione con il raggio di curvatura R del menisco della fase liquida (un menisco concavo e con basso R favorisce la condensazione del vapore sovrastante facendo in modo che ogni imperfezione superficiale possa costituire sede di innesco di corrosione atmosferica come illustrato in figura 10).

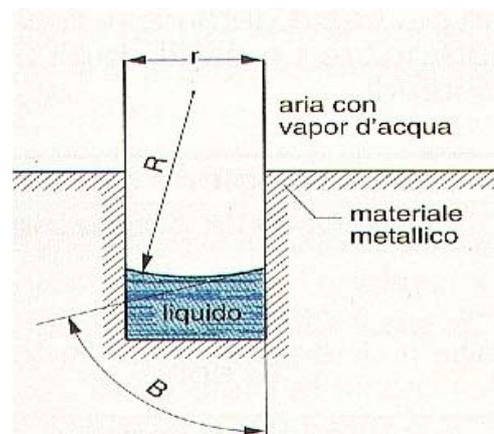
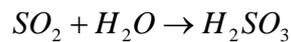
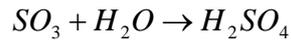


Figura10: Sezione schematica di una porosità capillare

3.1 LA CORROSIONE PER COMBINAZIONE DIRETTA

Questo tipo di corrosione è detta anche “a secco” e può verificarsi in assenza di umidità, avviene per azione di sostanze chimiche, agenti atmosferici, sostanze contenute in acque marine o inquinate. Queste sostanze, a contatto con metalli o leghe metalliche, danno luogo a composti poco compatti che quindi sono asportati scoprendo altro metallo che sarà, a sua volta, soggetto da corrosione. Per lo stesso agente chimico la velocità di corrosione varia con temperatura, pressione e rugosità superficiale del metallo. La corrosione è prodotta da:

- Ossigeno che causa ossidazione;
- Acido solfidrico H_2S che forma una pellicola superficiale facilmente asportabile;
- Ossidi di zolfo in presenza di umidità reagiscono come:



i quali prodotti attaccano le leghe ferrose e portano alla formazione di solfato di ferro $FeSO_4$; altro solfato può aversi per reazione di Fe_2O_3 (la ruggine) con SO_2 .

3.2 TIPI DI CORROSIONE

3.2.1 – Corrosione intergranulare

Detta anche “*corrosione intercristallina*” si verifica ai bordi dei grani cristallini che hanno subito un trattamento di “sensibilizzazione” (il riscaldamento del materiale che senza provocare cambiamenti di stato comporta la precipitazione di carburi a bordo grano). Nel normale utilizzo della bombola l'intervallo di temperature è inferiore a quello che innesca la precipitazione dei carburi e la conseguente corrosione.

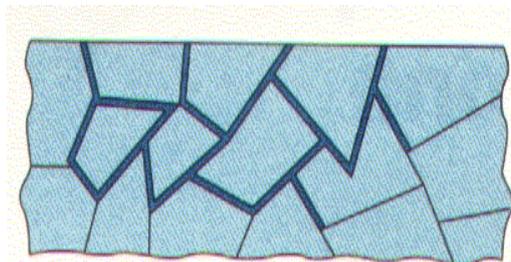


Figura 11 Corrosione intercristallina

3.2.2 – Corrosione interstiziale

Denominata anche “*crevice corrosion*” avviene nel punto di contatto fra due superfici che possono essere metalliche dello stesso tipo o differenti, metalliche e non metalliche, metalliche e di prodotti di corrosione,... nelle fessure tra le due superfici, ristagna acqua che si impoverisce sempre più di ossigeno (anodo); il liquido circostante (catodo) al contrario si rinnova regolarmente e assume una concentrazione di ossigeno sempre più elevata; si attiva così una corrosione elettrochimica, che con l'accumulo di prodotti di corrosione si autoalimenta e accelera il processo.

3.2.3 – Corrosione per vaiolatura

La “*Pitting corrosion*”: è un tipo di corrosione localizzato, ad andamento penetrante o cavernoso. Provoca perforazioni che generalmente non vengono rilevate se non a danno avvenuto. È caratterizzata da zone anodiche localizzate, molto meno estese di quelle catodiche circostanti. È frequente negli ambienti ricchi di ioni cloro. Si svolge in 2 fasi:

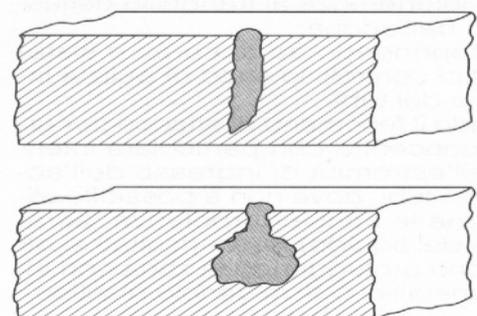


Figura 12: Corrosione per vaiolatura perforante (sopra) e a

- La prima fase d'attacco che inizia nei punti a passività superficiale più debole (bordo grano, zone incrudite, inclusioni) o nel caso di metalli molto puri dove lo strato di passività superficiale è interrotto.
- La seconda fase di sviluppo è caratterizzata da un'accelerazione del fenomeno corrosivo, poiché ad una piccola area anodica corrisponde una grande area catodica.

Il fenomeno del pitting interessa gli acciai inox, le leghe base alluminio, quelle base rame e gli acciai al carbonio.

3.2.4 – Corrosione sotto sforzo

Chiamata anche “*stress corrosion*”, si genera per la presenza di una sollecitazione di trazione del pezzo in ambiente corrosivo avvenendo in profondità (Figura 11 punto 5) non è visibile e porta a cedimento senza preavviso del componente. Nel caso dei recipienti in pressione è evidente la concentrazione di sforzi in corrispondenza dell'apice della cricca che si comporta da anodo accelerando il fenomeno. Determinanti sono gli sbalzi termici, tensioni dovute a forze interne o esterne o cricche originate dal solo ambiente corrosivo. In assenza di tensioni il decadimento per corrosione sarebbe lento e spesso di scarso rilievo. Risentono di questo problema soprattutto gli acciai inox austenitici in presenza di soluzioni acquose di cloruri e alcune leghe di alluminio e magnesio in presenza di acqua marina.

