



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**

Facoltà di Ingegneria  
Corso di laurea triennale in Ingegneria Meccanica

**“L’Automotive: tecniche di progettazione e stampaggio di componenti per autovetture”**

**“Automotive: engineering and printing technologies of automobiles components ”**

*Relatore:*

**Prof. Marco Sasso**

*Tesi di laurea di:*

**Luca Moroni**

**A.A. 2019\2020**

# INDICE

<b>1.INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2. AUTOMOTIVE-LA STORIA</b>	<b>7</b>
<b>2.1 L'automotive in Italia- Nascita e Sviluppo</b>	<b>10</b>
<b>3. AUTOMOTIVE: INTRODUZIONE ALLA PROGETTAZIONE</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Software di progettazione ThinkDesign</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Progettazione: come nasce uno stampo di formatura mediante ThinkDesign</b>	<b>20</b>
<b>4. AUTOMOTIVE: VERSO LA COSTRUZIONE DELLO STAMPO</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Materiali impiegati negli stampi del settore Automotive</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Trattamenti termici dei materiali impiegati negli stampi</b>	<b>28</b>
<b>4.3 Componenti Normalizzati impiegati negli stampi</b>	<b>29</b>
<b>5. AUTOMOTIVE:FRESATURA DELLO STAMPO</b>	<b>30</b>
<b>5.1 Operazione di spianatura con frese a inserti</b>	<b>31</b>
<b>5.2 Operazione di spianatura con frese a inserto rotante</b>	<b>32</b>
<b>5.3 Operazione di contornitura con frese a inserto rotante</b>	<b>33</b>
<b>5.4 Fresatura ad alta velocità</b>	<b>34</b>
<b>6.AUTOMOTIVE: FORATURA DELLO STAMPO</b>	<b>35</b>
<b>6.1 Materiali di costruzione delle punte elicodiali</b>	<b>36</b>
<b>6.2 Alesatura dei fori</b>	<b>37</b>
<b>7. AUTOMOTIVE: STAMPAGGIO DEL PARTICOLARE</b>	<b>38</b>
<b>8. AUTOMOTIVE: TRATTAMENTI SUPERFICIALI</b>	<b>40</b>
<b>8.1 Trattamenti Superficiali: Verniciatura a Polvere</b>	<b>42</b>
<b>9. CONCLUSIONI</b>	<b>43</b>

## 1.INTRODUZIONE

L'automotive è il ramo dell'industria manifatturiera che si occupa della progettazione, costruzione e vendita dei veicoli a motore. Dopo aver subito una profonda crisi economica negli anni 2008-2009, oggi ha ritrovato una grande crescita e occupa gran parte della produzione industriale nel mondo.

Il nostro paese è da sempre stato leader nel settore dell'automotive con i progetti di macchine sia utilitarie, sia sportive e supercar arrivando a contribuire all'8.5% del PIL italiano.

Oggi l'industria automobilistica italiana è quasi totalmente sotto il comando del gruppo FCA- Fiat Chrysler Automobiles, basti pensare che nel 2001 oltre il 90% dei veicoli è stato prodotto da questo gruppo.

Tuttavia ciò che ha reso noto il nostro paese nel mondo ponendolo ai vertici nel settore AUTOMOTIVE sono quelle aziende che si dedicano alla progettazione e costruzione di auto esclusive, supercar di lusso, autovetture artigianali destinate ad un uso esclusivo di una ristretta cerchia di persone.

Tra queste aziende elenco i marchi più conosciuti:

- 1- **Ferrari**
- 2- **Lamborghini**
- 3- **Maserati**
- 4- **Pagani**



Ferrari-La Ferrari

MARK  
ANTAR  
design

SCUDERIA  
FERRARI



F1  
Formula 1.

### Ferrari-F1



### Lamborghini Veneno





Lamborghini Urus



Maserati Levante



[Pagani Zonda Roadster](#)

## [2.AUTOMOTIVE- LA STORIA](#)

Dal momento della sua nascita fino ad oggi l'industria dell'automobile ha rappresentato il cuore dell'economia di molti paesi, navigando tra alti e bassi di crisi mondiali e territoriali.

Nei primi decenni del '900 in un paese in forte crescita come gli Stati Uniti, nasce la Ford Motor Company per la volontà del suo fondatore Henry Ford, il quale mise nel mercato un'auto dal basso costo accessibile a tutti, la famosa Model T, che diede il via al fenomeno dell'auto di massa.

In Europa l'industria automobilistica è presente già dai primi decenni dell'800, subendo poi un'evoluzione nel '900 con modelli più pratici e versatili, pur seguendo un percorso differente dall'industria americana lanciata da Ford.

Con l'avvento della prima guerra mondiale il settore dell'auto subì un forte declino e la produzione fu diretta soprattutto verso gli eserciti per creare le cosiddette truppe motorizzate.

La ripresa avviene poi con la seconda guerra mondiale e l'instaurazione di regimi totalitaristi quali nazismo e fascismo, i quali ritennero l'automobile non più un bene di lusso, ma un bene di massa utile a tutti i cittadini per consentire loro un tenore di vita migliore.

La Germania in particolare incaricò un famoso progettista dell'epoca Ferdinand Porsche, il quale presentò un progetto di vettura che poteva ospitare 5 persone e viaggiare alla velocità di 100 km/h consumando circa 7 litri per 100 km.

Tale progetto fu poi reso commerciale nel 1938 e diede vita all'industria Volkswagen con il modello "Maggiolino"(Fig.2.1)



*Fig.2.1- Maggiolino*

Anche l'Italia non rimase di certo a guardare e Mussolini incaricò l'ingegner Giacosa di progettare un'auto che non superasse il costo di 5000 lire e nel 1936 nacque la famosa FIAT 500 A denominata Topolino (Fig.2.2), che in realtà costava ben 9000 lire, circa 20 volte il salario medio di un italiano dell'epoca.



Fig.2.2Fiat-Topolino

Le prestazioni di quest'auto non furono eccessivamente soddisfacenti ma nonostante ciò rimase in produzione per molti anni, fino ad oltre la seconda guerra mondiale, anni in cui l'industria automobilistica italiana e mondiale iniziarono ad assumere un ruolo di punta nell'economia.

L'auto divenne quindi, nel secondo dopoguerra, uno status symbol per la popolazione e furono prodotte auto sia utilitarie accessibili a tutti, sia auto di classe per pochi ricchi ed amanti delle quattro ruote.

L'industria automobilistica continuò poi la sua forte ascesa nel secondo dopoguerra e il prodotto che veniva offerto fu, oltre che un bene di enorme successo, uno strumento che consentì alla popolazione di avere una maggiore libertà di spostamento accorciando le distanze fra i vari paesi, nonché divenne oggetto di passioni sportive dovute alla nascita delle corse automobilistiche.

Negli anni a seguire le auto nel mercato iniziarono ad essere sempre più all'avanguardia grazie alla continua ricerca tecnologica messa in atto dalle aziende le quali fecero in modo che questo settore divenisse il centro dello sviluppo economico dei Paesi occidentali.

Verso gli anni '60 iniziarono ad entrare nel mercato numerosi nuovi produttori di automobili in particolar modo i giapponesi, i quali offrirono prodotti dall'aspetto molto spartano ma con prezzi accessibili a tutti e che quindi presero subito campo tra la popolazione, specialmente quella meno agiata.

Passando attraverso la crisi petrolifera degli anni '70-'80 e la crisi economica di qualche anno fa, arriviamo ai giorni odierni in cui il settore Automotive rappresenta il fulcro dell'economia mondiale, con la produzione di auto sempre più innovative e futuristiche, dotate persino di sistemi di guida assistita che aumentano notevolmente la sicurezza dei passeggeri a bordo.

Per chiudere questa prima parte dedicata alla storia del settore automobilistico possiamo affermare che, in generale, l'auto fu quel mezzo di trasporto che permise all'uomo di essere libero di spostarsi in maniera efficace e veloce, accorciando sensibilmente le distanze dai paesi che prima sembravano essere lontanissimi, diventando di gran lunga il metodo di spostamento più utilizzato in Italia ed in Europa.

## 2.1 L'Automotive in Italia: Nascita e Sviluppo

In Italia l'industria dell'automobile ebbe origine relativamente tardi rispetto agli altri paesi.

Ricordiamo fra i suoi pionieri il veronese E. Bernardi, che nel 1884 costruì un'automobile, sperimentale munita di un motore a benzina, alla quale seguirono un gran numero di autoveicoli costruiti fra il 1884 e il 1899. I motori potevano essere orizzontali o verticali, posti a volte al centro, altre volte anteriormente o anche posteriormente al telaio ed erano sostenuti da strutture in acciaio.

Veri e propri precursori, però, non solo per la parte teorica, ma anche per le ricadute concrete e pratiche dei propri studi, sono stati due grandi scienziati, padre Eugenio Barsanti (1821-1864) e Felice Matteucci (1808-1887). Furono loro infatti a costruire, negli anni dal 1851 al 1858, un motore atmosferico, basato sulla creazione del vuoto all'interno del cilindro e sull'utilizzo della pressione atmosferica per ottenere il lavoro utile a far muovere l'albero motore che trasmette potenza alle ruote.

Tale principio di funzionamento fu brevettato nel 1854, anno che segna un tappa fondamentale per il motore a scoppio e ne riconosce l'effettiva importanza mai riconosciuta prima.

Tuttavia la legislazione e il governo dell'epoca non agevolavano affatto lo sviluppo delle automobili, non deve stupire quindi che, alla fine dell'Ottocento, in Italia, sia in numeri assoluti sia in numeri relativi alle altre nazioni europee, la quantità di vetture circolanti fosse davvero esigua.

La prima automobile venduta in Italia fu una Peugeot tipo 3 (Fig.2.1.1) e dovette passare più di un anno prima che ne arrivasse un'altra, anche se nel frattempo gli appassionati si moltiplicavano tanto che il mercato non riusciva più a soddisfare le richieste.

Nell'anno dell'inizio della guerra, il 1915, le auto che circolavano in Italia erano quasi 25.000, un numero non così piccolo visto le difficoltà avute ma in netta minoranza rispetto al resto dell'Europa e ci vollero ben 50 anni per colmare questo GAP.





*Fig.2.1.1- Peugeot tipo 3 – Prima auto venduta in Italia*

A Torino il settore dell'auto si sviluppò più velocemente che nel resto dell'Italia sia per l'abbondanza di energia idraulica grazie alla presenza di quattro fiumi, sia per la vicinanza alle nazioni europee in cui l'auto era già divenuta popolare, sia per la presenza di manodopera specializzata e numerosi altri motivi che resero la città il centro dello sviluppo automobilistico italiano, tanto che nei primi anni del '900 contava 47 fabbriche di auto.

Uno dei primi industriali a tentare la fortuna nel settore auto fu Michele Lanza il quale nel 1895 decise di progettare e costruire la prima vera automobile a quattro ruote realizzata in Italia, ma non solo, aprì una fabbrica che costruiva automobili e diede vita alla rivista "L'automobile", primo periodico del genere in Italia. La sua azienda ebbe vita breve ma fu di spunto per numerosi altri imprenditori, primo fra questi Agnelli che realizzò insieme ad altri soci, una vera e propria realtà industriale.

Nacque così la FIAT (Fabbrica Italiana Automobili Torino-Fig.2.1.2), dopo un attento studio del mercato messo in atto già qualche anno prima e che permise di comprendere al meglio le potenzialità di questo settore e la sua capacità di sviluppo.

Fin dalle origini Agnelli fu la mente coordinatrice del progetto in quanto fu l'unico ad avere chiara la visione della strada da percorrere per la FIAT, che per sua volontà non si trasformò mai in una realtà artigianale ma si diresse verso l'obiettivo di diventare una grande impresa automobilistica, risultato pienamente centrato grazie soprattutto alla capacità imprenditoriali del suo fondatore.

