



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

**Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Gestionale**

**DETERMINAZIONE DEI COSTI STANDARD DI PRODOTTO:**

**SVILUPPO DI UN MODELLO NELL'AMBITO DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE**

**STANDARD PRODUCT COST ESTIMATION:**

**AN APPLICATION TO AN INJECTION MOLDING PROCESS**

Relatore: Chiar.mo

Prof. **D'Adda Diego**

Correlatore:

Ing. **Capponi Milo**

Tesi di Laurea di:

**Mecca Caterina**

**A.A. 2019/2020**



*Alla mia famiglia e al mio fidanzato  
che in questi anni mi hanno sempre supportata e sopportata*

## Sommario

1	INTRODUZIONE .....	4
2	STORIA DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE .....	8
2.1	IMPORTANZA ECONOMICA .....	8
2.2	COSA E' LO STAMPAGGIO AD INIEZIONE .....	9
2.2.1	I VANTAGGI DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE .....	10
2.2.2	GLI SVANTAGGI DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE .....	11
2.3	LE VARIABILI FONDAMENTALI DELLA PLASTICA .....	11
2.3.1	CARTA UNIVERSALE PER LA REGOLAZIONE DEL PROCESSO .....	12
2.4	TEMPERATURA DELLA PLASTICA .....	13
2.5	TEMPERATURA DI FUSIONE PER I POLIMERI TERMOPLASTICI .....	15
3	STAMPAGGIO AD INIEZIONE .....	16
3.1	DESCRIZIONE DEL MACCHINARIO .....	17
3.1.1	IL GRUPPO DI CHIUSURA .....	19
3.1.2	GRUPPO DI INIEZIONE .....	20
3.2	CICLO DI FUNZIONAMENTO .....	20
3.3	SISTEMA INIEZIONE A CAMERA CALDA .....	23
4	CONTROLLO DELLO STAMPO .....	24
4.1	OBIETTIVO .....	24
4.2	QUANDO FARE IL CONTROLLO .....	24
4.3	CHI DEVE CONTROLLARE LO STAMPO .....	24
4.4	ATTREZZATURE NECESSARIE .....	24
4.5	DESCRIZIONE .....	25
4.6	COSA PUO' DIRCI IL CONTROLLO DIMENSIONALE DELLO STAMPO .....	27
4.7	COSA NON PUO' DIRCI IL CONTROLLO DIMENSIONALE .....	27
4.8	PROCEDURA .....	27
4.9	ANALISI DEI DATI .....	27
5	PRIMA FASE DEL MIO LAVORO .....	28

6	FORMULA MODELLO .....	30
6.1	MODELLO DEI COSTI SVILUPPATO DALL'INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY	30
6.1.1	METODOLOGIA DI STIMA DEL COSTO .....	32
6.1.2	COSTO MATERIALE DIRETTO .....	33
6.1.3	COSTO MATERIALE INDIRETTO .....	34
6.1.4	COSTO DEL LAVORO .....	34
6.1.5	COSTO DELL'ENERGIA .....	35
6.1.6	COSTO DI LAVORAZIONE DELLE ATTREZZATURE .....	35
6.2	ADATTAMENTO MODELLO AL CASO .....	45
6.3	ANALISI MULTICRITERIO .....	50
6.4	MODELLIZZAZIONE DEL PROBLEMA L'AHP .....	57
6.5	DETERMINAZIONE DELLE PRIORITA' .....	59
6.6	CONSISTENZA DEI GIUDIZI .....	62
6.7	ANALISI DI SENSITIVITA' .....	63
6.8	VANTAGGI E SVANTAGGI .....	63
6.9	UTILIZZO DELL'AHP CON EXCEL .....	64
6.9.1	METODO AHP APPLICATO ALLA TESI .....	68
7	REGRESSIONE LINEARE.....	73
7.1	REGRESSIONE LINEARE MULTIPLA .....	73
8	REGRESSIONE SU EXCEL APPLICATA AL CASO .....	75
9	COSTO CAMERA CALDA.....	79
10	COSTO PORTASTAMPO .....	83
11	CALCOLO COSTO MATRICE .....	88
12	COSTO DELLE ATTREZZATURE .....	91
13	RISULTATI .....	98
14	CONCLUSIONI .....	107
15	BIBLIOGRAFIA .....	112

# 1 INTRODUZIONE

Il mio lavoro si prefigge l'obiettivo di sviluppare un modello completo ed oggettivo per riuscire a stabilire il costo di uno stampo per lo stampaggio ad iniezione.

La prima parte del mio lavoro è stata quella di trascrivere tutte le informazioni sugli articoli scritte nei CBD (cost break-down), in un unico file.

Ho costruito un "database" su Excel dove ho inserito le informazioni geometriche, strutturali e i costi storici di più di 100 stampi.

Gli articoli che ho trascritto potevano essere ottenuti tramite la tranciatura fine, la tranciatura a passo, e lo stampaggio ad iniezione; lo stampaggio ad iniezione poteva essere bi-materia o mono-materia, ovvero il pezzo poteva essere composto da una o due materie.

Per compilare questo "database" ho raccolto le informazioni necessarie basandomi su due file Excel e usando il sistema gestionale AS400.

Le informazioni da riportare erano:

- Il codice del componente;
- Il tipo di stampo;
- L'eventuale sovrastampaggio;
- Il nome completo del componente;
- Il fornitore del CBD;
- Il fornitore;
- Il cespite di riferimento che corrisponde al codice dello stampo;
- Il numero di cavità dello stampo con cui viene prodotto quel componente;
- Il tonnellaggio della pressa;
- Le dimensioni;
- Peso pezzo;
- Peso stampo;
- Volume pezzo;
- Materiale pezzo;
- Tempo ciclo;
- L'eventuale presenza della camera calda (hot runner);
- Il numero di ugelli della camera calda;
- Il numero di movimenti;
- Data.

Dopo queste vi erano altre informazioni da inserire, tutti i costi dei materiali e i costi delle lavorazioni.

CODICE [#]	B7370		B7382	
TIPO STAMPO	I_MONOMAT		I_MONOMAT	
SOVRASTAMPAGGIO	N			
PRODOTTO	INSERIMENTO PER PIVOT		VITE MOTORE	
FAM. CEBI			AFFA	
PF	INSERTION HELIX			
DESCRIZIONE			VITE SENZA FINE MOTORE	
FORNITORE CBD	EUROTECNICA		EUROTECNICA	
FORNITORE	CEBI ANCONA			
CESPITE RIF	1A031287		1A031292	
CAVITA [#]	8		8	
COSTO RIF [€]				
PRESSA [T]	50		50	
DIMENSIONI [cmxcmxcm]	246 x 346		246x346	
PESO STAMPO [kg]				
PESO PEZZO [g]	0,55		0,12	
VOLUME PEZZO [cm^3]	0,591		0,1168	
MATERIALE PEZZO	POM DELRIN 100		PBT GF30	
TEMPO CICLO [s]	38		38	
CAMERA CALDA	SI		SI	
# UGELLI				
# MOVIMENTI				
DATA	11/06/2020		18/10/2019	
DISEGNO				
	QUANTITA	COSTO [€]	QUANTITA	COSTO [€]
GUIDE				
IDRAULICA		€ 120,00		€ 100,00

Figura 1-1 Immagine del file che ho compilato

CODICE [#]	B7370		B7382	
CAMERA CALDA	SI		SI	
# UGELLI				
# MOVIMENTI				
DATA	11/06/2020		18/10/2019	
DISEGNO				
	QUANTITA	COSTO [€]	QUANTITA	COSTO [€]
GUIDE				
IDRAULICA		€ 120,00		€ 100,00
PNEUMATICA				
BLOCCHI DISTANZIALI		€ 300,00		€ 250,00
TRATTAMENTO TERMICO		€ 100,00		€ 100,00
ELETTRODI		€ 200,00		€ 150,00
MODULI DI ACCIAIO		€ 450,00		€ 350,00
MATRICI E PUNZONI				
ESPULSORI				€ 150,00
SENSORI DI TEMP				
SENSORI DI PRESSIONE				
CAMERA DI COLATA				
ANVIL				
PIASTRA ISOLANTE				
CAMERA CALDA		€ 7.000,00		€ 6.500,00
PORTA STAMPO		€ 1.800,00		€ 1.800,00
NORMALIZZATI				
ALTRO		€ 1.600,00		€ 1.600,00
TOT MATERIALI	€ 11.570		€ 11.000	
	ORE [h]	COSTO ORARIO [€/h]	ORE [h]	COSTO ORARIO [€/h]

Figura 1-2 ho inserito il costo dei materiali



CODICE [#]	B7370		B7382	
PORTA STAMPO		€ 1.800,00		€ 1.800,00
NORMALIZZATI				
ALTRO		€ 1.600,00		€ 1.600,00
TOT MATERIALI	€ 11.570		€ 11.000	
	ORE [h]	COSTO ORARIO [€/h]	ORE [h]	COSTO ORARIO [€/h]
SIMULAZIONE	24,00	€ 50,000	24,00	€ 50,000
CALCOLI				
CAD	120,00	€ 40,000	120,00	€ 40,000
NC	40,00	€ 40,000	40,00	€ 40,000
FRESATURA	144,00	€ 45,000	172,00	€ 45,000
FILO EROSIONE	62,00	€ 45,000	36,00	€ 45,000
LUCIDATURA				
ASSEMBLAGGIO	40,00	€ 40,000	40,00	€ 40,000
OTTIMIZZAZIONE				
EROSIONE	88,00	€ 40,000	88,00	€ 40,000
FORATURA	15,00	€ 40,000	12,00	€ 40,000
TORNIT/SABIAT				
APPROVAZIONE TECN.	24,00	€ 40,000	16,00	€ 40,000
ALTRO	40,00	€ 40,000	40,00	€ 40,000
TOT LAV	€ 31.630		€ 24.800	
<b>TOT STAMPO</b>	<b>€ 43.200</b>		<b>€ 35.800</b>	

Figura 1-3 ho inserito il costo delle lavorazioni

Per costruire il suddetto modello saranno necessarie informazioni che otterrò dai fornitori degli stampi, come il numero degli ugelli della camera calda dello stampo, confronterò le geometrie dell'oggetto realizzato con quell'attrezzatura con il volume del solido circoscritto all'oggetto stampato, stesso procedimento anche per l'area e per fare questo mi aiuterò con la piattaforma CATIA.

Il lavoro che andrò a svolgere si può riassumere in step ben precisi:

1. Calcolo i parametri geometrici dei codici selezionati;
2. Applico la metodologia AHP per determinare la complessità della forma;
3. Usando la complessità della forma appena calcolata per ottenere la complessità della forma tramite regressione lineare;
4. Calcolo il costo della camera calda;
5. Calcolo il costo del porta stampo;
6. Calcolo il costo delle matrici;
7. Calcolo costo delle attrezzature;
8. Ottengo costo dello stampo.