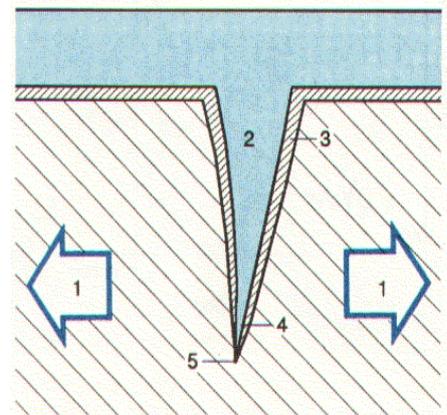


Figura 13: Cricca schematica

3.3.5 – Corrosione per fatica

Si manifesta con una serie di cricche transgranulari e raramente intergranulari, filiformi e poco ramificate. L'effetto risultante di corrosione e fatica tende a diminuire la sollecitazione limite e a far scomparire il limite a fatica.

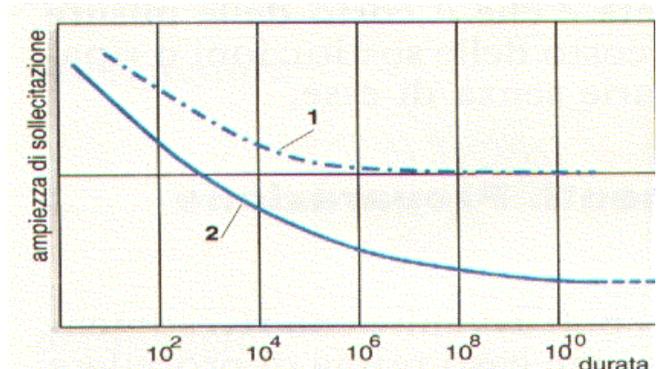
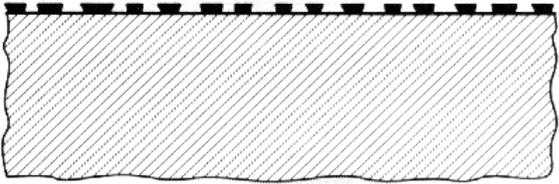
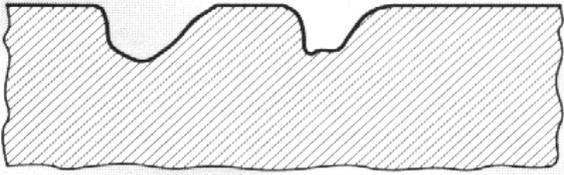
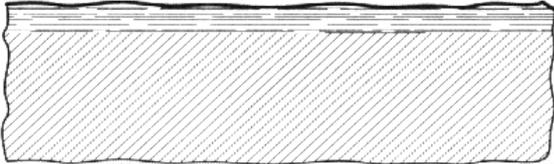
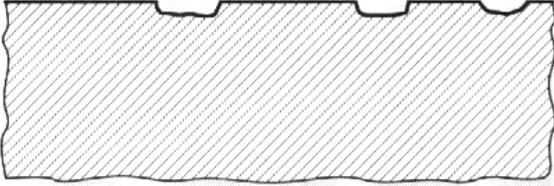
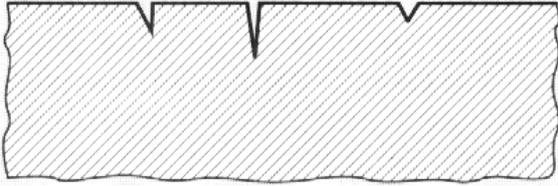


Figura 14: Diagramma di Wöhler: curva 1: ambiente standard; curva 2: ambiente corrosivo

3.3 MORFOLOGIA DELLA CORROSIONE

Qui sono rappresentate superfici degradate dalla corrosione, come si vede possono assumere differenti aspetti in funzione di come l'azione corrosiva avanza.

 <p>Corrosione uniforme <i>La superficie di contorno si conserva parallela a quella iniziale.</i></p>	 <p>Corrosione a crateri <i>La profondità della cavità è all'incirca uguale alla dimensione media superficiale.</i></p>
 <p>Corrosione a strati <i>Gli strati in cui si localizza la corrosione sono tendenzialmente paralleli fra loro.</i></p>	 <p>Corrosione a caverne <i>La dimensione media in superficie è inferiore a quella massima misurabile parallelamente alla superficie stessa.</i></p>
 <p>Corrosione a ulcere <i>La profondità della cavità è nettamente inferiore alle dimensioni trasversali.</i></p>	 <p>Corrosione a punta di spillo <i>La profondità della cavità è nettamente maggiore delle sue dimensioni trasversali.</i></p>

3.4 LA ZINCATURA COME METODO DI PROTEZIONE

Il rivestimento di zinco offre un'ottima protezione ai fenomeni corrosivi per lungo tempo e senza richiedere manutenzione (sarebbe impensabile dover procedere alla manutenzione programmata di un alzacristalli in un veicolo). Per questo motivo può essere definita come il metodo di protezione più economico. La protezione avviene

- mediante un'azione di barriera dello zinco che non permette il contatto dell'acciaio sottostante con l'atmosfera
- una capacità dei prodotti di corrosione dello zinco a ricoprire le piccole discontinuità del rivestimento riducendo l'effetto dannoso
- un'azione galvanica che interviene nelle zone di discontinuità del rivestimento qualora questo si danneggi.