Sulle orme della FIAT nacquero numerose altre industrie di automobili tra cui quella di Vincenzo Lancia, fondata nel 1906, la quale volle mettere in evidenza principalmente il progresso tecnico raggiunto dal settore. Furono moltissime le innovazioni apportate dalla Lancia, prima fra questi la disposizione dei cilindri



a V, a cui seguì l'introduzione della scocca portante che andò a sostituire lo chassis, termine francese utilizzato per indicare il telaio.



*Fig.2.1.2- Fabbrica Fiat Corso Dante- 1899*

Milano dal canto suo non fu da meno di Torino e nacquero anche lì numerose industrie di automobili, tra tutte si evidenziò nel 1910 la fabbrica fondata come Anonima Lombarda Fabbrica Automobili (ALFA) assorbita poi dall'Ing. Nicola Romeo, assumendo quindi il nome di Alfa Romeo.

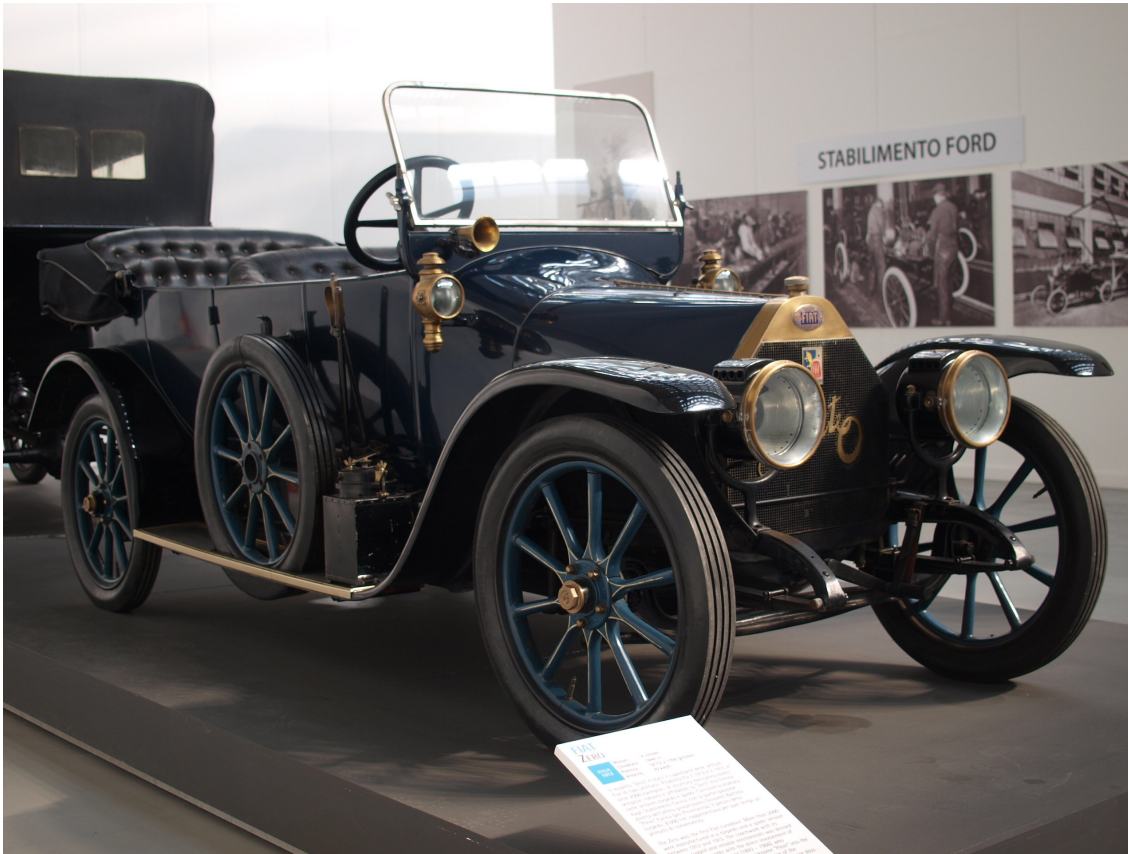
In questo periodo furono prodotte soprattutto auto dalle caratteristiche artigianali e dai costi molto elevati, e per questo motivo accessibili solo a poche persone dato che costavano circa 100 volte il PIL della popolazione del tempo ed avevano una affidabilità molto limitata.

Anche i pezzi di ricambio erano spesso molto difficili da trovare e richiedevano continui adattamenti alle loro sedi il che rendeva il processo molto macchinoso e un personale altamente qualificato, tutti elementi che rallentavano sensibilmente lo sviluppo dell'automobile seppure il mercato fosse in costante crescita.

Nonostante le avversità però le auto circolanti in Italia erano passate dalle 26 dell'anno 1899 a 61 nel 1907 e gli addetti a questo settore superavano i 1000 nell'anno 1914, divisi nelle fabbriche di FIAT, Itala e Spa.

La prima grande svolta nella storia dell'automobile si colloca nei primi anni del Novecento, anni in cui l'industria automobilistica si orientò gradualmente verso la vettura prodotta in serie e consegnata già con la carrozzeria al cliente. Il primo veicolo italiano che rispose a questa nuova organizzazione del lavoro fu la Fiat

Zero(Fig.2.1.3), progettata da Carlo Cavalli, e carrozzata dai fratelli Farina, Giovanni e Giovanni Battista, quest'ultimo il futuro 'Pinin' Farina.



**Fig.2.1.3- Fiat Zero – anno 1913**

La Fiat fu accorta nel presentare al pubblico nel 1919 una macchina rivoluzionaria, la 501, che diede all'Italia la formula per battere la concorrenza americana, rappresentata dalla Ford T ormai diffusa anche in Europa. Era più elegante, più potente, più rifinita della spartana creatura di Henry Ford.

La 501 è la prima vettura italiana a entrare di diritto nel secondo periodo storico della produzione automobilistica, quello della diffusione di massa, ovvero dagli anni Venti agli anni Ottanta circa del Novecento. In questo periodo l'automobile si trasformò in un mezzo di trasporto economico e affidabile, indirizzato a un pubblico via via più vasto.

La base del nuovo sistema produttivo fu il raggiungimento della completa intercambiabilità di ogni componente: eliminando a mano a mano ogni operazione di aggiustaggio, il montaggio si semplificava molto e se ne abbreviava la durata. La produzione di componenti intercambiabili permetteva di fornire ai clienti pezzi di ricambio facilmente sostituibili. Lo stesso lavoro alle linee si semplificò, e questo fu causa/effetto di

un crescente utilizzo di manodopera non specializzata, con conseguente crescita dei volumi produttivi. L'automobile si trasformò quindi da oggetto riservato ad un'élite di persone ad un bene di massa destinato alla maggioranza della popolazione: Era nato il concetto di 'utilitaria'.

Nel 1925 circolavano in Italia circa 80.000 autovetture, un numero non molto elevato considerata la densità della popolazione.

Si arrivò così al nodo della questione: il basso prezzo obbligava a rinunce impraticabili, per es. all'impianto elettrico, al gruppo differenziale o alla quarta ruota (non di scorta), dando vita a veicoli a tre ruote dalla stabilità incerta.

Mussolini, nel frattempo andato al governo, faceva pressione per avere la sua 'auto del popolo'. Per questo motivo il progetto 508 di Antonio Fessia, tra i responsabili della Progettazione Fiat, fu portato a termine nel giro di pochi mesi, in tempo per la presentazione della vettura al V Salone dell'automobile di Milano del 1932. Per la prima volta una vettura italiana costava intorno alle diecimila lire.

Tuttavia il prezzo era ancora alto, troppo alto per la maggioranza della popolazione italiana.

Già parlava dunque di una piccola due posti, la futura Topolino, ad appena un anno dalla presentazione della Balilla. Alla fine del 1932 in Italia circolavano circa diecimila Fiat 508 (su una produzione di circa 12.000). Un buon risultato, considerando che di 509 ne erano state costruite in un anno appena duemiladuecento, tanto che nel 1937 la Fiat fu in grado di annunciare di aver superato i 50.000 dipendenti.

Tuttavia la guerra contribuì a distruggere molti dei progressi fatti dal settore automobilistico, oltre che dell'economia in generale. Il primo decennio del dopoguerra, infatti, fu caratterizzato da un collettivo bisogno di ritorno alla normalità. Si cominciava a risorgere da un tragico periodo di distruzione e morte e, pur tra difficoltà tutt'altro che superate, si riaffacciava l'aspirazione a un mezzo di trasporto individuale.

Nel 1946, infatti, Enzo Ferrari, fondò a Maranello (paesino dell'Emilia che grazie a questa fabbrica diventerà noto in tutto il mondo) l'azienda alla quale diede il proprio nome, la Ferrari. Diventerà l'icona dell'eccellenza, della velocità, del lusso e della linea italiana. Il progetto della prima vettura risale all'estate del 1945; l'esordio alle gare fu del maggio 1947. Al centro della storia della Ferrari c'è il suo fondatore, Enzo, il quale fu un uomo dotato di caratterialità fortissima, di volontà indomabile e di una determinazione assoluta.

Dal 1957 al 1966 la produzione automobilistica italiana sul totale della Comunità economica europea crebbe dal 14,1% al 20,5%.

Passarono pochi anni e il mercato si confermò stabilmente, stretto saldamente nelle mani di un'unica azienda, la Fiat, che nel 1969 lanciò il più elevato numero di modelli nuovi: la 128 berlina e familiare, la 130, la Dino 2400, la 124 sport coupé, le Autobianchi A112, Primula 65C, coupé S, A111; nello stesso anno acquistò la Lancia e il 50% del capitale Ferrari.

L'Italia si stava trasformando in nazione motorizzata e imparava a conoscere anche la congestione del traffico, le code in autostrada, l'aria irrespirabile nei centri urbani. Lentamente si adeguò anche la

legislazione sulla sicurezza stradale: nel 1970 diventò obbligatoria l'assicurazione su tutte le vetture e dal 1988 decorse l'obbligo, pochissimo osservato, dell'uso delle cinture di sicurezza.

Il giro d'affari del settore, all'affacciarsi degli anni Novanta, era molto ampio: 205.000 dipendenti diretti, senza contare l'indotto costituito da meccanici, gommisti, carrozzieri, benzinai, ricambisti, casellanti ecc.; 42.000 miliardi spesi dagli italiani per i costi di esercizio dei loro veicoli. L'industria automobilistica italiana, ormai, era un colosso, dominato da un'unica grande azienda in posizione monopolistica, nella quale erano confluiti quasi tutti i marchi italiani ancora in attività. Fiat, infatti, oltre a Lancia e Ferrari, acquisì anche l'Alfa Romeo nel 1986, l'Innocenti nel 1990 e il 49% della Maserati nel 1993. Eppure qualcosa cominciava a scricchiolare. Nel 1991 in Italia per la prima volta le auto estere superarono le Fiat: furono il 54% delle immatricolazioni (nel 1973 erano il 26,8%).

La storia degli ultimi anni segna un declino del settore automobilistico. La Fiat registra un crollo delle quote di mercato interno che pare non avere rallentamenti: dal 57,8% del 1989 al 46,2% del 1994 al 32% del 2008 al 29,7% del novembre 2012. I dati parlano di una crisi profonda che tocca non solo l'auto, ma l'intero settore industriale italiano.