Qui di seguito riporterò le nozioni di base dello stampaggio ad iniezione.

## 2 STORIA DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE

Nel 1868, John Wesley Hyatt sviluppò un materiale plastico chiamato celluloido per partecipare ad una gara indetta da un produttore di palle di biliardo.

Il produttore stava cercando un materiale che sostituisse l'avorio, che stava diventando sempre più costoso e difficile da ottenere.

Egli creò una palla da biliardo di celluloido che vinse il primo premio e 10.000\$, ma sfortunatamente dopo la premiazione, alcune palle da biliardo scoppiarono a causa degli urti poiché la celluloido era altamente instabile e infiammabile.

Nel 1872 Hyatt e il fratello inventarono la prima macchina per lo stampaggio ad iniezione della celluloido: era nata l'industria delle materie plastiche.

Questa macchina era un semplice cilindro con un pistone all'interno per fondere la plastica ed iniettarla.

Nel 1946, James Hendry brevettò una nuova macchina per lo stampaggio ad iniezione basata sulla vite senza fine. Questo nuovo dispositivo stravolse completamente l'industria.

Dalla sua nascita nel tardo 1800 ad oggi, l'industria dello stampaggio è cresciuta rapidamente e in maniera continua; si è evoluta dalla semplice produzione di bottoni e pettini ad una grande varietà di applicazioni in tutti i settori della vita e dell'industria: dal settore automobilistico a quello medicale, spaziale, dai giocattoli agli imballaggi, dai materiali da costruzione ai materiali elettronici ecc...

### 2.1 IMPORTANZA ECONOMICA

L'industria della plastica continuerà ad essere una delle industrie principali anche nei prossimi anni.

I metodi di lavorazione principali delle materie plastiche sono lo stampaggio ad iniezione, l'estrusione e il soffiaggio di corpi cavi.

È importante notare che esistono circa sette volte più macchine per lo stampaggio ad iniezione che estrusori.

Non esiste nessuna azienda che non abbia lo stampaggio ad iniezione nel suo processo produttivo o che non utilizzi al suo interno oggetti stampati.

Ogni giorno vengono costruiti nuovi macchinari per lo stampaggio ad iniezione con il solo scopo di produrre parti di qualità, a basso costo e nel più breve tempo possibile.

## 2.2 COSA E' LO STAMPAGGIO AD INIEZIONE

Il termine stampaggio ad iniezione è un'estrema semplificazione di un processo molto complicato che deve svolgersi all'interno di alcuni limiti ben determinati per ottenere una parte di qualità.

Il processo di stampaggio ad iniezione può essere suddiviso in tre operazioni fondamentali:

- Aumentare la temperatura della plastica fino a farla scorrere sotto pressione. Questo sia riscaldandola che sottoponendola a sforzo meccanico in modo da farla fondere ed omogeneizzare con una temperatura e viscosità uniforme. La plasticizzazione del materiale si ottiene all'interno di un cilindro riscaldato al cui interno ruota una vite senza fine.
- Il fuso è spinto a pressione all'interno della cavità dello stampo dove assume la forma desiderata ed è estratto dopo averlo fatto raffreddare.
- Quando il materiale è perfettamente raffreddato lo stampo viene aperto ed il pezzo viene estratto.

Durante queste tre operazioni i parametri di processo devono essere accuratamente regolati poiché influenzano le caratteristiche del materiale e, quindi, del prodotto finito.

Queste tre fasi influenzano anche significativamente la produttività del processo poiché la velocità di produzione dipende da quanto velocemente il materiale è riscaldato e raffreddato all'interno dello stampo.

Lo stampaggio ad iniezione coinvolge il materiale plastico, lo stampo, la pressa ad iniezione ed il processo.

Oltre a questi elementi bisogna considerare l'uomo che sta dietro all'intero processo e l'ambiente in cui si opera.

I 6 componenti dell'unità produttiva sono:

- Macchina
- Stampo
- Materiale
- Processo
- Ambiente
- Uomo/ Organizzazione

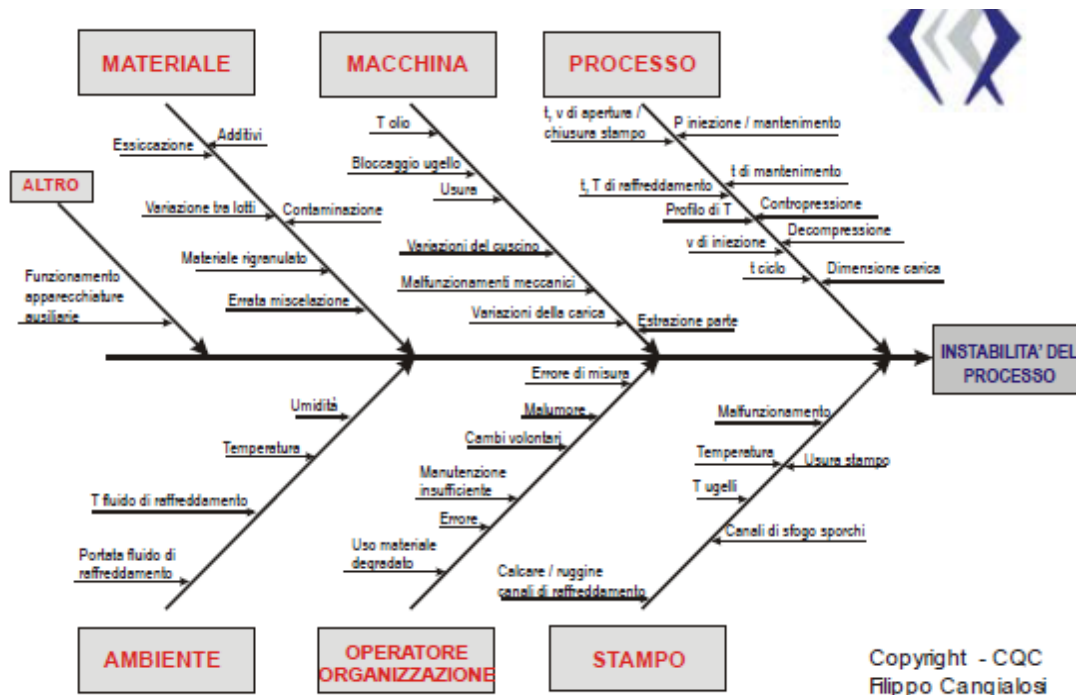


Figura 2-1 fattori che influenzano il processo di stampaggio

## 2.2.1 I VANTAGGI DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE

I vantaggi dello stampaggio ad iniezione sono:

- Le parti sono prodotte in un unico passaggio;
- I materiali possono essere lavorati con una notevole precisione dimensionale;
- Durante il processo di lavorazione si possono aggiungere alle parti degli elementi funzionali costruiti con altri materiali, ad esempio inserti metallici;
- Possibilità di realizzare alti volumi di produzione.

Lo stampaggio ad iniezione è il metodo di lavorazione delle materie plastiche più diffuso per la produzione di prodotti di massa, in grandi quantitativi, con tolleranze dimensionali molto strette e con una grande varietà di forma.

Lo stampaggio ad iniezione permette di realizzare parti con diversi tipi di materiali plastici: termoplastici, termoindurenti, gomma ecc...

## 2.2.2 GLI SVANTAGGI DELLO STAMPAGGIO AD INIEZIONE

I principali svantaggi dello stampaggio ad iniezione sono:

- Altri costi di investimento per l'acquisto delle attrezzature (pressa, stampo, attrezzature ausiliarie);
- Necessità di uno stampo per ogni parte da realizzare;
- Difficoltà di lavorare parti aventi forti variazioni di spessore o sottosquadri.

## 2.3 LE VARIABILI FONDAMENTALI DELLA PLASTICA

La nostra attenzione deve concentrarsi sul comportamento del polimero allo stato fuso più che sulla regolazione dei parametri operativi della macchina.

Le quattro variabili fondamentali, che possono essere controllate in maniera scientifica, sono:

1. La temperatura della plastica;
2. La pressione idraulica;
3. La portata della plastica;
4. La velocità di raffreddamento della plastica.

Dal punto di vista pratico lo stampaggio ad iniezione può essere descritto molto semplicemente nelle seguenti fasi:

1. Prendo una certa quantità di materiale plastico in granuli;
2. La fondo all'interno di un contenitore;
3. Applico una certa pressione;
4. Lascio raffreddare il materiale;
5. Estraggo il pezzo dallo stampo.

Dal punto di vista fisico il processo di stampaggio può essere descritto con due **passaggi di stato** della materia:

1. Dallo stato solido a quello liquido;
2. Dallo stato liquido a quello solido.

I parametri caratteristici di ogni fase del processo sono:

- La quantità di materiale, *portata*;
- La temperatura a cui il materiale può scorrere, temperatura di fusione, per i polimeri cristallini e di transizione vetrosa per i polimeri amorfi;
- La pressione esercitata dal fuso;
- La velocità di raffreddamento;
- La temperatura di estrazione.

Queste variabili, insieme ai parametri operativi della macchina che permettono di tenerli sotto controllo aiutano a costruire la *Carta universale per la Regolazione del Processo*.

Tale carta deve contenere solo quei parametri che si possono realizzare su qualunque macchina per lo stampaggio con una buona capacità ed in buono stato di manutenzione, indipendentemente dalla sua età e dall'elettronica di controllo.

Se si comprendono i parametri della *Carta Universale per la Regolazione del Processo* è possibile spostare uno stampo da una macchina all'altra continuando a produrre parti di qualità.

### 2.3.1 CARTA UNIVERSALE PER LA REGOLAZIONE DEL PROCESSO

La carta dello stampaggio deve contenere alcune caratteristiche che permettono di avere il pieno controllo delle quattro variabili fondamentali del materiale attraverso alcuni parametri operativi della macchina.

Questi parametri possono essere selezionati attraverso le procedure di regolazione basate sui principi dello stampaggio scientifico:

1. Numero dello stampo, numero dei cicli effettuati, nome della parte, cliente, data di costruzione, nome dello stampatore, ecc...
2. Volume della stampata;
3. Volume di trasferimento, posizione di trasferimento, posizione di trasferimento V-P;
4. Pressione del fuso all'ugello o pressione all'interno della cavità;
5. Pressione del picco idraulico;
6. Pressione di impaccamento e mantenimento;
7. Tempo di ciclo reale e tempo di ciclo previsto;
8. Tempo di riempimento;
9. Peso, fotografie e campioni di una stampata prodotta al 95%-99% di riempimento;
10. Tempo di congelamento del punto di iniezione e tempo di mantenimento impostato;
11. Temperatura dello stampo e mappa del circuito di raffreddamento;
12. Caratteristiche dell'acqua di raffreddamento (portata per ogni canale, pressione e temperatura di ingresso e uscita);
13. Velocità di rotazione della vite;
14. Tempo di apertura e chiusura dello stampo;
15. Temperatura del fuso;
16. Geometria dell'ugello.