La velocità di corrosione dello zinco è infatti 20-30 volte più lenta rispetto a quella dell'acciaio perché lo zinco tende a ricoprirsi di uno strato di ossido superficiale protettivo che risulta stabile in un intervallo di pH tra 6 e 12,5. In atmosfere molto inquinate pertanto si avrà un'interferenza nella formazione del film protettivo basico dando luogo a prodotti solubili che possono ridurre la vita dello strato protettivo (la velocità di corrosione può anche raddoppiare). Tuttavia il comportamento della protezione ha un andamento lineare perciò è abbastanza semplice prevedere la vita di un rivestimento e di conseguenza sapere lo spessore.

Lo zinco, comportandosi da anodo sacrificale, impedisce la corrosione nelle zone in cui l'acciaio resta scoperto. Sulla struttura dell'alzacristallo, non essendo isolato dall'atmosfera esterna, può formarsi della condensa e l'acqua assume la funzione di elettrolita. La protezione della zincatura in questo caso si estende per piccole zone per via dell'elevata caduta ohmica dell'elettrolita che ostacola il passaggio di corrente da anodo a catodo

3.4.1 La zincatura a caldo o galvanizzazione

Tale processo consiste nel rivestire dei prodotti in acciaio con uno strato di zinco immergendoli in un bagno di zinco fuso. Costituisce il procedimento più antico, semplice e diffuso di rivestimento di zinco su acciaio (la prima zincheria in Italia è sorta nel 1883 a Milano per opera di Luigi Orrigoni). I manufatti di acciaio, prima di essere sottoposti al processo, devono subire un trattamento di sgrassatura (meccanica o ad immersione) il cui scopo è eliminare grasso, vernici e scorie di saldatura che i pezzi possono portarsi dietro dalle precedenti lavorazioni. Dopo la fase di sgrassatura i manufatti vengono decapati in acido cloridrico 1:1 per un tempo sufficientemente lungo, in modo che gli ossidi di ferro vengano completamente trasformati in cloruro di ferro, facilmente solubile. Il manufatto è pronto per passare al bagno di zinco fuso, che si trova in una vasca di acciaio speciale rivestita di refrattario; tuttavia, prima di venire a contatto con lo zinco, i pezzi passano

attraverso uno strato di condizionamento costituito da sale doppio di zinco e ammonio ($ZnCl_2 \cdot NH_4Cl \cdot 2H_2O$), che galleggia sopra lo zinco in fusione. Esso ha una duplice funzione:

- eliminare ogni impurezza sul ferro (per es. i cloruri di ferro rimasti aderenti dopo il decapaggio)
- evitare che lo zinco sottostante si ossidi.

In tale modo la superficie del materiale ferroso è pronta a legarsi con lo zinco. Questa lega si ottiene unicamente a temperature superiori a quella del punto di fusione dello zinco e non è perciò presente negli oggetti rivestiti elettroliticamente. La lega ferro-zinco (vedi figura 15 e tabella seguente) è formata da diversi strati.

Fase	Formula	Contenuto Fe (in peso)	Struttura cristallografica	Densità (g/cm)
Eta	Zn	max 0,003	Esagonale a corpo centrato	7,14
Zeta	FeZn ₁₃	5,7-6,3	Monoclina	7,18
Delta	FeZn ₁₀	7,0-11,5	Esagonale a corpo centrato	7,24
Gamma	Fe ₅ Zn ₂₁	21,0-28,0	Cubica a facce centrate	7,36

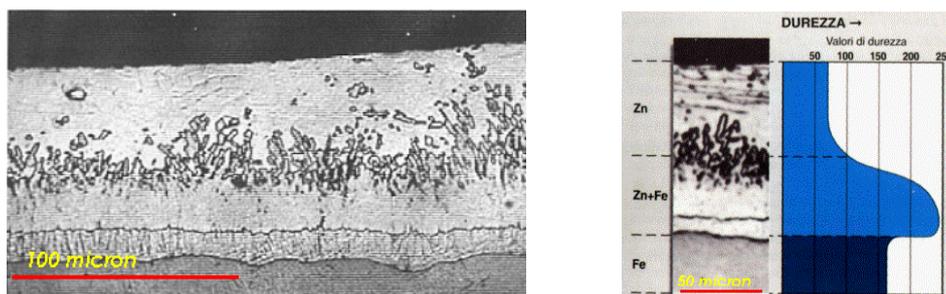


Figura 15: sezione trasversale di lamiera zincata e andamento della durezza

Quella più vicina al ferro è estremamente sottile ed è un composto da 20-27% di ferro (Fe_5Zn_{21} , con cristallizzazione cubica gamma, dura e brillante). La lega intermedia con un contenuto in ferro da 7 a 11% ($FeZn_{10}$, con struttura cristallina esagonale; la diffusione di questo strato è molto rapida con il risultato che il suo spessore è molto più sottile della lega precedente) ha una struttura di considerevole duttilità. L'ultimo strato ha un contenuto da 5,75 a 6,25% di ferro nello zinco e la sua composizione è monoclina, formata

da cristalli monoclini. Attraverso ad essa la diffusione del ferro nello zinco è lenta e con essa si può terminare l'azione dissolvente dello zinco sul ferro.

A questo punto, con il naturale rallentamento di questa formazione di lega ferro-zinco, si può estrarre il materiale dal bagno di zinco, si interrompe il continuo formarsi delle varie leghe e rimane sulla superficie esterna uno strato di zinco puro con una struttura cristallina esagonale: per effetto del raffreddamento questo strato non fa in tempo a entrare in lega.

Influsso notevole sull'aspetto dei manufatti e sulla riuscita di tutto il procedimento ha la temperatura del bagno di zincatura. Una temperatura troppo elevata favorisce la formazione di scorie e dà luogo a deposito ruvido ed opaco. Una temperatura troppo bassa lascia invece sul manufatto uno spessore di zinco ineguale, fragile, che si sfalda facilmente se si sottopone l'oggetto zincato a qualsiasi lavorazione successiva. L'optimum per lamiera sottile è fra 455 e 465 °C. Con materiali di spessore più elevato la zincatura deve eseguirsi a temperature inferiori. Il tempo di immersione varia a seconda dello spessore che si vuole ottenere.