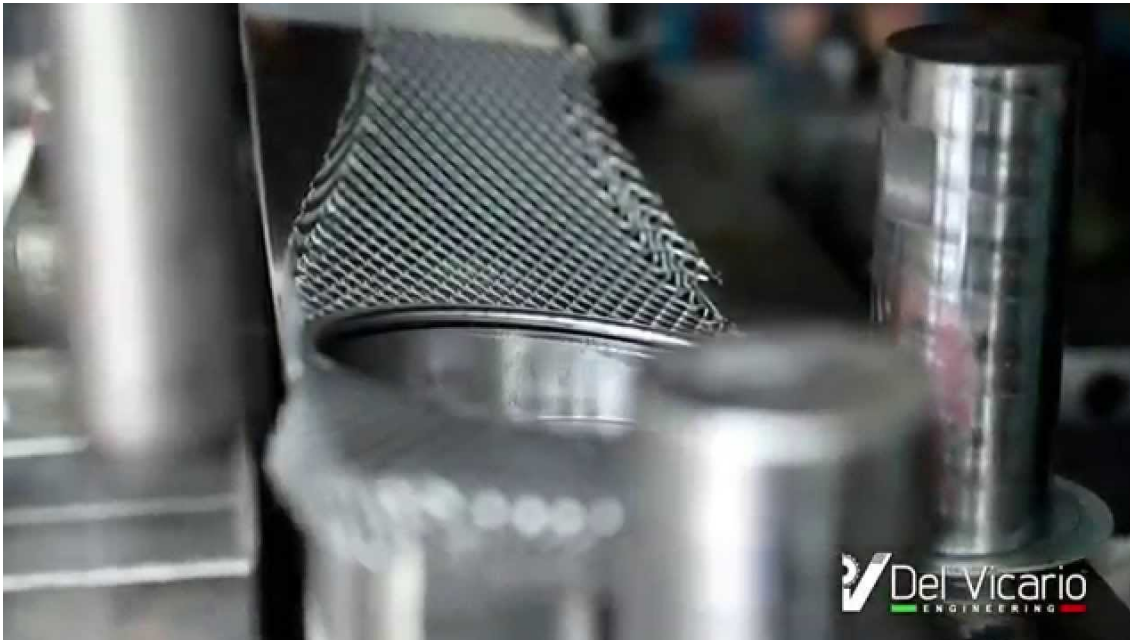
Non c'è più un'Italia dell'auto, come invece l'Italia è stata per tutti gli anni Cinquanta, Sessanta, Settanta del Novecento. I dati negativi si accavallano e si dibattono questioni, come il trasferimento di Fiat negli Stati Uniti, che sarebbero state impronunciabili qualche decennio fa. L'automobile ha cessato di essere strumento di crescita sociale, di occupazione, di emancipazione personale, di orgoglio e appartenenza. È diventata invece, tra progressiva perdita del potere d'acquisto delle famiglie, costante aumento del prezzo dei carburanti e dei pedaggi autostradali, crescita del costo delle assicurazioni, un bene di lusso, o comunque molto costoso.

Ma l'automobile è il prodotto finale di tecnologia, innovazione, design, studio dei mercati, capacità imprenditoriale e progettuale, evoluzione dei materiali, processi produttivi; Ogni automobile nuova è una diversa visione del mondo.

In questa tesi vorrei soffermarmi in particolare su una delle fasi del processo di costruzione dell'automobile, ovvero la progettazione e costruzione di alcuni componenti che la costituiscono, poiché oggi, oltre che essere la mia passione è anche il mio lavoro.

L'azienda di cui orgogliosamente sono parte, Del Vicario Engineering, si occupa della progettazione e costruzione di stampi dedicati alla produzione di griglie e staffe in materiali metallici (Acciaio, alluminio) destinate alla casa automobilistica più famosa in Italia, ma che è diventata simbolo dell'Italia dei motori anche nel mondo: la Ferrari.





### **3. AUTOMOTIVE: INTRODUZIONE ALLA PROGETTAZIONE**

Come facilmente intuibile, il primo passo verso la costruzione di un'automobile è la progettazione, un lungo e accurato processo che deve essere studiato per ogni singolo particolare, specialmente se parliamo di un marchio esclusivo come Ferrari, le cui vetture sono destinate ad una clientela facoltosa e che, quindi, pretende il massimo da ogni singolo particolare dell'auto.

Il prodotto da stampare è industrializzato prima di procedere alla fase di progettazione, viene quindi analizzata la bozza del prodotto e la si sottopone ad analisi e simulazioni mediante software CAD/CAM. Per particolari complessi, è importante instaurare un feedback tra il disegno del pezzo e quello dello stampo.

La progettazione riceve quindi come input il disegno 3D del particolare, e termina con l'emissione dei disegni tecnici che includono le quote dimensionali, le tolleranze, i materiali, la distinta base di tutti i componenti inclusi quelli commerciali, eventuali istruzioni operative e piani di manutenzione.

La prima cosa da verificare al momento dell'arrivo delle Matematiche (Disegni 3D dei particolari da stampare) è la fattibilità del prodotto richiesto, ovvero se sia realmente possibile produrre un particolare come da disegno, perché in alcuni casi può succedere che il processo risulti troppo complesso, o addirittura non realizzabile affatto perciò occorrerà comunicare al cliente tali difficoltà e provvedere alla modifica del disegno 3d del particolare.

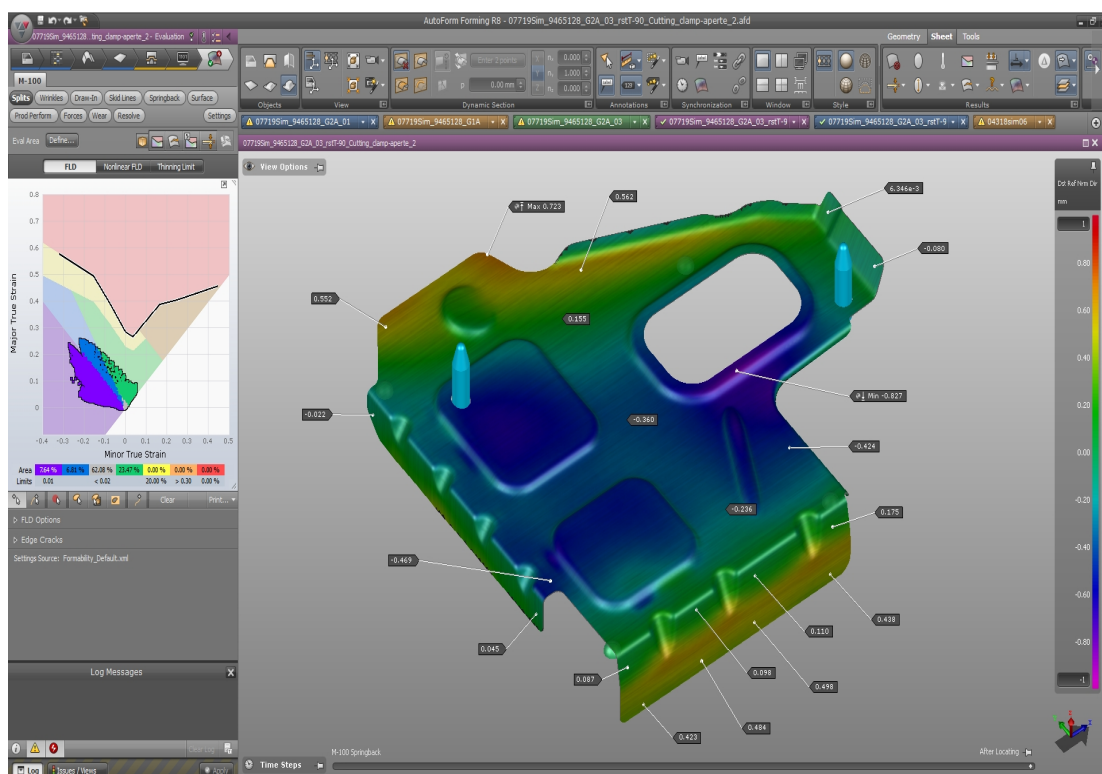
Una volta realizzato il progetto mediante l'impiego di un software molto costoso (AutoForm), è possibile simulare lo stampaggio del particolare, fornendo al Software tutte le informazioni utili nel processo, ovvero tipo di utensile, forza applicata, operazioni da svolgere, materiale del particolare, così che la simulazione risulti il più verosimile possibile.

Al termine il Software fornirà delle indicazioni ben precise riguardo al processo di stampaggio, in particolare attraverso dei colori fornirà informazioni riguardo alle zone critiche del particolare, evidenziando se vi sono rotture, stiramenti, grinze o pieghe, così da prevedere il corretto funzionamento dello stampo ed apportare eventuali modifiche prima che esso venga costruito.

È chiaro che ciò, malgrado il costo del Software, agevola notevolmente il processo di costruzione dello stampo, nonché permette di risparmiare tempo e denaro.

Basti pensare, infatti, a costruire interamente uno stampo ed accorgersi a stampo ultimato che il particolare prodotto presenta dei difetti rilevanti, occorrerebbe quindi andare a rimettere lo stampo nella fresa per apportare eventuali modifiche (qualora fosse possibile), ma in alcuni casi anche ricostruire lo stampo da nuovo, il che si tradurrebbe in un ingente perdita di denaro.

Grazie ad AutoForm(Fig.3.1), invece, dopo aver progettato lo stampo, possiamo accorgerci tempestivamente dell'eventuale errore\difetto ed andare a modificare lo stampo nel Software di disegno prima della costruzione, così da evitare inutili perdite di tempo e denaro



**Fig.3.1** *Interfaccia di AutoForm*



### 3.1 Software di Progettazione: ThinkDesign

Al giorno d'oggi sono numerosi i Software CAD (Computer Aided Design) disponibili in commercio per il settore Automotive, più o meno tutti con le stesse funzionalità seppur disposte in maniera differente all'interno dell'interfaccia.

ThinkDesign(Fig.3.1.1) è il Software più utilizzato nella progettazione del settore Automotive, abbastanza intuitivo ed efficace soprattutto per la possibilità di modellare sia solidi che superfici, il che risulta molto comodo specialmente per la progettazione di stampi di formatura che richiedono una modellazione sia superficiale che solida.

Un'altra caratteristica molto importante del Software è la possibilità di lavorare per livelli che ci consente di suddividere tutte le parti dello stampo da costruire.

In alcuni casi lo stampo è semplice e può contenere solamente 4/5 livelli ma in altri è veramente complesso e possono esserci fino a 30/40 livelli ciascuno con il nome del componente del particolare rappresentato così da facilitare il riconoscimento nel caso ci fossero da apportare delle modifiche.