## 2.4 TEMPERATURA DELLA PLASTICA

Il calore è la forma di energia (energia termica) comunemente impiegata per lavorare i polimeri.

La somministrazione di energia termica causa l'aumento della temperatura del polimero ed il suo passaggio di stato solido a quello liquido è detto fusione ed avviene quando l'energia termica è sufficientemente alta da indurre la distruzione della struttura cristallina e lo scorrimento delle catene.

Ci sono 3 stati principali nei quali un polimero può trovarsi e quindi due tipi di transizione:

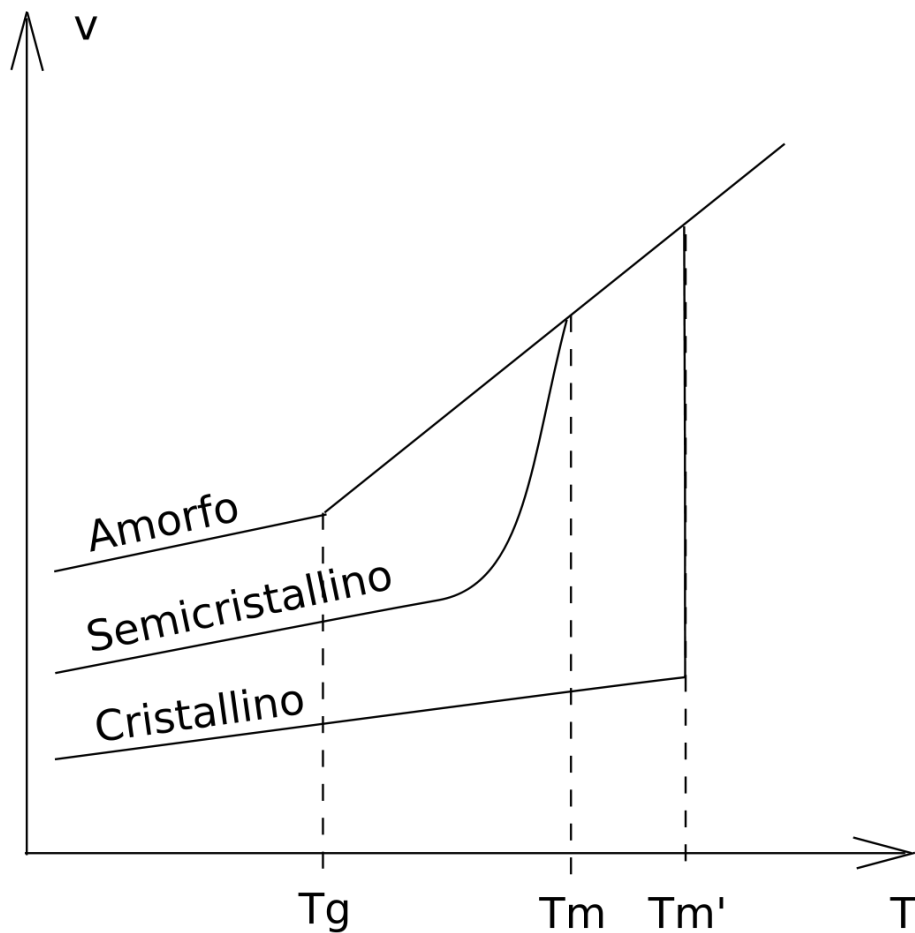


Figura 2-2 temperatura di fusione e transizione vetrosa della plastica

Nello stato vetroso i polimeri sono rigidi e fragili, nello stato gommoso o viscoelastico sono morbidi e nello stato fuso sono liquidi.

La temperatura di transizione è quella alla quale il polimero cambia da fragile a molle.

La temperatura di transizione è quella alla quale il polimero cambia da molle a fuso è la temperatura di fusione.

I polimeri amorfi non mostrano una transizione chiara nella fusione e perciò non hanno una temperatura di fusione.

Il cambio è graduale ed il polimero si ammorbidisce all'aumentare della temperatura:

Le temperature caratteristiche dei polimeri sono:

- La temperatura di distorsione sotto carico (HDT);
- La temperatura di transizione vetroso;
- La temperatura di fusione;
- La temperatura di degradazione.

Abbiamo detto che l'intero processo di stampaggio può essere esemplificato nella fase di fusione del materiale, la sua formatura all'interno dello stampo e l'estrazione della parte, quando il materiale è abbastanza rigido da non subire deformazioni.

È, quindi, importante conoscere la temperatura di fusione e quella di distorsione per definire la temperatura di lavorazione e, conseguentemente, il profilo della temperatura appropriato.

Il profilo della temperatura e gli altri parametri hanno un'influenza sulla temperatura del fuso devono essere regolato in maniera tale che il materiale sia abbastanza liquido (poco viscoso) da scorrere all'interno della cavità fino a riempirla, ma senza che sia troppo caldo, poiché altrimenti è necessario molto tempo per riportarlo allo stato solido (ottenendo un tempo di ciclo lungo e bassa produttività).

Il comportamento termico della plastica può essere descritto attraverso due temperature fondamentali:

1. *La temperatura di fusione per i polimeri cristallini* che è la temperatura alla quale il materiale passa dallo stato solido a quello liquido, e la *temperatura di transizione vetroso per i polimeri amorfi*, che è la temperatura alla quale le macromolecole possono ruotare o traslare;
2. *La temperatura di distorsione* che è la temperatura alla quale il materiale si distorce sotto il suo stesso peso.

Inoltre, durante il ciclo di lavorazione il polimero non deve superare la temperatura di degradazione che è la temperatura alla quale un polimero subisce delle modificazioni chimiche che ne alterano le proprietà.



## 2.5 TEMPERATURA DI FUSIONE PER I POLIMERI TERMOPLASTICI

Nei polimeri cristallini l'energia di coesione tra le molecole è forte.

Se l'energia termica supera quella di coesione tra le molecole, la struttura cristallina viene distrutta e le molecole sono libere di ruotare e muoversi.

La temperatura alla quale ciò avviene è la temperatura di fusione del polimero ed è indicata con  $T_f$ .

Se si continua ad aumentare la quantità di calore somministrata al fuso, ad un certo punto, la temperatura non aumenta più poiché l'energia termica viene impiegata per distruggere altre strutture cristalline.

Nei polimeri amorfi le macromolecole sono disposte in modo completamente disordinato, quindi non c'è un'energia di coesione che deve essere superata per farle muovere.

All'aumentare della temperatura, le molecole cominciano a vibrare, ruotare e piegarsi.

La temperatura alla quale molti atomi della macromolecola si muovono in maniera sincronizzata è detta temperatura di transizione vetrosa e si indica con  $T_g$ .

Le molecole che hanno raggiunto il maggior grado di movimento, riescono a piegarsi e scorrere.

Se continuiamo ad aumentare la temperatura, una parte del calore è utilizzata per mettere in vibrazione altre catene, mentre un'altra parte è impiegata per riscaldare le molecole che sono già allo stato liquido.

Per questo motivo i polimeri amorfi:

- Non hanno una temperatura di fusione ben determinata;
- Sono lavorabili in un intervallo di temperatura abbastanza ampio.

Facendo il processo inverso, vale a dire abbassando la temperatura del polimero fuso, la  $T_g$  è la temperatura al di sotto del quale i movimenti delle macromolecole sono congelati.

Molti polimeri sono semicristallini ed il loro comportamento termico è intermedio tra i due precedenti.

La parte cristallina ha una temperatura di transizione vetrosa.

### 3 STAMPAGGIO AD INIEZIONE



*Figura 3-1 sistema stampaggio ad iniezione*

Lo **stampaggio a iniezione** è un processo di produzione industriale in cui un materiale plastico viene fuso (plastificato) e iniettato ad elevata pressione all'interno di uno stampo chiuso, che viene aperto dopo la solidificazione del manufatto.

Generalmente l'iniezione avviene a pressioni elevate e a temperature abbastanza elevate da consentire lo scorrimento del materiale "plastificato" all'interno del macchinario e dello stampo.

Il principio di funzionamento dello stampaggio a iniezione è simile alla pressofusione e da essa derivato.

### 3.1 DESCRIZIONE DEL MACCHINARIO

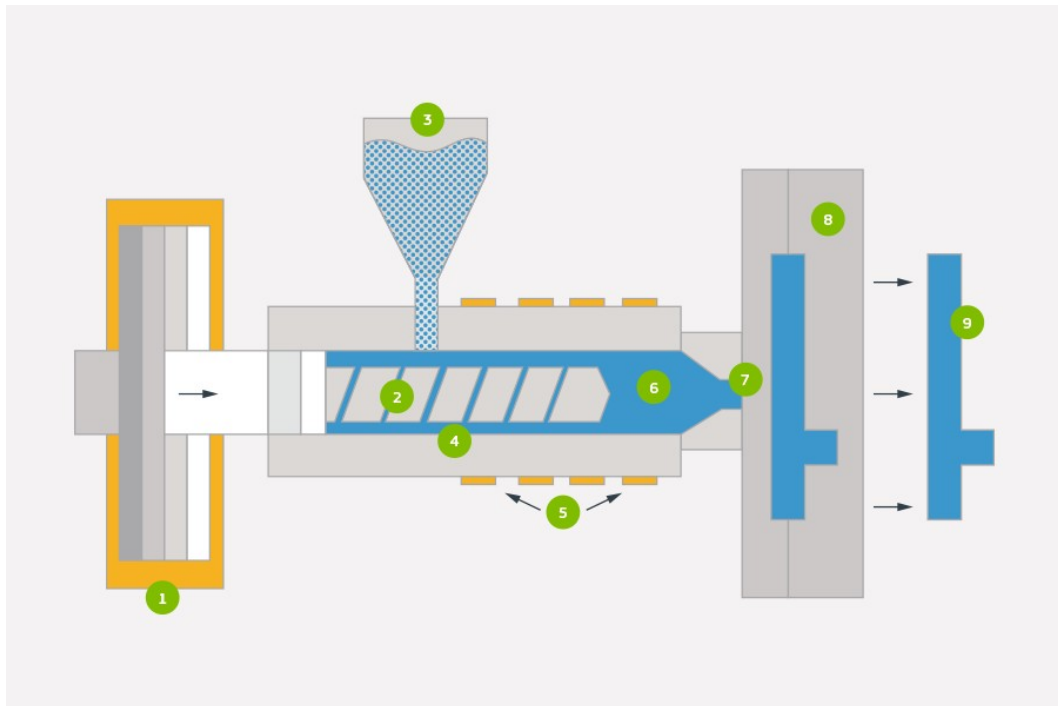


Figura 3-2 le componenti principali del sistema ad iniezione

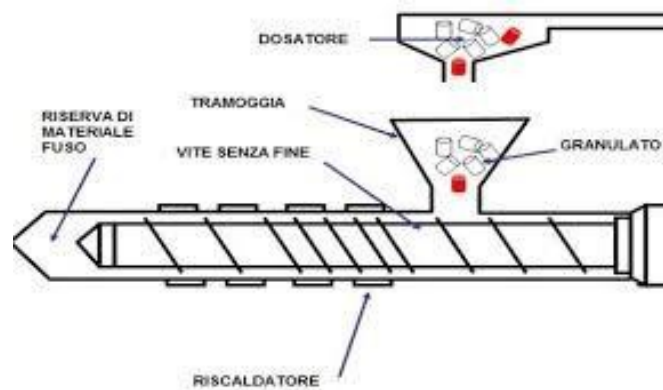


Figura 3-3 schema di principio dell'unità di iniezione di una moderna pressa per lo stampaggio a iniezione delle materie plastiche

Il macchinario (detto *pressa ad iniezione*) che permette l'operazione di stampaggio a iniezione è costituito da un "gruppo iniezione" collegato a un "gruppo chiusura".