L'estrazione dal bagno deve compiersi in modo che venga favorita al massimo la scolatura dello zinco per far sì che la superficie risulti il più possibile liscia ed uniforme. Tutti gli oggetti cavi devono possedere aperture sufficientemente grandi in modo da consentire una facile entrata ed uscita dello zinco fuso.

3.4.2 Confronto tra la galvanizzazione e altri metodi di protezione

RIVESTIMENTI ZINCATI A CALDO	ALTRI RIVESTIMENTI METALLICI	VERNICE
Ben legata all'acciaio	Non si legano all'acciaio	Rivestimento separato
Lunghissima durata	Durate variabili	Durata variabile
Protegge elettrochimicamente	Senza protezione elettrochimica	Senza protezione elettrochimica
Eccellente resistenza ai danni	Buona resistenza ai danni	Scadente resistenza ai danni
Eccellente resistenza alle abrasioni	Buona resistenza alle abrasioni	Scadente resistenza alle abrasioni
Facilissimi da ispezionare	A volte difficili da ispezionare	Abbastanza facile da ispezionare
Molto economica	Non sempre economici	Abbastanza economica
Non tossici	Possano essere tossici	Spesso è tossica

4. REALIZZAZIONE DEL CAMPIONE

Emessi i disegni e la distinta base da parte dell'ufficio tecnico la documentazione passa al reparto prototipi dove viene realizzato un primo campione e viene montato in portiera. È possibile così verificare la corretta installazione del meccanismo, l'assenza di interferenze in portiera e verificare il funzionamento del meccanismo. Si può valutare a questo stadio l'adozione di spugnette antivibranti sulle guaine delle trasmissioni se entrano in contatto con la struttura della portiera. Se il campione supera le prove di funzionamento in portiera si passa alla sua industrializzazione.



Figura 16: Prototipo ZT SK704 L pronto per la prova in portiera

5. INDUSTRIALIZZAZIONE DEL PRODOTTO

Il primo componente da realizzare è la guida caratterizzata da un determinato raggio di curvatura e da una precisa lunghezza cordale. Il metodo più flessibile per la produzione della guida può essere identificato con l'utilizzo di una macchina *profilatrice* che partendo da un nastro in acciaio, settando opportunamente i parametri macchina, permette di ottenere la guida con la sezione disegnata. Durante il processo di profilatura, le coste esterne della guida sono sempre a contatto con i rulli di piega/trascinamento perciò risultano quelli con la geometria più precisa e con la minor probabilità di errore.



Figura 17: Profilatrice per guide Bowden

Per questo motivo in fase di progetto si fa riferimento alla costa esterna come primo riferimento per il posizionamento degli altri componenti. La guida raggiata viene tagliata alla lunghezza prefissata da una cesoia con un punzone opportunamente conformato in modo da ottenere non solo la lunghezza della guida desiderata ma anche le scantonature per i supporti puleggia.

Le piastre motore in genere vengono effettuate in più passaggi: il primo passaggio consiste nel costruire la geometria esterna e la foratura. In base al volume produttivo può essere conveniente realizzare gli sviluppi mediante taglio laser (massima flessibilità per bassi volumi produttivi) oppure per stampaggio (alti volumi produttivi). Ottenuta la geometria tramite uno stampo si realizzano le borchie



Figura 18: Stampo per la realizzazione delle borchie di saldatura

Ottenuti i particolari occorre assemblarli. L'assemblaggio dei componenti viene realizzato mediante saldatura, metodo di collegamento dei particolari metallici che garantisce sufficiente tenuta e un buon rapporto qualità/costi rispetto agli altri tipi di collegamento. L'assemblaggio della meccanica (assieme guida, trasmissioni, rocchetto, motore,...) avviene manualmente utilizzando apposite dime specifiche per ogni alzacristallo



Figura 19: saldatura di piastre motore (alzacrystallo Arm&Sector)



Figura 20: assemblaggio su dima (alzacrystallo doppio Bowden)

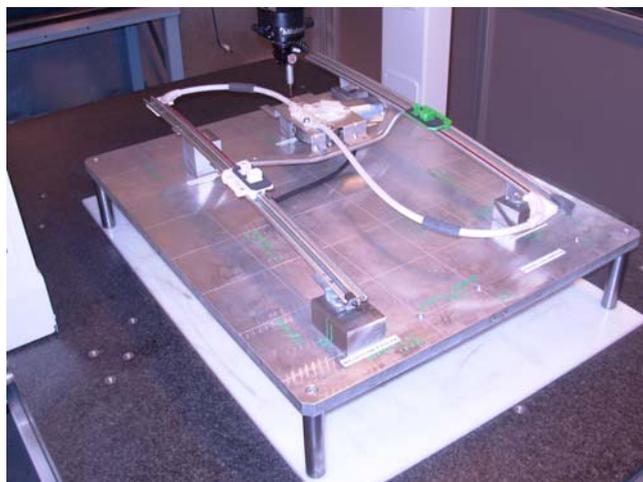


Figura 21: fase di misura su calibro primo pezzo conforme (alzacrystallo Push&Pull)

6. LA SALDATURA

La saldatura elettrica a resistenza è un procedimento di saldatura autogena per pressione dove il calore necessario per portare le superfici da saldare a temperatura di fusione è fornito per resistenza elettrica dal passaggio di una corrente attraverso le zone da unire. L'unione dei componenti avviene senza apporto di metallo esterno.

La saldatura elettrica per resistenza permette di creare 2 tipi di giunti saldati:

- *A sovrapposizione* nei quali la saldatura è limitata a piccole porzioni delle superfici che si sovrappongono
- *Di testa* dove la saldatura si estende a tutta la superficie di contatto dei pezzi

Nella produzione degli alzacristalli elettrici si utilizzano le saldature a sovrapposizione che si eseguono applicando una pressione sulle superfici di saldatura mediante organi meccanici chiamati elettrodi che svolgono anche il compito di conduttori di corrente elettrica verso i pezzi da saldare.