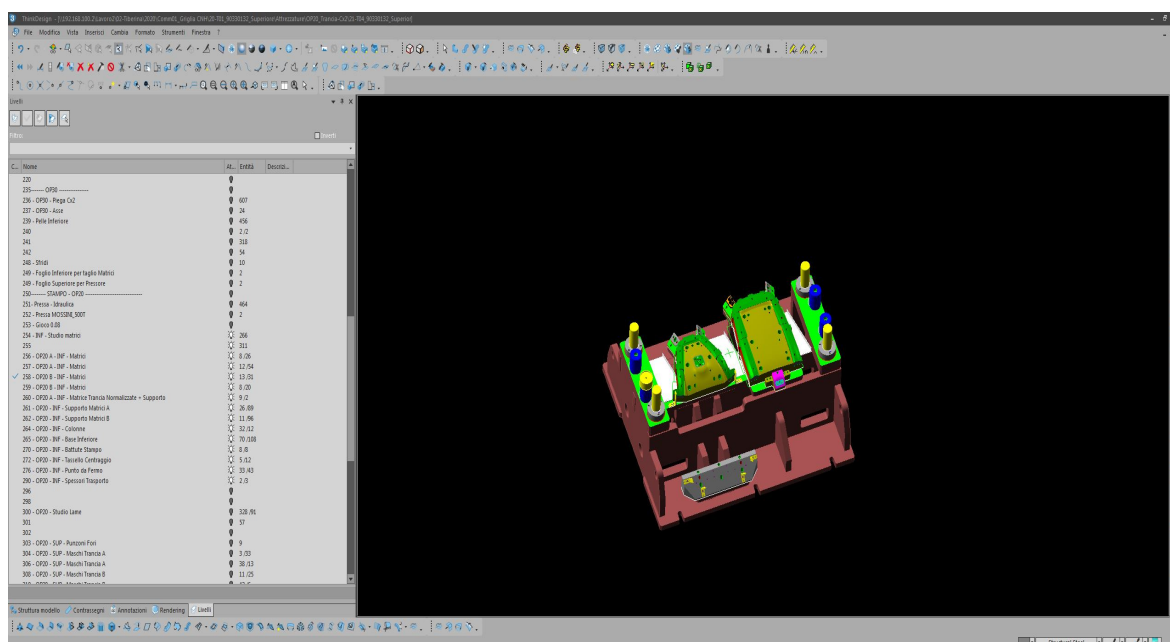


Fig.3.1.1-Interfaccia ThinkDesign

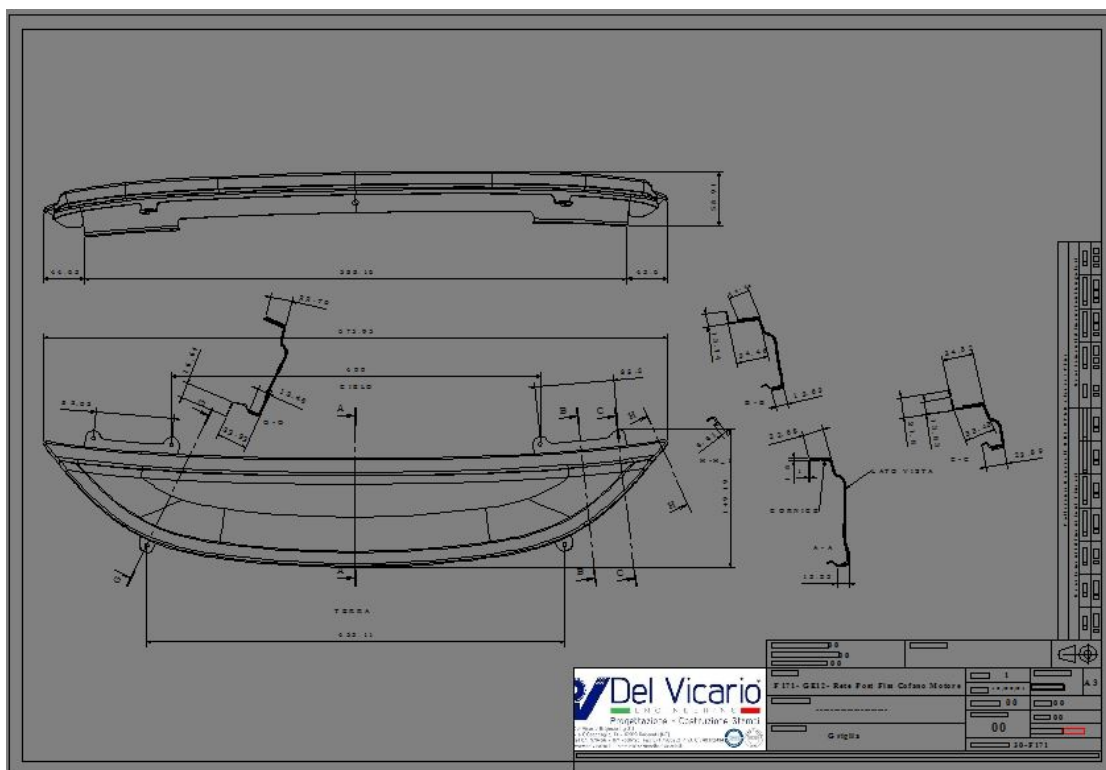
Il linguaggio del Software è intuitivo e consente una progettazione facile e veloce, tuttavia nel caso di stampi particolarmente complessi la progettazione richiede diverse giornate di lavoro, che possono arrivare a settimane nel caso di attrezzature molto grandi e dotate di molti componenti.

Attraverso questo programma curiamo interamente la progettazione, partendo dal costruire i solidi che vanno a costituire le parti principali dello stampo, ovvero i basamenti della parte superiore ed inferiore, e andando poi ad eseguire su di essi tutte le lavorazioni necessarie, come fori, smussi, raccordi ecc... fino all'inserimento finale dei componenti normalizzati, come viti, colonne, bussole.

Il Software ci consente una volta terminata la progettazione dello stampo, di andare ad eseguire dei disegni 2D di complessivo e di particolari, che verranno poi consegnati alla nostra officina così da avere le istruzioni necessarie all'assemblaggio dello stampo.

L'ambiente 2D del Software (Fig.3.1.2) è utilizzato, ovviamente, anche per l'applicazione delle quote ai disegni o per eseguire delle sezioni così da facilitare la visione di particolari che possono risultare nascosti all'interno dello stampo e dunque ne risulterebbe difficoltoso il montaggio nella corretta posizione.

In generale l'integrazione dell'ambiente 2D\3D risulta molto comoda e garantisce una maggiore fluidità al lavoro di progettazione, consentendo di disegnare interamente lo stampo, dalla sua forma tridimensionale fino alla messa in tavola per guidare il montaggio



[3.1.2-Interfaccia 2D ThinkDesign](#)

### 3.2 Progettazione: come nasce uno stampo di formatura mediante ThinkDesign

il primo passo da compiere ancora prima di iniziare la progettazione è studiare il metodo di realizzazione di un determinato particolare.

Ogni componente, in particolare ogni griglia Ferrari, ha un diverso processo di produzione e questo va stabilito a monte del progetto poiché sulla base del processo va elaborata la progettazione.

Solitamente per le griglie che vengono prodotte si parte da uno sviluppo in piano, ovvero un profilo tagliato al laser 2D della griglia, avente la sagoma della griglia stessa ma non la forma finale.

Si procede quindi alla formatura della griglia, fase in cui alla griglia viene data la forma finale che essa deve avere una volta montata nella vettura e a seguire ne viene controllata la correttezza dimensionale attraverso un calibro di controllo, strumento avente la forma della griglia che consente all'operatore di verificare le dimensioni del particolare.

Una volta controllata l'accettabilità dimensionale del pezzo secondo le tolleranze fornite da Ferrari, si procede ad inviare il particolare alle aziende che realizzano i trattamenti superficiali (di questo parlerò più avanti), normalmente cataforesi e verniciatura a polvere. Dopo essere stato trattato il particolare è pronto per l'imballaggio e la spedizione.

Di seguito è mostrata la scheda processo della Griglia Midrange della vettura Ferrari GTC 4 Lusso (Fig.3.1.1), sigla di progetto F151M, che utilizzerò come esempio in questa tesi per illustrare come viene costruito un particolare per auto di lusso nel settore automotive.

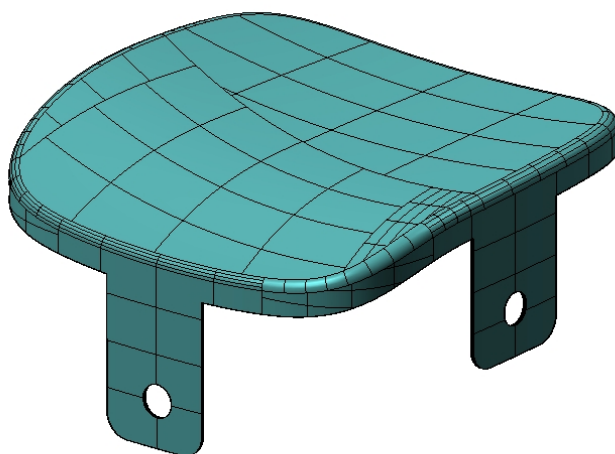
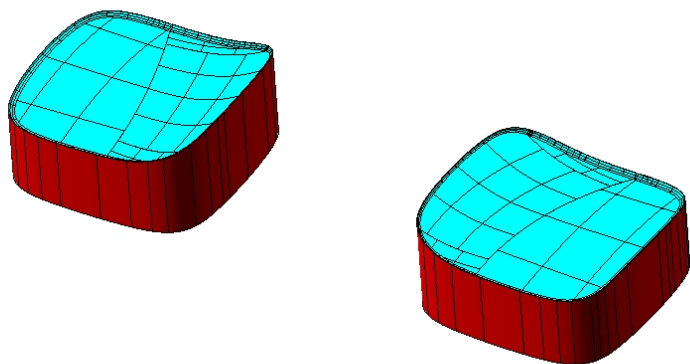


Fig.3.2.1- Griglia MidRange-Ferrari GTC4 Lusso

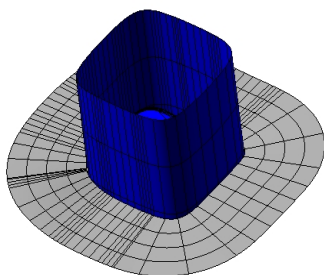
Una volta stabilito il processo si inizia con la progettazione dello stampo vera e propria, attraverso il software precedentemente illustrato, ovvero ThinkDesign.

Nel caso della griglia Midrange presa come esempio andremo a realizzare uno stampo di formatura con un pressore interno (Fig.3.1.2), per pressore indichiamo l'utensile incaricato di tenere fermo il pezzo durante la formatura.



*Fig.3.2.2-Pressore Sx e Dx*

La prima operazione da fare è la matematizzazione del particolare, ovvero isolare lo spessore e realizzare il fuori figura, cioè estendere la superficie del particolare oltre la sua figura per creare la superficie di formatura dello stampo, dove poi con la forza impressa dai tasselli il componente prenderà la sua forma finale. Il fuori figura viene realizzato con la modellazione superficiale,



*Fig.3.2.3- Fuorifigura di Progettazione*

Una volta creato il fuori figura, come illustrato nell'immagine sopra, procediamo a costruire gli utensili dello stampo, che solitamente si dividono in due parti: parte superiore e parte inferiore.

La parte inferiore, chiamata matrice, (Fig.3.2.4) è illustrata di seguito e come ben visibile dalla figura è costituita da due fori con la sagoma del particolare sia destro che sinistro, poiché nel caso di questa griglia con uno stampo andremo a formare sia il particolare destro che il sinistro.

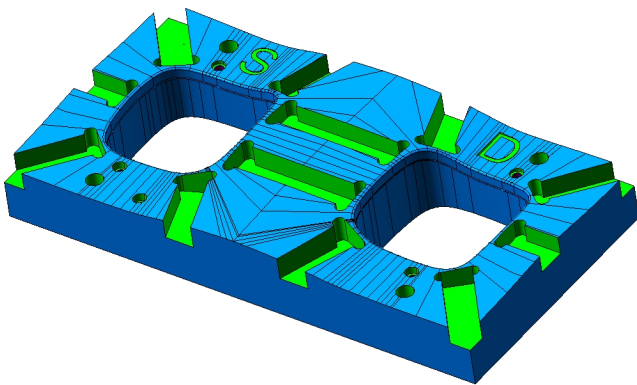
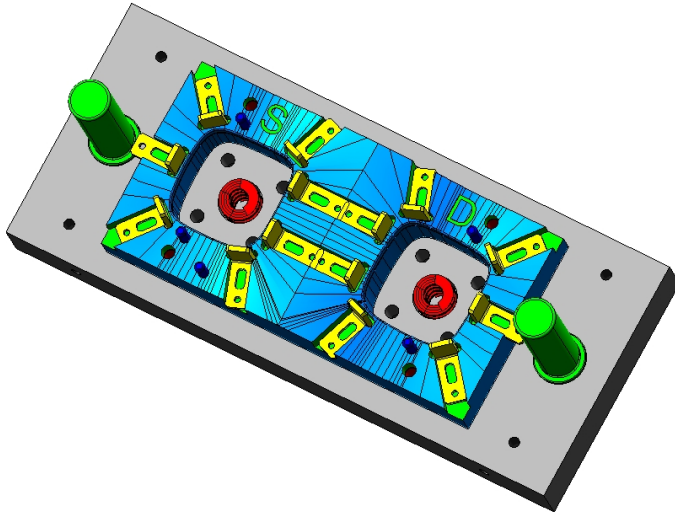


Fig.3.2.4- Matrice dello stampo

Una volta realizzata la matrice come mostrato in figura, andiamo a disegnare il basamento su cui poggia la matrice e su cui verrà poi avvitata e centrata mediante delle spine.