Il *gruppo iniezione* ha il compito di riscaldare fino a fusione e quindi plastificare il materiale e di spingerlo poi all'interno dello stampo (grazie all'azione di un pistone o di una vite mobile, detta anche *vite punzonante*), mentre il *gruppo chiusura* ha il compito di tenere chiuso lo stampo (idraulicamente o meccanicamente) durante la fase di iniezione, contrastando l'alta pressione generata dal gruppo iniezione, che tenderebbe ad aprire le due metà dello stampo.

I costituenti principali delle presse per iniezione sono:

- un *piano fisso*, al quale si fissa un semistampo (normalmente il semistampo femmina, o matrice);
- un *piano mobile*, al quale si fissa l'altro semistampo (punzone) e che si apre alla fine del processo di raffreddamento per permettere la fuoriuscita del pezzo stampato;
- un sistema di supporto e guida del piano mobile (generalmente 4 colonne a sezione cilindrica);
- un meccanismo di chiusura dello stampo (generalmente una ginocchiera azionata da pistoni idraulici);
- un "gruppo di plastificazione ed iniezione", costituito da una vite senza fine a profilo e sezione variabile, contenuta in un cilindro riscaldato elettricamente; la vite ha la possibilità di ruotare intorno al proprio asse (caricamento e fusione del materiale), retrocedendo durante la fase di caricamento del granulo, e di spostarsi assialmente in avanti, agendo da pistone, durante la fase di iniezione. La testa del cilindro porta un ugello che, attraverso un foro nel *piano fisso* della pressa, è mantenuto a contatto del foro di iniezione dello stampo;
- una *piastra di estrazione*, che permette il distacco del pezzo sformato dallo stampo;
- una *centralina oleodinamica*, che fornisce l'energia per gli azionamenti;
- un *basamento* di supporto;
- un'unità di governo elettronica, assistita da calcolatori.

Diverse sono le tipologie di presse ad iniezione: da quelle ad azionamento totalmente idraulico alle più moderne con azionamento elettrico, le quali consentono grazie all'impiego di servomotori e controlli numerici un più veloce ed accurato controllo del processo nonché un risparmio energetico di circa il 20-30%; esistono anche presse "ibride" con gruppo chiusura idraulico e gruppo di plastificazione/iniezione elettrico, oppure gruppo chiusura e plastificazione elettrici, e piastra di estrazione e movimenti ausiliari idraulici.

La disposizione più diffusa è quella orizzontale (movimento di apertura degli stampi orizzontale), ma per lavorazioni particolari si utilizzano presse verticali.

### 3.1.1 IL GRUPPO DI CHIUSURA

Il "gruppo chiusura" è la parte della macchina dove viene montato lo stampo del pezzo da realizzare; la chiusura stampo è costituita a sua volta dalle seguenti parti:

- il sistema di chiusura dello stampo, che può essere di tipo "a ginocchiera", "doppia ginocchiera", "monobraccio", "a pistone" o "hidroblock";
- il sistema di estrazione del pezzo, meccanico per i pezzi più semplici ed idraulico per pezzi più complessi o delicati.

I parametri identificativi dei gruppi chiusura delle presse sono:

- la *forza di chiusura*;
- il *passaggio colonne*, ovvero la massima dimensione trasversale dello stampo che può essere montato;
- la *corsa* di apertura del piano mobile;
- la distanza massima e minima alla quale i due piani della pressa si possono "chiudere". Ciò incide sulla scelta della pressa in base alla dimensione dello stampo: in una pressa 400-200mm si può alloggiare uno stampo di 300mm, ma non uno più grande o più piccolo dei valori indicati.

Le pressioni sono dell'ordine di qualche centinaio di bar e la forza (in tonnellate) necessaria per tenere chiusi gli stampi è ricavabile dalla seguente formula:

dove  $P$  è la pressione di iniezione in  $\text{kg/cm}^2$  (per le unità di misura vedi nota) ed  $S$  è la superficie dell'area frontale del pezzo da stampare (in  $\text{cm}^2$ ) ortogonale al piano di iniezione.

Solitamente questa formula dà una prima approssimazione del tonnellaggio necessario per stampare ad iniezione un prodotto; viene spesso aggiunto come moltiplicatore un fattore  $C$  che è funzione dalla complessità del pezzo da produrre, del suo spessore medio, della valutazione "estetica" o meno del particolare.

### 3.1.2 GRUPPO DI INIEZIONE

Il gruppo iniezione (o *gruppo plastificazione*) include la parte del macchinario tra l'arrivo del materiale granulare solido (in genere sotto forma di pellet) all'iniezione del fluido plastificato nello stampo.

Seguendo il percorso compiuto dal materiale, si incontrano principalmente:

- la *tramoggia*, posta in cima alla macchina, dove il materiale viene uniformato ed eventualmente miscelato con altri materiali, additivi o coloranti (detti masterbatch). Esistono diverse tipologie di tramoggia per il dosaggio, basate principalmente sui sistemi di tipo volumetrico o gravimetrico;
- la *vite di alimentazione e plastificazione*, posta in un condotto cilindrico riscaldato generalmente da diversi set di resistenze che circondano il condotto e controllabili separatamente.
- l'"ugello di iniezione", posto alla fine del condotto della vite di plastificazione, atto a convogliare il fluido nel canale d'ingresso dello stampo.

I parametri identificativi dei gruppi iniezione delle presse sono:

- la *capacità di plastificazione*, ovvero la massima quantità di materiale che può essere iniettato in ciascun ciclo, in cm<sup>3</sup>;
- i *cicli "a vuoto"* che la pressa può effettuare alla massima velocità, senza produzione di prodotti.

## 3.2 CICLO DI FUNZIONAMENTO

All'inizio di un ciclo di stampaggio a iniezione i granuli del polimero plastico da stampare, contenuti nella tramoggia, vengono fatti cadere all'interno del cilindro della vite di alimentazione e plastificazione, che, posta in rotazione, porta i granuli, fondendoli, fino alla parte anteriore, qui, per reazione, la vite punzonante arretra fino al raggiungimento della quota definita da programma come "dosatura".

Dalla zona iniziale (alimentazione) fino alla zona finale (fusione) all'interno del cilindro, i granuli vengono riscaldati da una serie di resistenze elettriche fino oltre la loro temperatura di fusione e "plastificati" dalla rotazione della vite seguendo il programma preimpostato dall'operatore in funzione del tipo di materiale, della grammatura del pezzo e della compattezza richiesta dal pezzo finito.

La pressa ha nel contempo provveduto alla chiusura dello stampo e può quindi iniziare la fase di iniezione rapida del materiale fino a circa il 98% del peso del pezzo.

Il completamento al 100% del pezzo avviene con la seconda fase (fase di "compattamento" o "mantenimento"), mantenendo il materiale in pressione fino a quando il pezzo stampato non si solidifica. Questa seconda fase realizza la "compensazione" del ritiro volumetrico che la materia plastica, raffreddandosi naturalmente, subisce.

A questo punto la logica di gestione della pressa, una volta terminato l'eventuale tempo aggiuntivo di raffreddamento necessario, dà il via all'apertura dello stampo per permettere l'estrazione del pezzo stampato. Questa può avvenire con un sistema a punzone meccanico, con martinetto idraulico, oppure mediante estrazione pneumatica, svitamento elettrico o idraulico. Indi il pezzo espulso dallo stampo cade in un canale sottostante che lo fa depositare in un idoneo contenitore da dove verrà prelevato per le successive fasi di selezione, controllo ed eventuale successiva rifinitura del pezzo. Nelle aziende ad elevata automazione, per aumentare la produzione e permettere il lavoro continuo h 24/24, si ricorre a robot cartesiani o a manipolatori antropomorfi che prelevano il pezzo o più pezzi e li pallettizzano secondo uno specifico programma di lavoro.

Può iniziare quindi un nuovo ciclo, con una nuova fase di alimentazione del materiale.

Il ciclo macchina tipico è quindi composto dalle seguenti fasi:

- **Caricamento e fusione:** la vite gira prelevando il materiale per caduta (in granuli dalla dimensione variabile da 1 a circa 5 mm) da una tramoggia fissata al cilindro; il materiale, avanzando verso la testa del cilindro, fonde per effetto del riscaldamento del cilindro e dell'attrito. L'accumulo del materiale plastificato nella parte anteriore del cilindro fa arretrare la vite determinando la quantità di materiale che verrà iniettata;
- **Chiusura e bloccaggio dello stampo:** i due semi stampi vengono avvicinati velocemente in bassa pressione e a pochi decimi di distanza vengono bloccati in posizione di massima forza di chiusura;
- **Iniezione:** alla vite viene applicata una velocità controllata da programma, con libertà di utilizzo della pressione idraulica disponibile. La vite, spostandosi rapidamente in avanti, come un pistone, forza il materiale fuso, attraverso l'ugello, nella cavità dello stampo. (fase. "controllo in velocità");
- **Mantenimento in pressione:** la vite continua ad essere spinta in avanti solitamente con una pressione più bassa di quella di iniezione, mantenendo la pressione sul materiale finché questo non è solidificato. (fase. "controllo in pressione");
- **Rilascio della pressione della vite;**
- **Rotazione della vite per preparazione al nuovo ciclo;**
- **Arretramento del gruppo iniezione** (movimento opzionale);
- **Eventuale attesa** di raffreddamento del materiale nello stampo;
- **Apertura dello stampo ed estrazione / espulsione del pezzo** (automatica, manuale o assistita da manipolatori esterni) dei pezzi



*Figura 3-4 pezzi ottenuti dallo stampaggio ad iniezione*

I pezzi ottenuti richiedono in certi casi operazioni accessorie come l'asportazione del materiale degli attacchi di iniezione (materozze), la sbavatura, l'esecuzione di fori ecc, ma spesso sono perfettamente finiti. È possibile realizzare il co-stampaggio di inserti metallici filettati o particolari in acciaio che, alla fine del processo, risulteranno saldamente inglobati al manufatto.