La saldatura avviene quindi per fusione e per pressione nella zona delle superfici combacianti che sono attraversate dalla massima intensità di corrente. La zona di saldatura risulta assai limitata e prende il nome di punto di saldatura.

La saldatura a sovrapposizione può essere ulteriormente suddivisa in

- *A punti* quando la saldatura è realizzata con formazione di uno o più punti di saldatura determinati dalla forma e dalle dimensioni degli elettrodi
- *A rilievi* quando la forma e l'estensione della zona saldata sono determinate dalla forma ed estensioni di rilievi del pezzo
- *A rulli* quando la saldatura è realizzata per mezzo di una linea di punti ottenuta con elettrodi a disco detta rulli, rotanti lungo la linea di giunto.

La saldatura a punti viene utilizzata per la saldatura dei componenti dell'alzacristallo.

Il processo può essere descritto come segue: si dispongono 2 componenti sovrapposti realizzati in acciaio con spessore analogo e li si dispone tra 2 elettrodi in rame, uno inferiore fisso e uno superiore libero di traslare. Gli elettrodi sono collegati al secondario di un trasformatore. si esercita una pressione sui componenti tramite gli elettrodi e si chiude un interruttore elettrico. Alla chiusura dell'interruttore la corrente fluisce attraverso il circuito secondario e produce una quantità di calore pari a

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t$$

Meglio nota come *legge di Joule* dove:

Q = quantità di calore necessaria alla fusione espressa in Joule

I = Intensità di corrente espressa in Ampere

R = Resistenza elettrica espressa in Ohm

T = tempo espresso in secondi.

6.1 INFLUENZA DEI PARAMETRI NELLA SALDATURA

Nella legge di Joule la resistenza in realtà è la somma di più resistenze che si incontrano nel circuito secondario e più precisamente si individuano

R_0 = resistenza offerta dal circuito elettrico secondario (trasformatore, condotti, portaelettrodi e elettrodi,...)

R_1 = resistenza di contatto tra l'elettrodo superiore e il componente superiore

R_2 = resistenza del materiale costituente il componente superiore

R_3 = resistenza di contatto tra i 2 componenti

R_4 = resistenza del materiale costituente il componente inferiore

R_5 = resistenza di contatto tra l'elettrodo inferiore e il componente inferiore

R_2 e R_4 sono notevoli perché la resistenza offerta dall'acciaio è superiore di circa 6/8 volte rispetto a quella offerta dal rame ma il riscaldamento prodotto è sempre inferiore se confrontato alle resistenze di contatto R_1 e R_5 dovute al fatto che si passa da un materiale molto conduttore (lega base rame) a uno meno conduttore (lega base ferro) che a loro volta sono inferiori a quella R_3 di contatto tra i due componenti dove si svilupperà il massimo calore. La resistenza del circuito R_0 può essere ragionevolmente trascurata perché il suo valore è molto inferiore rispetto alle altre resistenze.

Le resistenze che entrano in gioco nella regolazione dei parametri di saldatura sono quindi R_1 , R_3 e R_5 che variano in funzione di pressione, temperatura, stato delle superfici e materiale dei componenti.

La pressione assume un ruolo fondamentale in quanto la resistenza di contatto dei materiali è molto sensibile ad essa (due superfici levigate entrano in contatto sulle creste del profilo microgeometrico, se si applica una pressione le creste si schiacciano aumentando la sezione di contatto e diminuendo la resistenza).

Tuttavia la diminuzione della resistenza non è controproducente come potrebbe sembrare a prima vista perché

- Applicando una pressione superiore a un certo valore si riducono le resistenze di contatto in modo da consentire il passaggio di correnti tanto elevate da produrre in breve tempo un intenso e localizzato riscaldamento
- Con una pressione elevata le resistenze di contatto R_1 e R_5 si riducono a valori bassi che si traducono in bassi riscaldamenti degli elettrodi evitando deformazione degli stessi o contaminazioni del materiale

L'intensità di corrente interviene nella legge di Joule al quadrato e quindi vi è convenienza a elevarla per ridurre i tempi di esecuzione e di conseguenza impedire una notevole dissipazione di calore dalla zona di contatto dei due componenti. La dissipazione infatti rappresenta uno spreco di energia che abbassa il rendimento della macchina e va anche a riscaldare parti non interessate dal processo di saldatura con conseguente alterazione della struttura del materiale. Inoltre, la diffusione del calore sotto le punte degli elettrodi porta a una rapida usura e a un'alterazione della geometria.

L'evoluzione della saldatura a resistenza ha portato a tempi di saldatura molto brevi con conseguente adozione di intensità di corrente elevate. Il valore dell'intensità è influenzato da

- *Pressione* che gioca sui parametri R_1 , R_3 e R_5 (a maggiori pressioni corrispondono resistenze minori e quindi correnti più elevate)
- *Stato della superficie* dove la presenza di ossidi, grassi, oli,... corrispondono aumento di resistenze e quindi diminuiscono la corrente con conseguente aumento del tempo di saldatura se non impossibilità di saldatura
- *Natura del metallo* che interviene direttamente tramite le caratteristiche fisiche e chimiche
- *Spessore dei componenti* perché l'intensità è una funzione crescente dello spessore (a spessori maggiori servono punti di saldatura di maggiori dimensioni)
- *Forma del componente*
- *Forma, dimensione e materiale degli elettrodi* (con elettrodi raffreddati è possibile utilizzare correnti più elevate)

Per *pressione* si intende il rapporto tra lo sforzo di compressione esercitato dalla punta degli elettrodi e l'area delle punte degli elettrodi espresso in MPa. La pressione viene esercitata per un periodo più lungo di quello di passaggio della corrente: il ciclo di pressione inizia prima di quello di corrente, termina dopo e si possono distinguere 4 fasi:

- *Preaccostaggio* dove si ha l'avvicinamento degli elettrodi ai componenti con una minima forza in modo da preservare gli elettrodi stessi dall'usura causata dagli urti
- *Accostaggio* dove si ha l'incremento di pressione senza passaggio di corrente
- *Saldatura* dove si ha il massimo della pressione e il passaggio della corrente fino a fusione del nocciolo
- *Raffreddamento* dove cessa il passaggio della corrente ma non cessa la pressione sul pezzo

La combinazione opportuna di questi parametri unita al tempo fornisce quindi l'adatta fonte di energia per generare la giunzione. Durante il processo, una volta raggiunto nel punto di contatto la temperatura di fusione, la corrente viene interrotta nel circuito alimentatore ma gli elettrodi rimangono ancora per qualche tempo a contatto con i componenti (tempo di mantenimento) per impedire il distacco delle lamiere quando il metallo del nocciolo è ancora fuso e aiutare per conduttività termica la solidificazione e il rapido raffreddamento. La pressione viene quindi tolta, l'elettrodo superiore si alza e il processo di saldatura è compiuto.



Figura 22: Stampo di saldatura per supporti puleggia



Figura 23: particolare stampo di saldatura per staffe

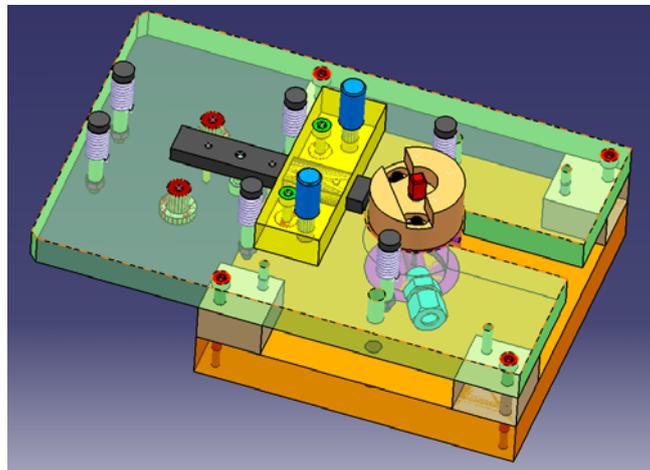


Figura 24: Assembly 3D CATIA di stampo di saldatura

6.2 SALDATURA E SICUREZZA DELL'OPERATORE

Abbiamo detto che la zincatura consiste in un rivestimento di zinco legato alla superficie dell'acciaio. Lo strato di zinco ha uno spessore simile a quello di uno strato di vernice. Lo zinco, però, si scioglie ad una temperatura piuttosto bassa, a circa 420 °C, e giunge ad ebollizione a 907 °C. Tali temperature sono molto inferiori rispetto a quelle ottenute con il punto di saldatura e quindi lo zinco evapora. Quando evapora reagisce velocemente con l'aria e si forma l'ossido di zinco, che è precisamente il denso vapore bianco visibile. Sussistono rischi maggiori qualora si effettuasse una saldatura tenendo la testa proprio sopra il punto di saldatura. Nel caso si inalasse il fumo del metallo qualora il luogo di lavoro non è ventilato adeguatamente, il fumo del metallo penetra rapidamente nell'apparato circolatorio e si diffonde nell'organismo. Lo zinco in eccesso viene filtrato rapidamente

tramite i reni e poi espulso nelle urine. Nel frattempo potrebbe però verificarsi una sindrome chiamata "*febbre da zinco*". Si possono riscontrare sintomi influenzali acuti per circa 24 ore, prima che il corpo si liberi dello zinco in eccesso. Il recupero dai sintomi della fase acuta avviene velocemente. E' importante perciò dotare le stazioni di saldatura di impianti di aspirazione opportunamente dimensionati per evitare l'inalazione dei fumi con le conseguenze sopra descritte.

7. CONTROLLO DEGLI ERRORI: IL METODO FMEA

La sigla *FMEA* è l'acronimo di *Failure Modes and Effects Analysis* e rappresenta una tecnica di analisi preventiva che aiuta alla definizione di un nuovo prodotto permettendo:

- *la ricerca dei difetti potenziali del prodotto*
- *la valutazione degli effetti dei difetti, dal punto di vista del cliente finale*
- *l'identificazione delle cause possibili del difetto*
- *la ricerca e la messa in pratica delle azioni correttive*

La tecnica della FMEA è stata sviluppata negli USA, il primo documento che parla di FMEA è una military procedure (la Mil-P-1629 del 1949). Questo documento è stato usato per condurre in modo sistematico le analisi di affidabilità per valutare gli effetti dei disfunzionamenti sul sistema e sui sottosistemi. Le “*failure*” venivano classificate in base al loro impatto sul successo della missione e della sicurezza degli oggetti e delle persone.

La tecnica è applicabile a tutti i piani di studio di un nuovo prodotto o ai piani di miglioramento di prodotti già esistenti.

La FMEA è applicata sia in fase di progetto (FMEA di progetto) che in fase di industrializzazione (FMEA di processo): le due FMEA sono complementari tra di loro.

La FMEA può essere suddivisa in 3 fasi principali:

- *Qualitativa*
- *Quantitativa*
- *Correttiva*

L'analisi *qualitativa* è l'analisi di tutti i possibili modi di guasto (associati alle loro cause ed effetti).

Tale analisi viene fatta dividendo il prodotto in componenti; per ogni componente vengono elencati i modi di guasto, gli effetti, che vengono valutati in base ai rischi a cui può essere soggetto l'utilizzatore, e le possibili cause che hanno portato alla modalità di guasto.