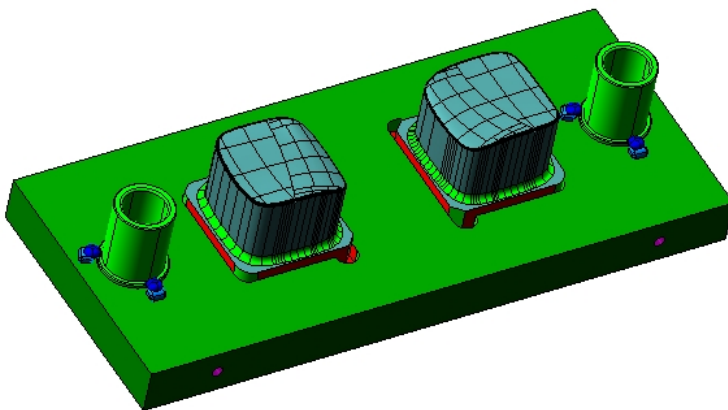
Vengono poi inseriti i punti da fermo (indicati in giallo nella figura sotto), che servono per mettere il pezzo nella corretta posizione prima che inizi la formatura, senza i punti da fermo infatti risulterebbe impossibile posizionare correttamente il particolare.

A completare la parte inferiore dello stampo ci sono le colonne (indicate in verde in figura 3.2.5) che servono a guidare lo stampo nelle fasi di apertura e chiusura e garantire che il movimento avvenga in maniera allineata.



*Fig.3.2.5- Parte Inferiore dello Stampo*

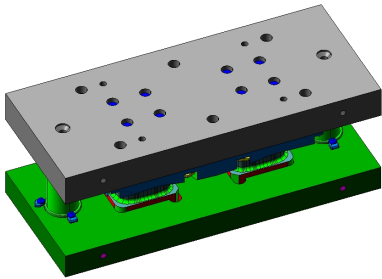
Per quanto riguarda invece la parte superiore dello stampo, la parte progettuale è molto simile alla parte inferiore. Si parte sempre dal dimensionamento del basamento superiore su cui sono presenti i due tasselli aventi la sagoma della rete da formare, uno per la rete destra ed un altro per la rete sinistra (mostrati in figura sotto 3.2.6). Inoltre nella parte superiore sono presenti le guide delle colonne (disegnate in verde in figura sotto) che servono appunto per guidare lo scorrimento delle colonne stesse al loro interno e garantire un corretto stampaggio del pezzo, rispettando misure e tolleranze fornite dal cliente.



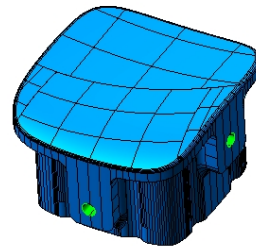
*Fig.3.2.6- Parte Superiore dello stampo*



Una volta completata la progettazione dello stampo completo (Fig.3.2.7), per cui sia parte superiore che parte inferiore, viene progettato anche il calibro di controllo (Fig.3.2.8), ovvero un solido avente la sagoma del pezzo da stampare che servirà a verificarne la correttezza dimensionale al termine del processo.



*Fig.3.2.7.- Stampo Completo*



*Fig.3.2.8- Calibro di Controllo*

A questo punto è necessario convertire il file dello stampo in un file neutro 3D, ovvero .stp oppure .igs da fornire ai fresatori che attraverso i Software CAM andranno a creare i programmi da inserire nei macchinari CNC per la fresatura dello stampo, ma di questo tratteremo più avanti in un'apposita sezione dedicata alla fresatura.

Per la costruzione dello stampo è necessario indicare in una cartella di excel tutti i materiali e i componenti che lo costituiscono per poterli ordinare ai fornitori esterni, indicandone misure e peso in kg.

#### **4. AUTOMOTIVE: VERSO LA COSTRUZIONE DELLO STAMPO**

Sicuramente il primo passo da fare verso la costruzione dello stampo è la scelta del materiale adeguato alla funzione che esso deve svolgere.

Già in fase di progettazione viene indicato nel disegno 3D il materiale da impiegare ma a questo punto è necessario prenderlo in considerazione fisicamente prima di procedere con la fresatura.

I materiali utilizzati negli stampi di formatura variano in base ai componenti dello stampo e alla funzione svolta, poiché, come facilmente intuibile, alcuni di essi necessitano di una resistenza e forza maggiore rispetto ad altri, basti pensare alla differenza tra una spina di centraggio fra due componenti e un pressore destinato alla formatura\piegatura del pezzo.

Di maggiore impiego negli stampi del settore Automotive sono gli acciai al carbonio come C40 o C45, oppure 1.2738 o 1.2379 che sono acciai molto più duri e resistenti ad usura.

#### *4.1 Materiali impiegati negli stampi del settore Automotive*

Gli acciai al carbonio da bonifica, come precedentemente affermato, sono i materiali più impiegati negli stampi di formatura.

Gli acciai C40E e C45E sono molto adatti per la fabbricazione degli utensili da stampo, mediamente sollecitati, e si prestano particolarmente bene ad indurimento superficiale con processi di flammatura e tempra ad induzione. Quest'ultimo è da preferire perché da risultati più omogenei e una regolazione precisa dello spessore dello strato indurito. Il mezzo raffreddante, in fase di bonifica, deve essere poco drastico per evitare rotture.

Gli acciai di questo gruppo vengono impiegati per la costruzione delle matrici, dei pressori e dei basamenti dello stampo dove è richiesta un'elevata durezza superficiale unitamente ad una buona tenacità del nucleo. Per soddisfare tale esigenza, la tempra superficiale viene eseguita su pezzi già bonificati.

Il C40 è il classico acciaio da bonifica, contenente 0,4% di carbonio, valore a cui si ha la massima tenacità. Insieme al 39NiCrMo3 costituisce l'80% degli acciai.

Ha una struttura cristallina cubica a corpo centrato ed è un tipico acciaio ipoeutetoidico. Se riscaldato a circa 900 °C, per un tempo sufficiente, la sua struttura sarà costituita da austenite omogenea. Se raffreddato lentamente verrà a formarsi, per nucleazione, ferrite proeutetoidica che accrescerà la formazione di grani austenitici a bordo grano.

Se raffreddato troppo velocemente si formerà ferrite+cementite. Il suo modulo di Young è  $E=220$  GPa e la sua resistenza a rottura ( $\sigma$ ) oscilla tra 650-750 N/mm<sup>2</sup>. La durezza oscilla attorno ai 220-230HB.

Il C45 è l'acciaio maggiormente usato per costruire gli stampi per O-ring e per gli stampi pilota. Il rapporto qualità/ prezzo è sicuramente un plus di questo tipo di acciaio che si può classificare tra i più economici. Inoltre, ha un'eccellente lavorabilità e una buona tenacità per applicazioni minori. L' abbinamento di questo acciaio con il trattamento di cromatura fa raggiungere ottimi risultati di resistenza ad un prezzo contenuto.

L'acciaio C45 è un acciaio al carbonio medio non legato, a media resistenza con buona lavorabilità e eccellenti proprietà di trazione.

Si tratta di un tipo di acciaio fornito al naturale, solitamente destinato al trattamento di bonifica, con una tempra seguita da rinvenimento intorno a 600°C.

Grazie alle sue caratteristiche, l'acciaio C45 si presta bene per utilizzi quali lo stampo di organi meccanici duri e resistenti come alberi, perni, porta stampi, sottostampi, colonne ed in genere tutti i pezzi che devono essere in grado di resistere ad usura ed urti.

In poche parole, l'acciaio C45 offre una buona lavorabilità, rispondendo alle peculiarità di elevata attitudine alla bonifica e alla tempra superficiale.

Garantisce buone caratteristiche meccaniche a freddo, ma ha una risposta discreta alla stabilità derivante dal trattamento termico.

Gli acciai 1.2311 e 1.2379 sono invece acciai molto più duri e resistenti ad usura, usati laddove si necessita di una forza maggiore da applicare.

L'acciaio 1.2379 (Fig.4.1.1) è costituito dall'1.55% di Carbonio, 0.3% di Si, 0.3 Mn, 12,0 Cr, 0.8 Mo, 0.8 V ed è caratterizzato da un'elevata resistenza all'usura, elevata resistenza alla compressione, elevata durezza superficiale dopo la tempra, buona temprabilità a cuore, stabilità dimensionale, buona stabilità al rinvenimento.

È utilizzato per quegli utensili che richiedono un'alta resistenza all'usura unita ad una buona tenacità, per la trancitura di grossi spessori e materiali molto duri, per la costruzione di utensili per formatura e curvatura e in genere quando siamo in presenza di sollecitazioni elevate.

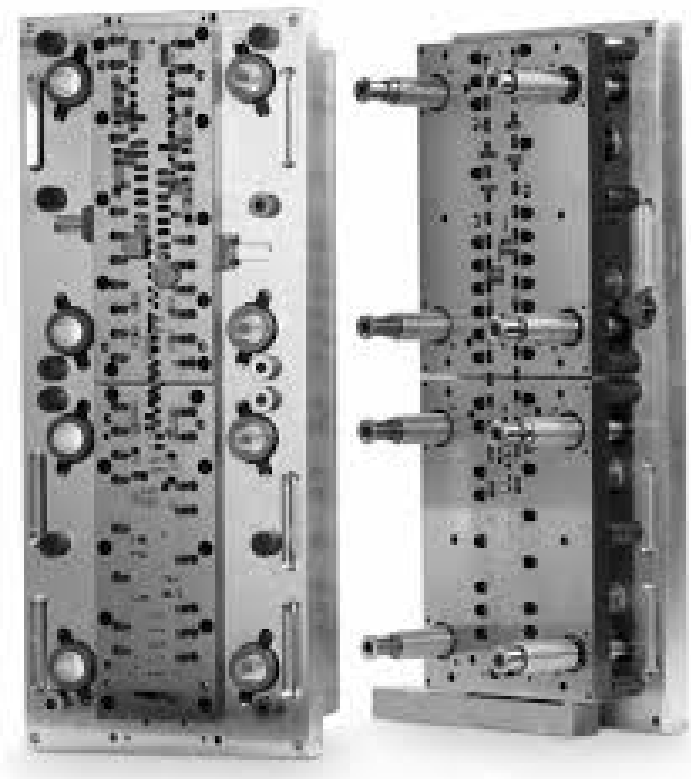
I pezzi che richiedono la massima stabilità dimensionale devono essere trattati sottozero e/o invecchiati artificialmente, per evitare possibili variazioni di volume nel tempo.

Questo avviene per particolari utensili come calibri e per particolari componenti strutturali.

Subito dopo il raffreddamento dalla tempra l'utensile viene portato a -70\ -80° per un tempo di 3\4 ore e successivamente viene fatto un rinvenimento o un invecchiamento.

Il trattamento sottozero porta ad un aumento di durezza di 3\4 HRC. L'invecchiamento viene fatto a 110\140° per una permanenza di 25\100 ore.

Un altro trattamento molto utilizzato per questo tipo di acciaio è la nitrurazione, la quale produce uno strato superficiale molto resistente all'usura e all'erosione e ne aumenta la resistenza alla corrosione.