Negli ultimi anni si assiste al graduale inserimento di presse da iniezione di tipo elettrico, che permettono velocità di movimento dei piani elevate, silenziosità, e bassa manutenzione, pulizia ed elevata ripetibilità dei cicli. Ulteriori ampliamenti del processo di iniezione sono raggiunti mediante la costruzione di presse con più gruppi di iniezione, capaci di iniettare due o più materiali contemporaneamente (alternativa all'aggiunta di un iniettore satellite), oppure presse con più gruppi chiusura che permettono di realizzare fasi di stampaggio multiple su stampi rotanti. Il concetto di funzionamento rimane però lo stesso appena descritto, con l'aggiunta dell'eventuale sovrapposizione di movimenti.

L'alto costo delle attrezzature necessarie alla produzione di particolari plastici (gli stampi) ha richiesto la creazione di software dedicati alla pre-progettazione del manufatto, simulando il processo di stampaggio con algoritmi estremamente complessi. Il risultato di queste elaborazioni può essere utilizzato per progettare lo stampo in modo semi-definitivo.

Solitamente sono sempre necessarie messe a punto in macchina del processo simulato, in quanto la simulazione teorica fornisce indicazioni valide quanto i dati immessi: la costruzione reale comporta tolleranze e precisione di lavorazione spesso non analizzabili dal software.



### 3.3 SISTEMA INIEZIONE A CAMERA CALDA

Il sistema di iniezione più utilizzato per pezzi tecnici e di piccola grammatura è il cosiddetto sistema a camera calda.

Consistente in un distributore metallico inserito nella parte fissa dello stampo (parte a diretto contatto con il carro-prensa), ramificato o meno a seconda del numero di figure dello stampo e adeguatamente bilanciato nei canali di scorrimento del materiale per ammortizzare e distribuire uniformemente la pressione di iniezione e la temperatura del fuso, terminante ogni canale in un ugello o puntale dal quale, al momento dell'iniezione fuoriesce il materiale.

Inoltre il sistema a camera calda può essere provvisto di un otturatore (spillo) controllato da un pistone al posto del puntale puntiforme.

I sistemi ad otturatore possono essere utilizzati per dettagli di alta grammatura o con spessori elevati che richiedono una portata di flusso maggiore.

Per materiali caricati con fibre lunghe, a causa delle sezioni ristrette e del conseguente aumento dello shear stress locale, gli otturatori non sono consigliati.

Il sistema ad otturatori, e più generalmente i sistemi a "camera calda" permettono un ampio range progettuale agli stampi e di conseguenza al design, questo grazie alla possibilità di posizionare le iniezioni dove più è teoricamente consigliabile.

Con un sistema ad otturatori comandati è ovviamente possibile una sequenzialità di apertura che può portare a risoluzione di notevoli problemi tecnici ed estetici.

Le pressioni elevatissime in gioco, vengono così ridotte notevolmente, salvaguardando le attrezzature.

I vantaggi economici di questa tecnica di stampaggio sono innanzitutto il risparmio di materiale (eliminazione della/e materozza/e), la miglior gestione delle pressioni nello stampo e la flessibilità costruttiva.

Di contro si assiste ad una manutenzione più elevata necessaria per mantenere il sistema efficiente, ed a una notevole complessità generale della attrezzatura.

Lo svantaggio principale è il costo, mediamente una camera calda con ugelli puntiformi per uno stampo a due figure con gate compreso tra 0,8 mm e 1,5 mm può raggiungere le migliaia di euro, questo ne giustifica l'acquisto per produzioni continuative e di massa come per l'industria del packaging (stampi Stack) o per l'Automotive, il fatto poi di poter eliminare quasi totalmente la materozza può portare ad un cost breakdown decisamente favorevole per tale soluzione tecnica.

## 4 CONTROLLO DELLO STAMPO

In fase di avvio di una nuova produzione con un nuovo stampo è necessario effettuare il collaudo dimensionale e funzionale dello stampo.

Il controllo dimensionale ha lo scopo di verificare che tutti i componenti siano stati costruiti secondo le specifiche di progetto; il controllo della funzionalità tende a verificare che tutte le parti funzionino correttamente come progettato e principalmente come necessario per produrre le parti volute.

Concentriamoci, adesso, sui controlli dimensionali.

### 4.1 OBIETTIVO

Effettuare l'analisi dimensionale delle quote più importanti dello stampo per verificare che:

- Le cavità siano fra di loro statisticamente uguali;
- Le cavità siano dimensionate secondo le specifiche del progetto della parte.

### 4.2 QUANDO FARE IL CONTROLLO

Il momento di effettuazione della misura dipende dall'accessibilità alla parte e dal fatto che la parte possa o non possa essere misurata senza essere assemblata.

### 4.3 CHI DEVE CONTROLLARE LO STAMPO

Lo stampista deve controllare lo stampo da un punto di vista dimensionale e funzionale per assicurarne la qualità nell'intero ciclo produttivo.

Lo stampista deve dare evidenza delle misure effettuate.

### 4.4 ATTREZZATURE NECESSARIE

Opportune attrezzature di misura simili a quelle che si utilizzeranno per la misurazione della parte.

La precisione e l'accuratezza dello strumento deve essere scelta in funzione della tolleranza della misura che si vuole controllare.

Ad esempio se la mia tolleranza è di  $\pm 1\text{mm}$ , lo strumento deve restituire una misura con la definizione di

$\pm 0,1\text{ mm}$ .

#### 4.5 DESCRIZIONE

La maggiore difficoltà del controllo dimensionale dei pezzi in plastica è dovuta al fatto che si ritirano passando dallo stato fuso a quello solido.

Pertanto la dimensione delle cavità dello stampo sarà sempre più grande di quella della parte che vogliamo ottenere.

Il controllo dimensionale è, poi, complicato dal fatto che:

- Il ritiro dipende dal materiale;
- Il ritiro dipende dalle condizioni del processo;
- Il ritiro non è uniforme in tutte le direzioni;
- Il ritiro dipende dalla posizione del punto di iniezione;
- Il ritiro continua per molte ore dopo che la parte ha lasciato lo stampo.

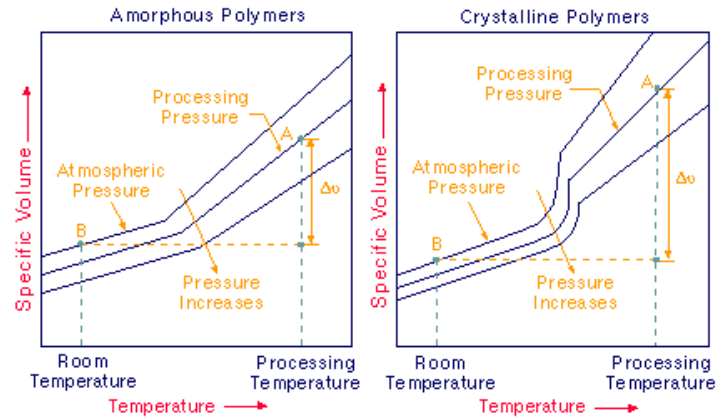


Figura 4-1 variazione di volume di polimeri amorfi e cristallini alle diverse temperature dello stampo

Pertanto, la dimensione finale della parte dipende:

- Dalla dimensione e della forma dello stampo, dalla dimensione e forma della colata e dal punto di iniezione che influenza il ritiro e il comportamento reologico del fuso;
- Dai parametri di processo che influenzano il ritiro ed il comportamento reologico del fuso;
- Dal tipo di polimero e dal suo comportamento reologico che è influenzato dalla geometria dello stampo e dalle condizioni del processo.

Sfortunatamente, questi tre fattori sono inter-correlati.

Infatti, i parametri di processo influenzano notevolmente il ritiro del materiale.

I parametri di processo dipendono dalla forma dello stampo, in quanto temperature, pressioni, tempi di iniezione e raffreddamento sono regolati in funzione della geometria che deve essere attraversata dal fuso; il comportamento reologico del fuso dipende dalla geometria, forma e condizioni dello stampo.

Tutto ciò inoltre dal fatto che tutti i tre fattori possono variare nel tempo:

- Stampo: varia per sporramento ed usura;
- Processo: varia per le oscillazioni dei parametri di processo;
- Polimero: variazioni da lotto a lotto.

Il problema si complica ulteriormente nei sistemi multicavità, dove la parte viene prodotta, in parallelo, da più cavità.

Infatti, in tal caso i fattori che influenzano la dimensione della parte sono diversi da cavità.

- N-stampi mono-cavità;
- N-micro-processi locali;
- N-materiali (da intendersi come n-comportamenti reologici del fuso).

Quanto esposto è dovuto al fatto che:

- Ogni cavità proviene da un processo costruttivo caratterizzato da una sua propria variabilità naturale ed accidentale;
- Le condizioni di processo (temperatura, pressione, portata) che si realizzano nelle varie parti dello stampo non sono uniformi;
- Il materiale subisce condizioni di processo diverse nelle varie zone dello stampo della colata, de punti di iniezione e dello stampo, assumendo un diverso comportamento reologico.

Ovviamente tutti questi parametri possono subire una variazione nel tempo.

Per i motivi sopra esposti, il controllo dimensionale del metallo della cavità non può sostituire in alcun modo il controllo dimensionale della parte e del processo.

È, però, condizione necessaria per semplificare l'analisi e l'eliminazione delle cause di variabilità nel controllo di processo dello stampaggio.

## 4.6 COSA PUO' DIRCI IL CONTROLLO DIMENSIONALE DELLO STAMPO

Il controllo dimensionale dello stampo e delle singole cavità:

- Permette di comparare le cavità dello stampo in maniera relativa l'una rispetto all'altra;
- Permette di segnalare eventuali variazioni non naturali del processo di costruzione.

## 4.7 COSA NON PUO' DIRCI IL CONTROLLO DIMENSIONALE

Il controllo dimensionale non può dirci se:

- La dimensione di ciascun pezzo sarà quella corretta;
- Tutte le cavità produrranno pezzi statisticamente uguali nello stesso istante e nel tempo.

## 4.8 PROCEDURA

1. Definire le quote più importanti per il controllo della parte;
2. Definire le quote dello stampo corrispondenti a quelle scelte per il controllo della parte;
3. Misurare 5 volte tutte le quote critiche della cavità dello stampo;
4. Comparare fra loro le quote rilevate nelle varie cavità;
5. Analisi dei dati.