Il risultato principale che fornisce la FMEA è l'*RNP* (**R**isk **P**riority **N**umber), definito come

$$RPN = S * O * D$$

Dove

S = *Severity* ossia l'impatto che avrà la failure

O = *Occurrence* ossia la frequenza con cui si verifica la failure basata su dati storici o su dati teorici ipotizzati

D = *Detectability* cioè la possibilità di accorgersi quando una failure si produce

Per ognuno di questi coefficienti si attribuisce un valore variabile da 1 a 10 secondo quanto illustrato nelle tabelle sottostanti. Da notare che in nessun caso viene assegnato un valore nullo altrimenti porterebbe il valore RPN a zero qualunque valore venisse assegnato agli altri 2 parametri e non si riuscirebbe a percepire la gravità del rischio

Severity	Rank	Definizione
No effect	1	Il guasto è impercettibile dal Cliente
Very slight effect	2	Il guasto è appena percettibile dal Cliente
Slight effect	3	IL guasto è percepito dal Cliente ma non reca disturbo; possibili problemi su linee produttive.
Minor effect	4	Il guasto è percepito dal Cliente e reca disturbo; possibili ritardi indotti su linee produttive
Moderate effect	5	Ridotta funzionalità del prodotto e/o deterioramento progressivo senza incidenza sulla funzionalità di altri sistemi e/o della vettura. Il cliente risulta moderatamente insoddisfatto
Significant effect	6	Ridotta funzionalità del prodotto e/o deterioramento progressivo con incidenza sulla funzionalità di altri sistemi. Il cliente risulta insoddisfatto
Major effect	7	Ridotta funzionalità del prodotto e/o deterioramento progressivo con incidenza sulla funzionalità della vettura. Possibile arresto con preavviso. Il cliente risulta estremamente insoddisfatto
Extreme effect	8	Arresto vettura improvviso; attività risanamento vetture presso il cliente.
Serious effect	9	Guasto con implicazioni non immediate dirette o indirette sulla sicurezza personale del Cliente
Hazardous effect	10	Guasto con implicazioni immediate dirette o indirette sulla sicurezza personale del Cliente

Occurrence	Rank	Cpk	Definizione	CNF/1000
Almost never	1	>1.67	Scarsa probabilità; presenza di attrezzature permanenti a prova di errore	<.00058
Remote	2	>1.50	Casi isolati rilevati su processi simili nell'ultimo anno Casi isolati rilevati su processi simili nell'ultimo anno	.0068
Very slight	3	>1.33	Casi sporadici rilevati su processi simili nell'ultimo anno	.0063
Slight	4	>1.17	Casi occasionali rilevati su processi simili nell'ultimo anno ma non in grandi proporzioni	.46
Low	5	>1.00	Casi occasionali rilevati su processi simili nell'ultimo anno in medie proporzioni	2.7
Medium	6	>0.83	Casi occasionali rilevati su processi simili nell'ultimo anno in grandi proporzioni	12.4
Moderately high	7	>0.67	Casi frequenti rilevati su processi simili nell'ultimo anno in grandi proporzioni. Processo non in SPC	46
High	8	>0.51	Casi assai frequenti rilevati su processi simili nell'ultimo anno in grandi proporzioni. Processo non in SPC.	134
Very high	9	>0.33	Casi quasi sistematici rilevati su processi simili nell'ultimo anno in grandi proporzioni. Processo non in SPC.	316
Almost certain	10	<0.33	Casi sistematici rilevati su processi simili nell'ultimo anno in grandi proporzioni. Processo non in SPC	>316

Detection	Rank	Definizione
Almost certain	1	Individuazione assicurata dai controlli automatici e/o passa non passa unitari (poka yoke) permanenti previsti sul processo
Very high	2	I controlli previsti hanno elevata probabilità di identificare il modo di guasto. Controlli presenti sulla fase/operazione di processo
High	3	I controlli previsti hanno buona probabilità di identificare il modo di guasto nella fase/operazione di processo. Controlli per variabili/attributi con frequenza elevata
Moderately high	4	I controlli previsti hanno buona probabilità di identificare il modo di guasto nella fase/operazione di processo. Controlli per variabili/attributi con frequenza media.
Medium	5	I controlli previsti hanno buona probabilità di identificare il modo di guasto nella fase/operazione di processo. Controlli per variabili/attributi con frequenza bassa. Controlli visivi facili e/o con alta frequenza
Low	6	Moderata probabilità che il modo di guasto arrivi al cliente costruttore e sia individuato in linea; controlli audit per variabili/attributi; Controlli visivi facili su più caratteristiche e/o con media frequenza
Slight	7	Discreta probabilità che il modo di guasto arrivi al cliente costruttore e sia individuato in linea; controlli visivi difficoltosi e/o con bassa frequenza.
Very slight	8	Individuazione impossibile sulle linee interne; guasto individuato sulla linea del cliente costruttore.
Remote	9	Individuazione impossibile sulle linee interne; guasto individuato in fase di collaudo vettura.
Hazardous effect	10	Assenza di alcun tipo di controllo sul processo.

8. PROVE DI VALIDAZIONE DEI COMPONENTI

Il prodotto, una volta completato deve superare una serie di prove per ottenere l'omologazione interna per la vendita al cliente. Le principali prove che l'alzacristallo deve superare sono:

- Protezione motore
- Buon funzionamento del sistema
- Prova di effrazione
- Caratterizzazione
- Life-cycle

8.1 PROVA SALVAMOTORE

Alimentando il motore alla tensione di 13,5 V con $R_{linea}=0,15 \Omega$ a temperatura ambiente pari a 23°C con tolleranza $\pm 5^\circ\text{C}$ si rileva il tempo che intercorre

- dal bloccaggio motore alla prima apertura del circuito (t_1)
- dalla prima apertura del circuito alla prima chiusura del circuito (t_2).

I valori che derivano dalla prova devono essere $t_1 > 3$ secondi e $t_2 < 15$ secondi.