[Fig.4.1.1- Applicazione Acciaio 1.2379](#)

L'acciaio 1.2738, invece, è un acciaio legato di alta qualità e sottoposto a degassaggio sotto vuoto viene fornito allo stato temprato e rinvenuto. È composto dallo 0.37% di C, lo 0.3% di Si, 1,4 % di Mn, 2,0 % di Cr, 1,0 di Ni, 0,2 % Mo e presenta numerosi vantaggi: nessun rischio legato al trattamento termico, nessun costo di trattamento termico, ottimizzazione dei costi di realizzazione dello stampo poiché non occorre eseguire trattamenti termici, costo inferiore dell'utensile, le modifiche possono essere effettuate agevolmente, può essere nitrurato successivamente per aumentarne la resistenza all'usura, oppure temprato alla fiamma localmente.

Questo tipo di acciaio è fabbricato secondo standard di alta qualità, con tenore di zolfo molto basso, che conferisce all'acciaio le seguenti caratteristiche: buone proprietà di lucidatura, buona lavorabilità alle macchine utensili, alta purezza e buona omogeneità, durezza uniforme.

Le sezioni più grosse vengono fornite pre-lavorate a macchina e ciò offre i seguenti vantaggi rispetto ai materiali non lavorati a macchina: peso minore, dimensioni nominali esatte, meno lavorazioni alle macchine utensili, l'assenza di ossido riduce al minimo l'usura degli utensili durante la lavorazione.

L'acciaio 1.2378 è molto utilizzato negli utensili per la formatura, matrici per pressa piegatrice per lamiera, componenti meccanici. Di solito è impiegato allo stato bonificato, ossia nello stato in cui viene fornito ma può essere anche sottoposto a trattamento termico.

Uno dei trattamenti termici utilizzati è la ricottura, in cui l'acciaio viene riscaldato a 700° e poi raffreddato nel forno fino a 600°.

#### 4.2 Trattamenti termici dei materiali impiegati negli stampi

Per trattamenti termici intendiamo quel complesso di operazioni mediante il quale un acciaio o un altro materiale metallico viene sottoposto allo stato solido e in determinato ambiente a un ciclo termico di:

- Riscaldamento
- Permanenza a temperatura prefissata
- Raffreddamento

O a più cicli termici successivi con durata delle permanenze a temperatura e velocità di variazione della temperatura prestabilite.

Tale trattamento termico può essere o preliminare (per conferire determinate proprietà necessarie per le successive lavorazioni che il materiale deve subire) o finale (per conferire le proprietà necessarie per gli impieghi a cui il componente è destinato).

Un trattamento molto utilizzato è la ricottura e ne esistono di diversi tipi:

- Ricottura di distensione: utilizzata per eliminare le tensioni interne provocate da precedenti trattamenti o raffreddamenti
- Ricottura di lavorabilità: utilizzata per addolcire un materiale e renderlo più lavorabile
- Ricottura di addolcimento: utilizzata per distruggere più o meno completamente l'incrudimento dovuto a deformazioni a freddo
- Ricottura completa o austenitica: per affinare od omogeneizzare il grano austenitico. Ha effetto specialmente se viene molto prolungata al di sopra dell'intervallo critico.

Un altro trattamento molto impiegato nei materiali da stampi è la normalizzazione utilizzata per affinare il grano dell'acciaio. Si ottengono strutture perlitiche più fini che non nella ricottura completa. Prepara in oltre i particolari di grosse dimensioni o quelli di forme molto complicate al trattamento di tempra successive riducendone sensibilmente le deformazioni.

Molto utilizzata è anche la tempra che consiste nel riscaldare sopra al punto di deformazione del diagramma di stato ferro-carbonio e permette di sostare a tale temperatura per un tempo sufficiente a ottenere l'equilibrio termico e strutturale, consentendo un successivo raffreddamento con una velocità superiore a

quella critica. In tale modo si perviene a uno stato, innaturale, di costrizione della materia, cui compete quella caratteristica microstruttura denominata “Martensite”, dotata di alta durezza e fragilità.

Il trattamento di tempra è un’operazione drastica, che porta nei materiali tensioni anche rilevanti che possono portare a deformazioni o rotture di pezzi.

Poiché la trasformazione “Austenite-martensite” avviene con l’aumento di volume, l’espansione della zona interna è ostacolata dallo strato superficiale già martensitico e induce quindi nel materiale stesso uno stato di tensione che può provocare degli inconvenienti.

### *4.3 Componenti Normalizzati impiegati negli stampi*

Come mostrato precedentemente negli stampi vengono impiegati diversi elementi normalizzati, come colonne, bussole, viti a colletto, molle a gas. Andiamo a vedere nello specifico a che cosa servono.

Le colonne (Fig.4.3.1) di diverso diametro in base alle dimensioni dello stampo, servono a guidare lo stampo nella fase di formatura, svolgono una funzione molto importante poiché garantiscono il corretto stampaggio del particolare. Se infatti lo stampo non funzionasse perfettamente in linea il particolare verrebbe stampato in maniera errata, non rispettando misure e tolleranze fornite del cliente e per cui sarebbe da buttare.

Alle colonne vengono sempre abbinate delle bussole (Fig.4.3.1) che ne completano il funzionamento, infatti le bussole servono a far scorrere al loro interno le colonne e le guidano.



*Fig.4.3.1- Colonne e Bussole da stampo*



Un altro componente normalizzato molto impiegato negli stampi sono le viti a gambo rettificato, in gergo chiamate viti a colletto, le quali sono molto utili per fissare insieme i vari componenti dello stampo e fare in modo che restino perfettamente a contatto l'uno con l'altro durante il processo di stampaggio del componente.

Le viti a gambo rettificato (Fig.4.3.2), in alcuni casi, fungono anche da sicurezza, poiché tutti gli stampi hanno i pressori situati nella parte superiore e dunque rivolti verso il basso e le viti a colletto fanno in modo che questi non cadano, bloccandone il movimento.



**Fig.4.3.2- Vite a Gambo Rettificato**

Altro elemento normalizzato molto impiegato nella costruzione degli stampi sono le matrici trancia ed i punzoni trancia, come dice il nome stesso utilizzati per tranciare laddove c'è la necessità di apportare dei fori nel componente per il fissaggio attraverso le viti.

I componenti normalizzati sono moltissimi e di diverso tipo ma ho elencato quelli più impiegati e di uso più comune nel nostro lavoro, senza dilungarmi troppo su componenti di uso meno comune e raro.

### **5.AUTOMOTIVE: FRESATURA DELLO STAMPO**

La fase di fresatura dello è sicuramente la più delicata, in quanto con essa iniziamo a dare la forma vera e propria allo stampo, per cui bisogna prestare particolare attenzione a quanto viene fatto da chi sta a bordo macchina ma anche dietro la scrivania. Tutti i programmi infatti vengono fatti mediante un Software, nel nostro caso Cymatron, e poi vengono inseriti nelle frese a controllo numerico dell'officina, in cui lo stampo viene fresato fisicamente.

Un'importante caratteristica dell'operazione di fresatura è che l'azione di ciascun tagliente è intermittente, poiché ogni dente lavora solo per una frazione di rotazione dell'utensile.

In questo modo il tagliente è soggetto a urti periodici e a cicli ripetuti di stress meccanici e termici.

Una fase critica dell'operazione di fresatura consiste nell'evacuazione del truciolo dello stampo in modo da non interferire con l'azione di taglio e la progettazione della forma e delle geometrie delle frese deve per forza tenere conto anche di questa criticità.

La lavorazione degli stampi presenta diversi aspetti critici dovuti:

- ai materiali impiegati
- alle dimensioni e alle geometrie dei pezzi da lavorare
- alle tolleranze dimensionali richieste
- all'elevato costo dei componenti.

In genere nella lavorazione dello stampo sono comprese diverse operazioni fresatura:

- spianatura di sgrossatura e finitura
- Contornitura
- fresatura per cave.

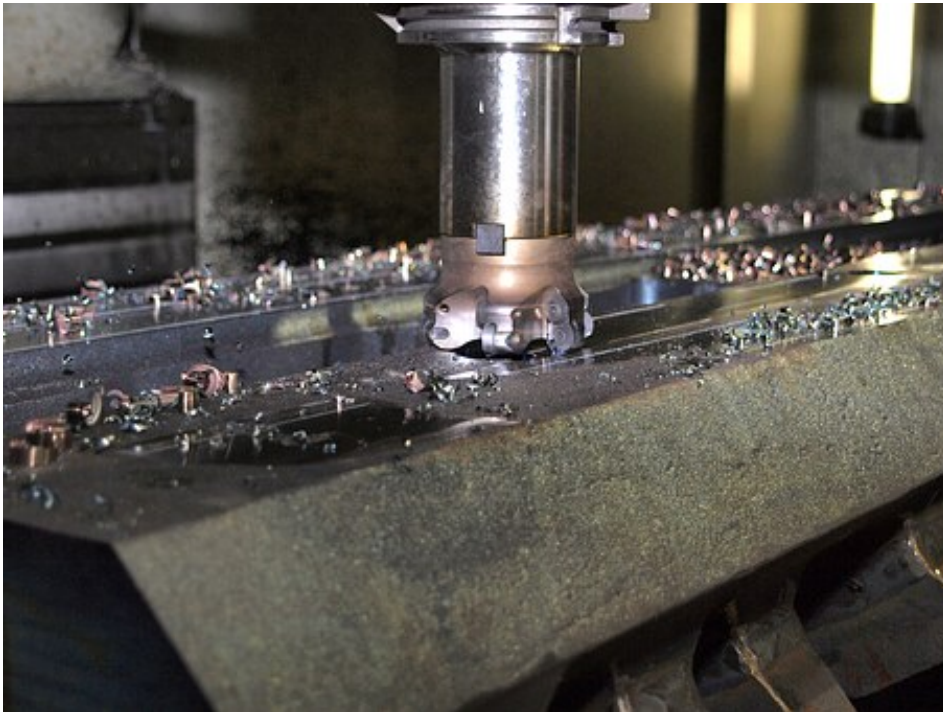
### 5.1 Operazione di spianatura con frese a inserti

Nelle operazioni di spianatura (Fig.5.1.1) in genere vengono utilizzate frese frontali di differenti diametri e angoli di taglio, a seconda dell'applicazione e del materiale lavorato.

Negli ultimi anni sono state sviluppate per questa operazione frese "superpositive", ad esempio nel nostro caso per lavorare acciai utilizziamo frese con angoli di spoglia di  $9\text{--}12^\circ$  e angoli assiali di  $+10\text{--}18^\circ$ .

L'angolo assiale positivo allontana il truciolo dal punto di lavorazione, facilitando così le operazioni di fresatura. L'angolo di spoglia superiore altamente positivo comporta una diminuzione degli sforzi di taglio e della potenza assorbita.

Inoltre nelle operazioni di spianatura è conveniente abbinare gli angoli di taglio superpositivi con angoli di registrazione di  $45^\circ$  così da ottenere azioni di taglio più "dolci" e un truciolo elicoidale in modo da favorirne lo scarico.



*Fig.5.1.1- Spianatura di un acciaio*

## *5.2 Operazione di spianatura con frese a inserto rotante*

Questo tipo di utensile è formato da un corpo fresa con uno o più inserti che montati in maniera particolare, durante la lavorazione, ruotano attorno al proprio asse con un movimento rotatorio indipendente che riposiziona continuamente il tagliente.

Tale movimento rotatorio indipendente è ottenuto dal posizionamento della faccia dell'inserto in relazione alla direzione dell'avanzamento. La grandezza della direzione dell'angolo di spoglia, dell'avanzamento o del diametro degli inserti aumenterà o diminuirà la velocità del movimento rotatorio dell'inserto.