## 4.9 ANALISI DEI DATI

I dati relativi alla misurazione effettuate devono essere analizzati con lo stesso metodo statistico che si utilizzerà per l'analisi comparativa delle parti prodotte dalle diverse cavità.

I metodi statistici più adatti sono:

- Carte di controllo;
- Analisi delle medie;
- Analisi della varianza.

## 5 PRIMA FASE DEL MIO LAVORO

Come ho già spiegato nell'introduzione, la prima parte del mio lavoro è stata quella di trascrivere tutte le informazioni sui pezzi e sugli stampi con cui vengono prodotti, scritte nei CBD (cost break-down), in un unico file.

Il file era già stato creato precedentemente, ma io ho trascritto la maggior parte dei CBD, all'incirca 200.

Gli articoli potevano essere ottenuti tramite la tranciatura fine, la tranciatura a passo, e lo stampaggio ad iniezione; lo stampaggio ad iniezione poteva essere bi-materia o mono-materia, ovvero il pezzo poteva essere composto da uno o due materiali plastici.

Nel compilare questo "database" ho dovuto consultare più file oltre al CBD, poiché delle informazioni mancavano.

Le informazioni da riportare erano:

- Il codice del componente;
- Il tipo di stampo;
- L'eventuale sovrastampaggio;
- Il nome completo del componente;
- Il fornitore del CBD;
- Il fornitore;
- Il cespite di riferimento che corrisponde al codice dello stampo;
- Il numero di cavità dello stampo con cui viene prodotto quel componente;
- Il tonnellaggio della pressa;
- Le dimensioni;
- Peso pezzo;
- Peso stampo;
- Volume pezzo;
- Materiale pezzo;
- Tempo ciclo;
- L'eventuale presenza della camera calda (hot runner);
- Il numero di ugelli della camera calda;
- Il numero di movimenti;
- Data.

Dopo queste vi erano altre informazioni da inserire, tutti i costi dei materiali e i costi delle lavorazioni.

CODICE [#]	B7370		B7382	
TIPO STAMPO	I_MONOMAT		I_MONOMAT	
SOVRASTAMPAGGIO	N			
PRODOTTO	INSERIMENTO PER PIVOT		VITE MOTORE	
FAM. CEBI			AFFA	
PF	INSERTION HELIX			
DESCRIZIONE			VITE SENZA FINE MOTORE	
FORNITORE CBD	EUROTECNICA		EUROTECNICA	
FORNITORE	CEBI ANCONA			
CESPITE RIF	1A031287		1A031292	
CAVITA [#]	8		8	
COSTO RIF [€]				
PRESSA [T]	50		50	
DIMENSIONI [cmxcmxcm]	246 x 346		246x346	
PESO STAMPO [kg]				
PESO PEZZO [g]	0,55		0,12	
VOLUME PEZZO [cm^3]	0,591		0,1168	
MATERIALE PEZZO	POM DELRIN 100		PBT GF30	
TEMPO CICLO [s]	38		38	
CAMERA CALDA	SI		SI	
# UGELLI				
# MOVIMENTI				
DATA	11/06/2020		18/10/2019	
DISEGNO				
	QUANTITA	COSTO [€]	QUANTITA	COSTO [€]
GUIDE				
PROVA				€ 100,00

Figura 5-1 Immagine del file che ho compilato

## 6 FORMULA MODELLO

Dopo aver fatto questo lavoro, mi sono concentrata sugli stampi ad iniezione per gli articoli mono-materia.

Il mio obiettivo è quello di costruire un modello per preventivare il costo di uno stampo date certe caratteristiche.

Il primo passo è stato comprendere quali fossero gli aspetti che incidessero sul costo dello stampo.

Ho iniziato suddividendo lo stampo nelle sue componenti:

- Materiale stampo;
- Costo delle attrezzature;
- Camera calda.

A sua volta il materiale stampo va suddiviso in:

- Materiale portastampo;
- Materiale matrici.

Per trovare un'idea dal quale partire, ho ricercato se c'erano studi in merito ed ho trovato una ricerca molto interessante.

L'Indian Institute of Technology ha fatto uno studio sui modelli di costificazione dei processi fusori per gravità.

### 6.1 MODELLO DEI COSTI SVILUPPATO DALL'INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Il modello sviluppato dall'Indian Institute of Technology tenta di stimare i costi preventivi consentendo di valutare diverse alternative di progetto per arrivare a quella più economica e, poiché il costo totale dipende dal processo di lavorazione e anche da parametri legati al tempo e alla complessità, il modello del costo deve prendere in considerazione tutti questi aspetti.

Per quanto riguarda la stima dei costi preventiva dei getti c'è poca letteratura pubblicata. Per colmare questa lacuna, è stato sviluppato un modello matematico accompagnato da un database di materiali e fattori di processo con relativi costi a carico degli utenti, cercando di ridurre al minimo i dati in ingresso.

L'obiettivo è quello di consentire ai progettisti di stimare i costi di fusione con precisione, anche con una conoscenza limitata del processo.

L'elaborato si concentra sulla stima dei costi dei componenti con getto in sabbia (sia ferrosi che non ferrosi), che costituiscono oltre il 75% della produzione in fonderia di tutto il mondo, anche se hanno ricevuto finora la minima attenzione da parte dei ricercatori.



In letteratura approcci ed esempi di stima dei costi sono stati fatti per *stampi ad iniezione e dischi per freni (Cavaliere, 2004)*.

Tuttavia, ben poco è stato riportato sulla stima dei costi per fusioni con colata in sabbia che rappresentano oltre il 75% della produzione di getti.

Gli elementi di costo principali di una colata, come materiali, attrezzature, manodopera, energia e spese generali sono state individuati dai ricercatori Chronister nel 1987 e Jain Kulkarni nel 1988.

È attribuibile un peso a tutti i fattori inerenti le spese (materiali, energia, lavoro, ecc).

Nella pratica, molte fonderie non sono ancora in grado di stimare i costi base come il peso dei componenti in maniera corretta.

Basandosi sui dati attribuibili ai materiali si può calcolare il tasso medio di getti per kg, che viene poi utilizzato per il calcolo del costo dei getti nuovi in base al loro peso.

Il metodo ha successo per la produzione di massa in fonderie dove si eseguono principalmente colate di caratteristiche simili, ma non è adatto per tipi di fonderie che hanno una vasta gamma di prodotti.

Il costo delle attrezzature è una parte significativa del costo di lancio, specialmente quando le dimensioni dell'ordine sono basse.

Tra gli altri fattori, il costo delle attrezzature è legato alla geometria dei prodotti (complessità del prodotto), ai materiali dell'attrezzatura stessa e dalla quantità dell'ordine.

### 6.1.1 METODOLOGIA DI STIMA DEL COSTO

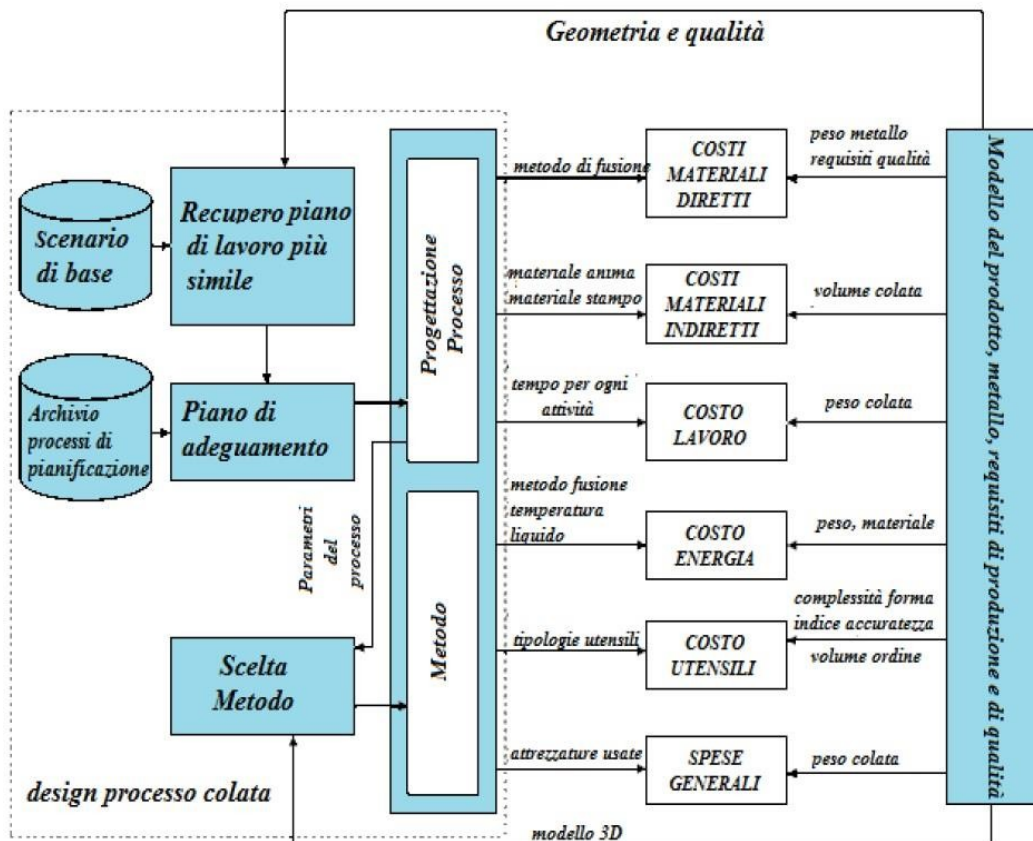


Figura 6-1 architettura generale del sistema di stima dei costi

Input dell'utente: comprende solo il modello solido, il materiale di colata, gli attributi di qualità (dimensione massima del vuoto, finitura superficiale, tolleranze dimensionali) e le esigenze di produzione (tasso di produzione, quantità dell'ordine, tempo di campionamento e lead time di produzione).

Il modello è utilizzato per il calcolo automatico delle caratteristiche geometriche, come il volume di colata e il peso, lo spessore minimo, la massima sezione e la complessità della forma.

Il processo di pianificazione si occupa di decisioni relative ai metodi, attrezzature, tempo richiesto, utensili e parametri di tipo e di processo (ad esempio il tipo di sabbia di base, la composizione sabbia, il tipo di fusione, il tempo di raffreddamento e i controlli di qualità). I principali elementi di costo per un processo di fusione sono materiali, manodopera, energia, attrezzature e spese generali.

Il costo totale di colata è dato dalla somma dei costi relativi al materiale, manodopera, energia, attrezzature e spese generali:

$$C_{colata} = C_{materiale} + C_{lavoro} + C_{energia} + C_{attrezzature} + C_{spese\ generali}$$

Il costo dei materiali viene diviso in materiali diretti e indiretti:

I materiali diretti (principalmente metalli o leghe) sono i quelli visibili nel prodotto finale

I materiali indiretti sono fondamentali per la realizzazione del prodotto, ma non sono inclusi nel prodotto finale (sabbia, nuclei superflui, manicotti, ecc).