La protezione termica deve impedire la distruzione del dispositivo elettrico nell'intero ambito d'esercizio. L'intervento del salvamotore è ammesso dopo 3 cicli nel range $-30^\circ\text{C} < T < 80^\circ\text{C}$ oppure dopo un ciclo fino a $T = -40^\circ\text{C}$. Dopo l'intervento il salvamotore deve attivarsi entro 15 secondi a $T = 23^\circ\text{C} \pm 5^\circ$.

8.2 COLLAUDI DEL FUNZIONAMENTO

I collaudi devono essere attuati su porta oppure su un dispositivo simile.

Prima dei collaudi gli alzacrastalli devono essere sottoposti a 10 cicli di prova, con i carichi di collaudo per prove su simulacro e con la tensione di prova fino ai dispositivi d'arresto.

TIPOLOGIA	FASE	CARICO APPLICATO
2 porte	salita	90±10N
	discesa	30±10N
porte anteriori	salita	80±10N
	discesa	20±10N
porte posteriori	salita	60±10N
	discesa	20±10N

La velocità minima, valida secondo le relative condizioni, deve essere raggiunta, dopo l'inizio del movimento, entro 200 ms a una temperatura tra -40°C e 70°C. Nello specifico da temperatura ambiente a 70°C si deve ottenere $80 \text{ mm/s} > v > 160 \text{ mm/s}$; a T=-20°C si dovrà rilevare $v > 60 \text{ mm/s}$ e infine per T=-40°C $v > 25 \text{ mm/s}$

Sono ammissibili variazioni della velocità di spostamento di $\pm 10\%$ a temperatura ambiente.

8.2.1 Carico massimo d'impatto

Il controllo della forza eccedente avviene a temperatura ambiente sul dispositivo in esame. Nello specifico la forza in eccedenza sul finestrino anteriore sarà $350\text{N} > F > 200\text{N}$ mentre per il posteriore $250\text{N} > F > 150\text{N}$

8.3 COLLAUDO DI STATICITA' / PROVA EFFRAZIONE.

L'alzacristalli deve resistere ad un carico di $600\text{N} \pm 10\text{N}$ applicato in una zona del vetro entro 20 mm dal profilo superiore del cristallo stesso e diretto verso il senso di apertura (verso il basso) senza subire danni.

Dopo la chiusura totale viene applicata una forza di $600\text{N} \pm 10\text{N}$ sulla superficie del cristallo in direzione "aprire" e l'abbassamento massimo consentito è $\leq 5\text{mm}$.

Verifica al bloccaggio nella posizione di chiusura

Questo collaudo simula l'influenza di lunghi tempi di permanenza sotto carico e ad alte temperature. Si condizionamento la porta a 10 cicli dopodiché si realizza la chiusura dell'alzacristalli con una tensione di 14,5 V e tenuta sotto carico (max. 30 s) o fino alla attivazione della protezione termica. Di seguito si deve garantire la permanenza sotto carico per 24 ore a 80 °C il successivo raffreddamento a temperatura ambiente e permanenza sotto carico per almeno 24 ore a temperatura ambiente. Al termine l'alzacristalli deve abbassarsi con una tensione di 10

8.4 PROVE DI CARATTERIZZAZIONE

Il test chiede di eseguire le prove su complessivo alzacristalli montato su portiera completa di guarnizioni nuove. Prima del test eseguire un rodaggio di 10 cicli dopodiché a $T=23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ con U.R. $45 \div 70\%$ e $V=13,5\text{V}$ si rilevano i valori di velocità e assorbimento .

8.5 ENDURANCE TEST

I collaudi devono essere effettuati su porta oppure su un dispositivo similare, Per prove in portiera bisogna usare guarnizioni nuove mentre per prove su pannello-simulacro l'alzacristalli deve essere sottoposto al carico stabilito in precedenza. Il motore dell'alzacristalli può essere raffreddato separatamente mentre pause di arresto dovranno essere specificate a parte in funzione della temperatura ambiente. Il collaudo deve

cominciare con i passi di collaudo da 1 a 2, lo svolgimento successivo è a libera scelta secondo la tabella

STEP	TEST	Numero di cicli	
		Anteriore	Posteriore
1	2 h condizionamento a 80 °C; Alzacristalli chiuso		
2	temperatura 23 ±3 °C	5.000	3.750
3	temperatura 70 °C	1.000	750
4	temperatura 60 °C e 90 % Umidità Relativa (U.R.)	1.000	750
5	temperatura -20 °C	1.250	950
6	temperatura 10 °C e 95 % Umidità Relativa (U.R.)	750	550
7	temperatura -30 °C	1.000	750
	totale	10.000	7.500

- alzacristalli 2 Porte/ Anteriore: 30.000 cicli
- alzacristalli Posteriore: 15.000 cicli
- tempi di tamponamento max. 0,5 s + 0,5 s

Si ripete la sequenza delle prove dal punto 2 al punto 7 fino a raggiungimento dei cicli richiesti e dopo la prova a vita l'alzacristalli deve soddisfare le richieste delle prove precedenti. E' permesso uno scostamento del 30% dai valori specificati.



Figura 4 Portiera RVI Magnum in endurance test



Figura 5 Portiera Peugeot 106 nella prova in camera climatica

9. BIBLIOGRAFIA

W.Nicodemi

“Metallurgia: principi generali”

“Acciai e leghe non ferrose”

Editore Zanichelli

Giusti – Santocchi

“Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione”

Editore

Norma UNI citate nell’elaborato

Istituto italiano di saldatura

“Metallurgia dei giunti saldati”

“Saldabilità degli acciai al carbonio”

Panarotto – Piacentini

“Conoscere le materie plastiche”

Edizione Promoplast

Ford Motor Company

“FMEA Handbook concept and design”

Appunti vari dalle lezioni tenute dai vari docenti del corso di laurea in Ingegneria

Meccanica del Politecnico di Milano

Appunti vari reperiti su Internet