Per quanto riguarda gli sforzi di taglio, con gli inserti rotanti il componente della forza di taglio tangenziale è molto vicina a zero, poiché l'inserto mentre taglia ruota con una velocità uniforme e ciò gli conferisce una maggiore robustezza con un consumo di potenza inferiore.

Per quanto riguarda le temperature di taglio, confrontando questi utensili rotanti a utensili rotondo statico delle stesse dimensioni, la misura della temperatura ha dimostrato che l'utensile rotante lavora a una temperatura di circa 300\400° più bassa, in funzione del materiale lavorato, della velocità degli avanzamenti e dell'inclinazione dell'angolo dell'inserto.

Questa riduzione di temperatura è dovuta anche al fatto che il tagliente dell'utensile rotante ha un periodo di raffreddamento durante la rotazione e che vi è un minor attrito tra il truciolo e l'angolo di spoglia dell'inserto. Inoltre è stata osservata, utilizzando questo tipo di inserti, una minore deformazione termica del pezzo da lavorare, dovuta principalmente al fatto che la principale porzione di calore è portata via dai trucioli

che sono a contatto con la spoglia frontale dell'inserto per un tempo molto più breve che non nel caso degli inserti convenzionali.

Le frese rotanti sono applicate con parametri di taglio molto elevati con velocità di 600\900 m\min e avanzamenti di 3000-3800 mm\min con durate del tagliente fino a 40 ore di lavoro, contro una durata delle frese convenzionali di 4\5 ore agli stessi parametri di taglio.

### 5.3 Operazione di contornitura con frese a inserto rotante

Nelle lavorazioni degli stampi per il settore Automotive le operazioni di contornitura e finitura rappresentano le operazioni più importanti e più gravose, data la complessa geometria dei componenti da utilizzare. In queste operazioni in genere si utilizzano delle frese cilindriche che permettono di eseguire lavorazioni sia in piano sia periferiche e di lavorare superfici molto complesse.

Anche per questo tipo di frese esistono differenti configurazioni e geometrie, differenti diametri e angoli di taglio a seconda del tipo di operazione e del materiale lavorato.

Tra le lavorazioni più interessanti nelle diverse operazioni di contornitura troviamo la fresatura a copiare, eseguita mediante la fresa a copiare a testa sferica a uno o più taglienti.

Questo tipo di utensile è fabbricato con angoli di spoglia fortemente positivi per la lavorazione di materiali teneri come l'alluminio.

Uno dei vantaggi di questo tipo di fresa è appunto quello della possibilità di ottenere ottime finiture superficiali, e ciò è molto importante nella lavorazione degli stampi dove vi è la necessità di ridurre al minimo l'esigenza di molatura e pulitura manuale delle superfici per portare lo stampo alla sua configurazione finale.

### 5.3 Fresatura ad alta velocità

Quando parliamo di HSM (High Speed Machining-Fig.5.3.1) è necessario considerare il grafico di Salomon, secondo cui a velocità di taglio decisamente più elevate rispetto a quelle normalmente utilizzate le temperature sul tagliente tendono a diminuire. I principali vantaggi della lavorazione ad alta velocità sono:

- Miglior finitura superficiale sul pezzo con rugosità inferiore a 0.3
- Maggior volume di truciolo asportato
- Minor tempo di produzione e di conseguenza anche il costo di produzione è inferiore

- Possibilità di lavorare pareti sottili poiché le forze di taglio e le vibrazioni si riducono moltissimo
- Minor distorsione della matrice del materiale poiché il calore viene asportato prevalentemente con il truciolo per cui possibile lavorare i pezzi senza scaldarli eccessivamente.

I materiali da stampo che possono essere lavorati con questo metodo sono: leghe di alluminio, magnesio, acciai temprati. Le macchine utensili utilizzate per questo tipo di lavorazione sono di ultima generazione con sofisticati controlli numerici in grado di soddisfare precisione e velocità richieste.

Per dare un'idea della velocità di taglio di questo tipo di lavorazione indichiamo dei valori impiegati ad esempio nell'alluminio normalmente lavorato a  $1000\text{m}\backslash\text{min}$  mentre con l'alta velocità arriviamo a  $3000\text{m}\backslash\text{min}$ .

Tuttavia questa tecnica di fresatura oltre ai numerosi vantaggi presenta anche numerosi limiti:

- Durezza a caldo degli utensili (il tagliente dura molto meno a temperature elevate)
- Macchine utensili sofisticate, devono avere un elevato numero di giri mandrino, avanzamento e accelerazioni e devono seguire il profilo del pezzo da realizzare
- La sicurezza: forze centrifughe e sbilanciamento dell'utensile assumono notevole importanza in condizioni di HSM.

Ad esempio un utensile sbilanciato creerà sicuramente problemi di:

- Usura o rottura dei cuscinetti del mandrino
- Riduzione drastica della vita del tagliente
- Cattiva finitura superficiale
- Pericolo di rotture improvvise: più l'utensile è sbilanciato più sono alte le vibrazioni del sistema e rischi di rottura.



*Fig.5.3.1- Fresatura ad alta velocità(HSM)*

## 6.AUTOMOTIVE: FORATURA DELLO STAMPO

Nelle operazioni di foratura l'utensile più utilizzato negli stampi del settore Automotive ma in generale nella meccanica è la punta elicoidale (Fig.6.1).

Le lavorazioni di foratura sono caratterizzate dalla variazione della velocità di taglio lungo lo spigolo tagliente dell'utensile, da un valore massimo all'estremità della punta che genera il foro, fino ad un valore prossimo allo zero verso il centro della punta.

Inoltre anche gli angoli di spoglia variano lungo il diametro della punta, e la variazione della velocità di taglio e degli angoli di spoglia caratterizzano questo tipo di operazione di taglio.

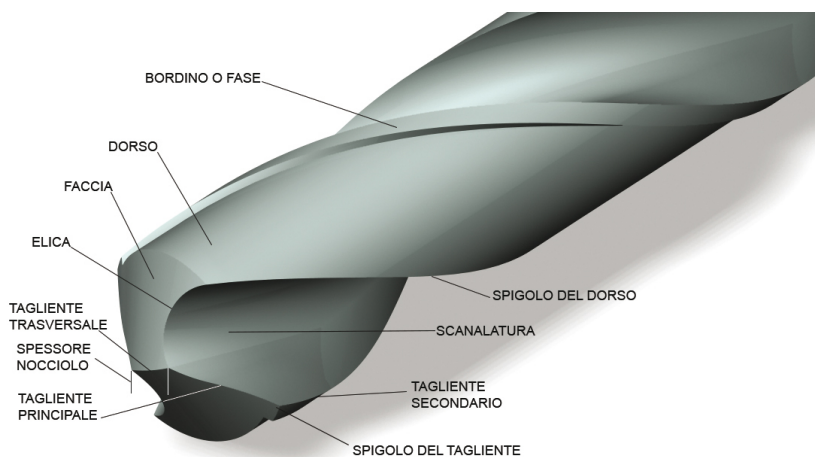


Fig.6.1- Punta Elicoidale

### 6.1 Materiali di costruzione delle punte elicoidali

In genere nella costruzione di punte elicoidali sono utilizzati acciai rapidi senza rivestimenti superficiali.

Negli ultimi anni però si sono iniziati ad usare anche in questo settore dei rivestimenti antiusura in PVD su punte in acciaio rapido, o substrati diversi quali metalli duri o i cermet.

Allo stato attuale, il rivestimento più usato è a base di TiN mentre in altri casi sono stati ottenuti risultati migliori con nuovi tipi di rivestimento quali il TiAlN (nitruro di titanio e alluminio) o il CrN (nitruro di cromo). L' utilizzo del TiAlN, accompagnato da utensili di geometria opportunamente studiata, è risultato essere particolarmente vantaggioso nelle seguenti lavorazioni:

- Foratura profonda
- Foratura a elevate velocità di taglio
- Foratura di materiali altamente abrasivi



L'utilizzo del CrN, abbinato a utensili con geometrie particolari è risultato essere particolarmente vantaggioso nella foratura di materiali non ferrosi a truciolo lungo.

Per quanto riguarda le punte in metallo duro (o in carburo di tungsteno), ultimamente questo settore sta mostrando un interesse crescente su questo tipo di materiale dovuto alla possibilità di aumentare le condizioni di taglio e di lavorare agevolmente anche materiali difficili come gli acciai temprati molto utilizzati per la produzione di stampi nel settore Automotive.

Questo tipo di utensili offrono i seguenti vantaggi:

- Possibilità di avere alte velocità di taglio e forti avanzamenti anche nella lavorazione di materiali ad alta resistenza;
- Durate notevolmente superiori ai corrispondenti utensili in acciaio rapido
- Rigidezza molto elevata con minore flessione delle punte e maggiore precisione nei fori
- Maggiore uniformità di progressione dell'usura utensile con conseguente maggior precisione nel cambio utensile

## 6.2 Alesatura dei fori

Fra le altre operazioni di taglio che interessano maggiormente la costruzione degli stampi vale la pena soffermarci, per la loro importanza e criticità, sulle lavorazioni di finitura e filettatura dei fori.

L'alesatura e la barenatura sono due operazioni di taglio che fra di loro e alcune volte le loro applicazioni si sovrappongono. Per campi di applicazione di queste due operazioni, in termini di diametro e lunghezza dei fori, rettilineità e tolleranze dimensionali richieste, normalmente indicano chiaramente quando l'alesatura o la barenatura debbano essere utilizzate. In particolare mi soffermerò sull'alesatura, più comunemente usata nel settore Automotive.

Gli alesatori vengono utilizzati soprattutto per lavorare acciai ma vengono impiegati molto anche per finire fori con durezza fra 15 e 30 HRC, ma vengono impiegati molto anche per finire fori di componenti in ghisa, con materiali metallici non ferrosi o con acciai di durezza elevata (superiore a 52 HRC).

La maggior parte degli alesatori hanno diametri compresi fra 3 e 30 mm, anche se ne esistono con diametri molto più piccoli (0,1-0,3 mm) o decisamente più elevati (70-100 mm).

Gli alesatori (Fig.6.2.1) sono utilizzati soprattutto quando non bisogna rimuovere grandi quantità di materiale, in quanto oltre una certa profondità di passata diventano non economici e conviene utilizzare altri tipi di utensili (per esempio i bareni).

Inoltre esiste anche un limite minimo di profondità di passata utilizzabile con gli alesatori, e questo limite è influenzato dalla composizione del materiale in lavorazione e dalla sua durezza.

Infatti se la profondità di passata è troppo piccola l'alesatore tende a lavorare male producendo un effetto di "lucidatura" più che di asportazione di truciolo vera e propria, con relativo danneggiamento dell'utensile e della superficie lavorata. Per materiali teneri la profondità di passata di circa 0,2 mm sul diametro è considerato il limite massimo, in funzione anche della lunghezza e della rigidità dell'utensile.

Per materiali più duri tale limite è riducibile a 0,1-0,12 mm, mentre per profondità di passate inferiori è preferibile utilizzare un processo di taglio per operazioni di superfinitura e cioè la lappatura. Le tolleranze dimensionali ottenibili con gli alesatori sono normalmente compresi nell'intervallo tra 0.0025 e 0,007 mm(sul diametro). Tolleranze inferiori possono essere anche ottenute con l'operazione di alesatura, però richiedono condizioni particolari in termini di controllo delle dimensioni dell'utensile e delle condizioni di taglio utilizzate.

La finitura superficiale ottenibile con l'operazione di alesatura dipende dalla durezza del materiale in lavorazione, dal profilo dei taglienti dell'utensile e dalle condizioni di taglio utilizzate.

In condizioni ottimali è possibile ottenere finiture inferiori a 1,5 u, mentre in condizioni di per esempio nella lavorazione di acciai normalizzati, finiture dell'ordine di 3-4 u.