La quantità effettiva di metallo consumata è maggiore del peso dei getti prodotti, a causa delle perdite durante la fusione, la colata e la sbavatura (l'equazione dei costi pertanto dovrà includere tali fattori).

Il costo del materiale è dato come la somma dei costi dei materiali diretta e indiretta:

$$C_{materiale} = C_{diretto} + C_{indiretto}$$

Il costo diretto in letteratura viene chiamato per semplificare il concetto "costo del metallo", mentre i costi indiretti corrispondono ai costi dell'anima e della forma.

### 6.1.2 COSTO MATERIALE DIRETTO

Il costo del materiale diretto è dato dal prodotto tra il peso del getto e il costo del metallo al chilo con alcuni fattori correttivi che tengono conto delle perdite del metallo nelle varie fasi:

$$C_{diretto} = C_{unit\grave{a}\ materiale} W_{metallo} f_m f_p f_r$$

dove

$$C_{unit\grave{a}\ materiale} = \text{costo del metallo in } \frac{\text{€}}{\text{kg}}$$

$$W_{metallo} = \text{peso del getto}$$

$$f_m = \text{fattore di perdita del metallo}$$

$$f_p = \text{fattore di perdita del metallo in colata}$$

$$f_r = \text{fattore di perdita del metallo in smaterozzatura}$$

I fattori di perdita sono stati determinati sulla base della letteratura in materia

(Beeley 1972):

Forno	Fattore di perdita del metallo in fusione	Fattore di efficienza del forno
Forno a cupola	1.05-1.12	3.0-3.5
Forno ad induzione	1.01-1.04	1.4-2.0
Forno elettrico ad arco	1.02-1.07	2.0-2.5
Forno a combustione Olio/gas	1.05-1.10	3.25-3.5

Figura 6-2 fattore di perdita e fattore di efficienza per diverse tipologie di forno

### 6.1.3 COSTO MATERIALE INDIRETTO

I materiali indiretti dipendono dal tipo di processo: la sabbia per la formatura e la formatura stessa costituiscono i costi principali dei materiali indiretti.

Il costo di formatura dipende dal tipo di sabbia (silice, olivina, zirconio, silicato di sodio, ecc), composizione (quantità di legante), dimensioni e layout.

Vengono considerati inoltre nell'equazione gli scarti dello stampo e dell'anima, gli scarti di fusione e il recupero della sabbia.

A seconda dell'uso di manicotti isolanti è aggiunto un addendo che verrà chiamato "materiale misto".

Il costo totale sarà dato dalla formula:

$$C_{indiretto} = C_{stampo\ in\ sabbia} + C_{anima\ in\ sabbia} + C_{materiale\ misto}$$

### 6.1.4 COSTO DEL LAVORO

Il costo del lavoro è in funzione delle attrezzature, della manodopera e del tempo richiesto per le varie attività di produzione dei getti.

I tempi delle operazioni di fusione per componente, preparazione sabbia e formatura, vengono calcolati in base al peso di colata, al peso dell'anima, al peso dello stampo e al numero di getti.

Il costo del lavoro sarà dato dalla formula:

$$C_{lavoro} = f_r \left( \sum_{act=1}^n f_{scarto\ operazione} C_{unità\ lavoro} l_{operazione} t_{operazione} \right)$$

### 6.1.5 COSTO DELL'ENERGIA

La fusione dei metalli è un processo ad alta intensità energetica, e la fusione del metallo costituisce il più importante fattore nel costo energetico.

L'energia necessaria per la fusione è stimata utilizzando un'equazione termodinamica, incorporando le relative efficienze, perdite e rendimenti dei forni.

Altre attività ad alta intensità energetica sono la realizzazione degli stampi, la pulizia e la sbavatura.

Il costo dell'energia sarà dato dalla somma dei costi di fusione più la voce "altra energia":

$$C_{energia} = C_{fusione} + C_{altra\ energia}$$

Il costo dell'altra energia viene assegnato in base al peso del getto.

Il tasso di assegnazione è calcolato dividendo i costi energetici per un periodo di tempo per il peso totale dei getti realizzati nel corso di tale periodo.

### 6.1.6 COSTO DI LAVORAZIONE DELLE ATTREZZATURE

I costi di lavorazione delle attrezzature sono i costi per la realizzazione di stampi (se in conchiglia), modelli e placche modello e casse d'anima.

Sono quindi costi fissi che non dipendono dal processo fusorio in quanto si sostengono all'avvio e vengono ammortizzati durante la produzione e sono costi che la fonderia sostiene pagando direttamente una modelleria che realizza le attrezzature di colata.

Il costo delle attrezzature è difficile da stimare, in quanto il prodotto in fase di progettazione non è ancora sviluppato e non si è delineato in maniera dettagliata il piano di lavoro.

Per tale stima è auspicabile una metodologia parametrica guidata da parametri relativi alla geometria del prodotto, al materiale, e alla qualità e quantità dell'ordine.

La metodologia può dare risultati abbastanza precisi con dati relativi ai costi del passato utilizzati per derivare le equazioni parametriche.

I principali fattori che influenzano il costo di attrezzaggio sono stati identificati nel materiale degli utensili, nelle dimensioni, nell'accuratezza e nella complessità della forma.

Il materiale degli utensili (legno, alluminio, ghisa, acciaio, ecc) è di solito selezionato in base alla quantità dell'ordine.

L'equazione dà il costo relativo di attrezzaggio di forme diverse, ma dello stesso materiale. Questo viene moltiplicato per un indice di costo per dare il costo effettivo, tenendo conto variazioni tra produttori e paesi (valuta), e diviso per l'ordine quantità per ottenere il costo ammortizzato di utensili (per fusione).

L'indice di costo utilizzato nella presente formulazione è pari a 1000 (per la valuta in INR).

La complessità della forma di un componente è di solito descritta in termini qualitativi come bassa, media, alta e molto elevata.

Elementi geometrici con caratteristiche interne come fori e tasche, e caratteristiche esterne come protuberanze e variazione di spessore della parete risultato di complessità di forma maggiore.

Un'elevata complessità della forma influisce sulla qualità e produttività del prodotto, con costi maggiori di attrezzaggio, materiali, processi, e spese generali.

Il costo delle attrezzature può essere un buon indicatore della complessità forma, ma richiede una stima abbastanza precisa in una fase iniziale del ciclo di vita del prodotto. Questo non è facile, poiché dipende dal processo di pianificazione dettagliata della fabbricazione di utensili e ai costi globali, che sono non realizzabile nelle prime fasi di progettazione del prodotto.

Il costo di attrezzaggio degli utensili sarà dato dalla formula:

$$C_{attrezzaggio\ utensile} = e^{(0.629V_{getto} + 0.048C_{ac} + 0.023C_s + 0.739)}$$

dove

$C_{attrezzaggio\ utensile}$  = costo di attrezzaggio per utensili in ghisa

$V_{getto}$  = volume getto in  $m^3$

$C_{ac}$  = indice di precisione o accuratezza (1: 100)

$C_s$  = complessità forma del getto

Tale equazione fornisce il costo relativo di utensili di forme diverse, ma per lo stesso materiale.

Dividendo per la quantità dell'ordine si può ottenere il costo ammortizzato degli utensili (per fusione):

$$C_{utensile} = \frac{C_{indice} C_{attrezzature}}{Q}$$

dove

$C_{indice}$

= indice che tiene conto di variazioni del produttore, valuta e tempo

$Q$  = quantità dell'ordine

I dati dei costi successivi hanno come valuta la Rupia Indiana, ai fini operativi è stato applicato in seguito il cambio valuta per trovare una stima media in Euro.

Il cambio valuta attuale è:  $1 \text{ Rupia} = 0,0136 \text{ Euro}$

Per un dato materiale di utensili (in questo caso, ghisa), l'equazione del costo è stato sviluppata attraverso l'analisi di regressione utilizzando i dati raccolti:

Componente	Volume getto ( $dm^3$ )	Indice accuratezza $C_{ac}$	Complessità forma $C_s$
Cubo	1.00	5	6.0
Sfera	1.20	10	10.0
Cubo con foro	1.50	20	12.0
Supporto	0.93	25	25.0
Puleggia	4.80	30	20.0
Aletta	0.10	40	27.5
Giuntura	0.10	40	48.0
Valvola a sfera	0.98	50	32.5
Involucro differenziale	0.56	40	55.0
Auto cilindro	0.61	50	42.0
Valvola a globo	10.10	80	35.0
Sollevatore idr	40.10	80	80.0
Blocco motore	46.94	90	92.0

Tabella 1 dati complessità forma per utensili in ghisa formulati per regressione

La determinazione della complessità dell'oggetto è sicuramente la fase più delicata e importante per il giusto ottenimento di una stima appropriata.

In aiuto per tali difficoltà è stato analizzato il metodo CBR (Case based reasoning).

Il metodo CBR è un metodo di ragionamento analogico, che usa in parte problemi già risolti o esperienze passate per problemi attuali irrisolti.

I passaggi logici di tale metodo sono sintetizzabili in 3 punti:

1. Memorizzare casi precedenti come casi base
2. Recupero di un caso analogo precedente basato su una serie di caratteristiche del prodotto
3. Adeguamento della soluzione (piano di lavoro) di un caso precedente al nuovo caso

La metodologia CBR è diventata popolare negli ultimi anni, a causa di una serie di vantaggi in gioco, come trovare le soluzioni a problemi complessi in modo rapido.

Il successo di un sistema CBR dipende dalla sua capacità di recuperare il caso più pertinente a sostegno della soluzione di un nuovo caso.