[Fig.6.2.1- Alesatore](#)

## [7. AUTOMOTIVE: STAMPAGGIO DEL PARTICOLARE](#)

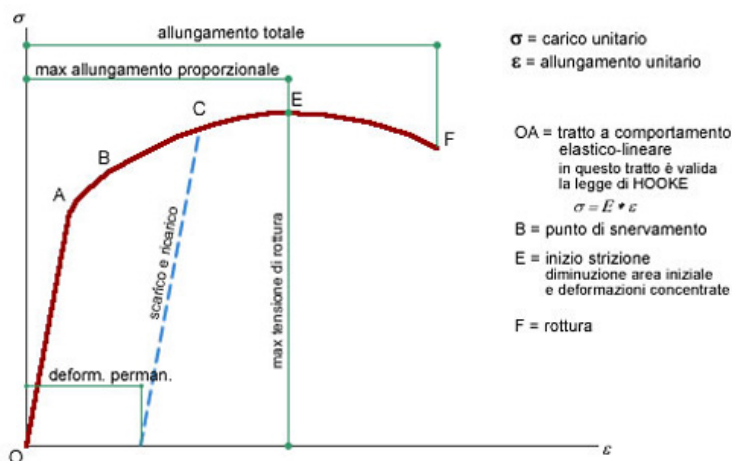
A questo punto dopo essere stato sottoposto a tutte le lavorazioni precedentemente descritte, lo stampo viene montato sulla pressa (Fig.7.1) ed è pronto per stampare il nostro componente, ovvero la Rete MidRange montata negli interni della Ferrari GTC4 Lusso.



**Fig.7.1- Stampo ReteMidrange- Ferrari GTC4 Lusso**

La formatura è una delle operazioni fondamentali nella trasformazione della lamiera, nel nostro caso parliamo di una rete “stirata” in acciaio, per rete stirata intendiamo un rete ricavata da una lamiera piena attraverso un processo di semi-tranciatura che le conferisce un pattern esagonale di dimensioni diverse a seconda della richiesta del cliente.

Durante la deformazione la rete non deve essere sottoposta a stiramenti poiché questi determinerebbero variazioni di spessore della lamiera stessa. La formatura consiste dunque nel far variare la forma della rete senza alterarne lo spessore, rimanendo dunque nella zona di deformazione plastica (Fig.7.2), superando la zona del ritorno elastico e non raggiungendo lo snervamento.



**Fig.7.2- Diagramma tensione-deformazione**

Prima di iniziare il processo di stampaggio è necessario che lo stampo sia ben lubrificato così che tutti i suoi componenti riescano a lavorare senza attriti evitando rotture e stiramenti della lamiera, o il grippaggio di qualche componente.

Viene quindi preso lo sviluppo della rete, avente il profilo del pezzo finito ma non la sua forma e viene posizionato sullo stampo, controllando che il pezzo si trovi esattamente al centro sfruttando i perni di centraggio presenti nello stampo ed i punti da fermo per metterlo correttamente in posizione.

È molto importante che lo sviluppo sia posizionato correttamente per garantire il corretto stampaggio della rete, in quanto se lo sviluppo non risulta centrato con lo stampo il pezzo stampato viene scartato e questo equivale ad uno spreco inutile di tempo e quindi denaro.

Dopo aver quindi correttamente posizionato il pezzo si può procedere allo stampaggio.

Dopo aver stampato, il particolare viene estratto dallo stampo e viene preparato per essere inviato al fornitore per realizzare i trattamenti superficiali richiesti da Ferrari.

## 8. AUTOMOTIVE: TRATTAMENTI SUPERFICIALI

A questo punto il componente che sarà montato sulla Ferrari GTC4 Lusso, deve essere sottoposto ai trattamenti superficiali indicati dal cliente.

I trattamenti superficiali più utilizzati per tutti i particolari Ferrari e quindi anche per questo, sono cataforesi e verniciatura a polvere.

La verniciatura per cataforesi è un trattamento di verniciatura in grado di conferire a elementi in ferro, acciaio e altre leghe (conduttori di corrente) una notevole resistenza alla corrosione; è caratterizzata dal deposito uniforme di una resina epossidica o acrilica sulla superficie dell'elemento, assicurando per lungo tempo un'elevata protezione nei confronti degli agenti chimici e di altri tipi di attacchi, permettendo inoltre una migliore adesione delle vernici di finitura. La resina acrilica si differenzia dalla epossidica perché può rimanere a contatto diretto con gli agenti atmosferici mantenendo le caratteristiche tecniche. Con questo trattamento si assicura una maggiore protezione dalla ruggine.

Il procedimento consiste nell'immersione dei pezzi, collegati al polo negativo di un generatore elettrico, in una vasca ove sono immersi anche alcuni elettrodi collegati al polo positivo. Il campo elettrico ed i fenomeni elettrochimici che si sviluppano determinano la deposizione sul pezzo e la solidificazione della vernice, che viene poi polimerizzata in forno. Il prodotto è composto da resina, pigmenti, cariche e solventi, il tutto è sciolto in acqua. Le resine sono di composizione tale da essere solubili in acqua in ambiente debolmente acido, dove formano una sospensione di particelle microscopiche (micelle) abbastanza stabile.

I solventi sono di due tipi: solventi polari, solubili in acqua, e solventi non solubili, che si inglobano nella micelle di resina influenzando sullo spessore del film applicato. Pigmenti e cariche, generalmente inorganici, determinano il colore, l'aspetto e la resistenza alla corrosione del prodotto. Durante la preparazione della vernice vengono inglobati nelle micelle di resina.

Le particelle di vernice, cariche positivamente, migrano verso il catodo (polo negativo)

Le molecole d'acqua ( $H_2O$ ) si separano in ioni  $H^+$  e  $OH^-$  per effetto del campo elettrico; nella zona del catodo gli ioni  $H^+$  si riducono acquistando elettroni, qui in eccesso, e si liberano come idrogeno gassoso; a causa di ciò si forma localmente un ambiente fortemente alcalino (basico)

In tale ambiente la vernice coagula, depositandosi sul catodo stesso, che è il pezzo da verniciare. Lo strato che si ottiene è già semisolido e relativamente difficile da asportare

Nella coagulazione della resina si liberano ioni di acidi organici (acetato o formiato, a seconda della composizione della resina) caricati negativamente

Tali ioni sono trasportati dal campo elettrico verso gli anodi (poli positivi); questi sono piastre immerse in vaschette contenenti acqua demineralizzata, separate dal bagno da una membrana semipermeabile che solo l'acqua e gli ioni idrogeno riescono ad attraversare

In prossimità degli anodi gli atomi di ossigeno derivati dalla separazione delle molecole d'acqua cedono il loro elettrone liberandosi come gas; si crea dunque un locale eccesso di ioni idrogeno

Tali ioni reagiscono con gli ioni acidi, formando acido (acetico o formico), si ha quindi una soluzione via via più concentrata in acido, che viene periodicamente scaricata parzialmente e sostituita con acqua demineralizzata

La verniciatura avviene dapprima solo sulle superfici esterne del pezzo, ma una volta che queste sono rivestite diventano isolanti, cosicché si verniciano anche le altre; si può in tal modo ottenere, con tempi sufficientemente lunghi, la verniciatura completa del pezzo. Vi sono però dei casi particolari, come lunghe strutture tubolari in cui la penetrazione non può essere completa anche per non prolungare eccessivamente il tempo di trattamento.

All'uscita della vasca il pezzo viene lavato dapprima con la parte liquida del bagno (ultrafiltrato), estratta con un'apposita apparecchiatura (simile a quelle per osmosi inversa), che ricade poi nella vasca per minimizzare le perdite di vernice, successivamente si lava con acqua demineralizzata.

Poiché il film è già solido si possono effettuare lavaggi molto efficaci, eliminando colature e depositi che altererebbero l'aspetto del pezzo. L'essiccazione avviene ad alta temperatura, da  $130\text{ }^\circ\text{C}$  a  $180\text{ }^\circ\text{C}$  a seconda del tipo di vernice.

I vantaggi del processo di elettrodeposizione sono:

- è facilmente automatizzabile
- il film ha ottima aderenza e doti di resistenza alla corrosione
- lo spessore è poco variabile, anche nelle zone nascoste non verniciabili a spruzzo
- non ci sono colature
- la resa dei prodotti è molto elevata essendo la perdita < 10%
- le emissioni in atmosfera di SOV (solventi organici volatili) e di particolato sono assai limitate

Per contro si hanno i seguenti svantaggi:

- si possono solo verniciare pezzi in materiale conduttivo
- in certi campi (ad esempio automobilistico) esiste il pericolo di incendio
- si può applicare solo una mano di cataforesi, la prima del ciclo di verniciatura
- gli impianti sono complessi e quindi costosi
- il cambio colore richiede lo svuotamento, la pulizia, un nuovo riempimento, avviamento e messa a punto dell'impianto, pertanto in pratica ciascun impianto produce un solo colore

l'estetica e le caratteristiche della vernice possono essere tali da poterla impiegare come fondo o mano di finitura, dipende se il tipo di resina è epossidica (non è mano a finire) o acrilica (anche come mano a finire), l'estetica non è comunque all'altezza di una verniciatura a spruzzo non si possono realizzare tinte metallizzate la gestione del processo richiede controlli accurati e complessi da parte di personale specializzato ed una oculata manutenzione.

### 8.1 Trattamenti Superficiali: Verniciatura a Polvere

Dopo essere stato trattato superficialmente il particolare è pronto per essere verniciato. Il colore che viene applicato dipende dal colore degli interni della vettura e solitamente il componente viene verniciato a polvere.

La verniciatura a polveri è un procedimento di rivestimento di superfici metalliche con un film organico, effettuato a scopo decorativo e/o di protezione dalla corrosione e da agenti aggressivi.

I pezzi in lavorazione vengono ricoperti di polvere verniciante a base di resine sintetiche (ad esempio le polveri epossidiche), che aderisce per effetto elettrostatico, e poi passati in un forno dove a causa della temperatura la vernice prima fonde e poi polimerizza dando uno strato aderente.



La verniciatura a polvere si effettua in impianti attrezzati che prevedono:

- un nastro trasportatore aereo a catena dove vengono appesi i pezzi da verniciare, in genere lamiera, tubi, cannelle e profilati.
- un sistema di lavaggio dei pezzi
- un forno di polimerizzazione
- cabine di applicazione con pistole elettrostatiche, o triboelettriche.

Come per gli altri tipi di verniciatura, il risultato in termini di aderenza, durata e resistenza alla corrosione è pesantemente influenzato dalla preparazione preverniciatura della superficie. In effetti lo spessore dello strato verniciante ottenibile con questa tecnologia è nettamente superiore a quello ottenibile con vernice liquida (si superano agevolmente i 100 micrometri) e le caratteristiche meccaniche (durezza, elasticità) possono essere molto elevate, tuttavia in mancanza di una adeguata preparazione si verificano facilmente sfogliature, formazione di bolle (per processi osmotici), screpolature. Con la verniciatura a polvere (anche chiamata plastificazione) si possono comunque ottenere ottime prestazioni sia a livello di finitura, anche se la brillantezza non raggiunge quella delle vernici liquide, che di tenuta meccanica.

Le tinte possono essere ottenute con tutte le tonalità di colore ed inoltre, nella gamma internazionale RAL, si possono realizzare tinte metallizzate.

## 9.0 CONCLUSIONI

Possiamo dunque concludere affermando che il processo di produzione di un componente del settore Automotive, nel nostro caso un componente destinato ad un'auto di lusso, è molto lungo e delicato e richiede la massima attenzione da parte di tutto il personale addetto alle varie fasi.

Fondamentale risulta dunque il controllo della qualità con cui vengono verificate la correttezza dimensionale dei vari pezzi e la loro totale efficienza per far sì che il cliente risulti pienamente soddisfatto del prodotto ricevuto.