L'algoritmo di recupero del caso più vicino funziona specificando i valori e i pesi degli attributi:

$$\text{sim} ( T, S ) = \sum_{i=1}^n f(T_i, S_i) w_i$$

f = funzione per determinare distanza tra gli attributi dei casi target e del caso sorgente

n = numero di attributi in ogni caso

i = attributo individuale

w = peso dell'attributo

Il metodo comprende le seguenti fasi, illustrate in figura:

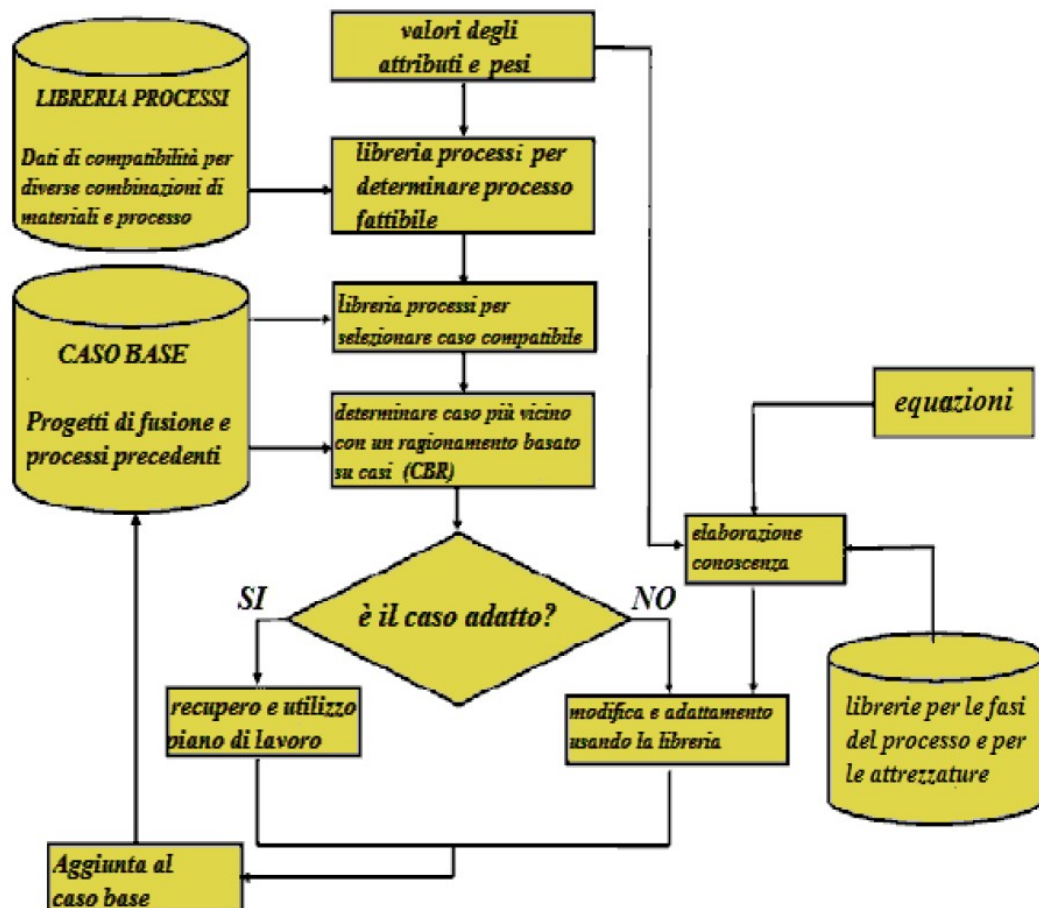


Figura 6-3 metodologia per la pianificazione per il processo fusorio

- Identificare degli attributi di un getto per il recupero caso
- Determinazione dei pesi degli attributi utilizzando processo analitico
- Specifica dei valori degli attributi
- Recupero di uno o più casi simili dal caso base
- Adattamento del caso selezionato per gestire il nuovo problema e successiva conservazione del caso adattato per usi futuri.



Sono stati identificati quindici attributi dei getti per il processo di pianificazione di fusione:

1. materiale di colata
2. dimensioni massime del getto
3. peso del getto
4. spessore massimo della sezione
5. spessore minimo della sezione
6. dimensioni minime dell'anima
7. dimensioni massime dell'anima
8. complessità forma
9. tolleranze dimensionali
10. finitura superficiale
11. dimensioni massime del vuoto
12. quantità dell'ordine
13. tasso di produzione
14. lead time di campionamento
15. lead time di produzione

Per calcolare i pesi degli attributi, è stato impiegato il metodo AHP (Analytic Hierarchy Process).

Questa metodologia AHP comporta lo sviluppo di una struttura gerarchica del problema decisionale attraverso l'uso di attributi che verranno confrontati a coppie, verificando la coerenza dei confronti, e calcolando i pesi in base alle priorità relative.

Tutti gli attributi (ad eccezione di fusione materiale) sono strutturati in una forma gerarchica come attributi geometrici, attributi di qualità e attributi di produzione:

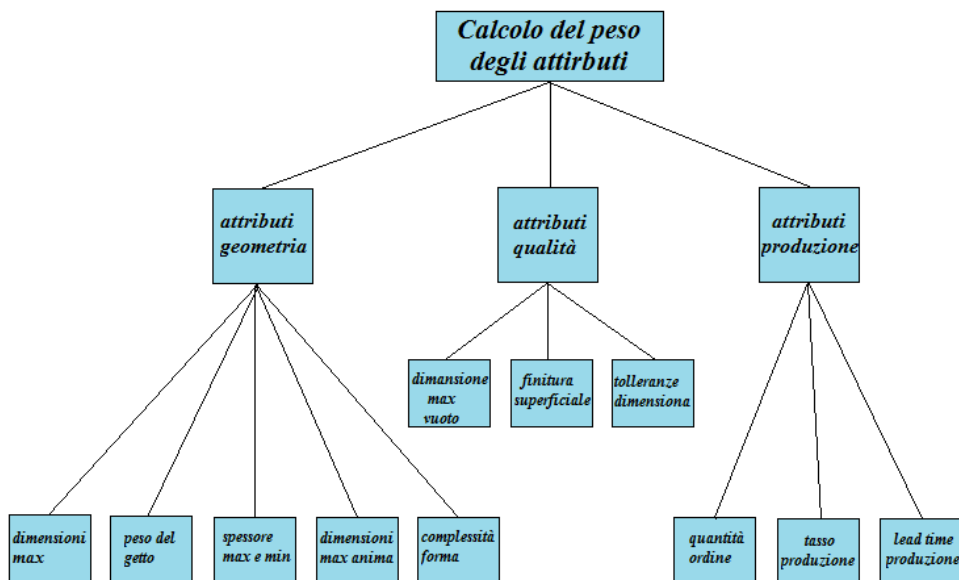


Figura 6-4 gerarchia AHP per determinare i pesi degli attributi

Lo scopo dei pesi degli attributi è quello di esprimere l'importanza di ogni attributo rispetto agli altri nel recupero del caso più appropriato.

Il metodo AHP prevede la costruzione di una matrice quadrata in cui sono confrontati l'insieme di attributi a coppie e pesi  $w_1, w_2, \dots, w_n$  associato a ciascun attributo sono calcolati media geometrica.

La somma dei pesi dei singoli attributi di un particolare gruppo è normalizzata a uno.

Il peso complessivo di un attributo particolare è uguale al prodotto del proprio peso e il peso del gruppo di attributi di appartenenza.

La complessità della forma, che svolge un ruolo importante nel processo di pianificazione, è difficile da esprimere numericamente.

In realtà, sembra che vi sia una definizione quantificabile per la complessità della forma nella letteratura tecnica.

La complessità è espressa su una scala da 0 a 100 in cui i valori più bassi sono forme semplici, mentre valori più alti rappresentano forme complesse.

Ovviamente per ottenere tale stima si parte dall'analisi del modello 3D del getto.

A questo scopo, un'equazione per calcolare la complessità della forma in termini di superficie e numero di anime è stato sviluppato utilizzando l'analisi di regressione.

L'equazione proposta è la seguente:

$$C_s = \alpha_0 + \alpha_1 C_a + \alpha_2 C_c$$

dove

$C_s$  = indice complessità

$\alpha_i$  = coefficienti regressione

$C_a$  = rapporto area =  $100 \left( 1 - \left( \frac{\text{superficie di un cubo di volume uguale}}{\text{superficie del solido}} \right) \right)$

$C_c$  = fattore complessità anima =  $100 \left[ 1 - \left( \frac{1}{\sqrt{1+n}} \right) \right]$

N = numero anime

La procedura è stata adattata successivamente per lo sviluppo di una equazione percorrendo queste fasi:

- Selezione di un insieme di componenti con forme semplice e complesse
- Per ciascun componente è stata determinata la complessità relativa della forma tramite confronto con metodo AHP
- Il valore del rapporto superficie ( $C_a$ ) per ogni componente è stato determinato dal modello solido. Il fattore di complessità nucleo ( $C_c$ ) è stato determinato in base al numero di anime.
- Dai valori sopra, l'equazione per la complessità della forma è stata sviluppata come:

$$C_s = 0.3C_a + 0.8C_c - 14$$

In questo modo la formula della complessità della forma è stata espressa semplicemente in termini di rapporto di area.

L'indice di accuratezza è stato assegnato con una scala da 1 a 100 scala a seconda dell'applicazione.

Per getti come ad esempio blocchi motore e valvole si richiede un di indice di accuratezza alto, mentre per getti come staffe si richiede un valore più basso.

Per determinare la complessità della forma per un nuovo componente, i valori di  $C_a$  e  $C_c$  sono determinati usando il modello 3D e poi per il calcolo della complessità viene usata l'equazione appena descritta.

Riguardo alla complessità della forma e ai costi delle attrezzature la letteratura propone un altro modello più dettagliato che definisce il fattore in base a sei parametri geometrici che comprendono il numero di numero delle anime, il rapporto di volume di superficie , il volume di delle anime, lo spessore della sezione e la draw distance.

Tali coefficienti vengono calcolati per regressione partendo dalla complessità reale della forma, e definendoli come costi aggiuntivi rispetto alle attrezzature di una forma semplice come un cubo.

La regressione è stata effettuata utilizzando i modelli CAD di quaranta getti industriali di varie forme.

I parametri geometrici sono impostati per avere un valore compreso tra 0 e 1, dove i valori più alti indicano una maggiore complessità.

Di seguito analizzeremo singolarmente tutti i sei parametri:

- *Rapporto del volume del pezzo  $C_{PR}$*

è dato dal rapporto tra il volume del pezzo e il volume del riquadro di delimitazione. Il riquadro è dato dalla lunghezza, larghezza e altezza massime della geometria del pezzo. Quando il volume del pezzo è simile al suo rettangolo di selezione, è necessaria una minore rimozione del materiale, con una conseguente riduzione dei costi di lavorazione. Al contrario, una maggiore differenza tra i volumi comporta un elevato costo di produzione.

Questo criterio è definito come:

$$C_{PR} = 1 - \frac{V_p}{V_b}$$

dove

$V_p$  = *volume del pezzo*

$V_b$  = *volume del rettangolo di selezione*

- *Rapporto dell'area*  $C_{AR}$

è il rapporto tra la superficie di una sfera equivalente (con lo stesso volume del pezzo) e la superficie del pezzo.

Questo rapporto si basa sul fatto che la sfera ha superficie minima rispetto a qualsiasi altra geometria. Più alto sarà il rapporto e più alto sarà il costo. Questo criterio è definito come:

$$C_{AR} = 1 - \frac{A_S}{A_P}$$

Dove

$A_P =$  superficie del pezzo

$V_P =$  volume del pezzo

$A_S =$  area della sfera con un volume uguale al pezzo

$$A_S = \sqrt[3]{(4\pi)} * \sqrt[3]{(3V_P)^2}$$

- *Numero di anime*  $C_{NC}$

Le anime sono degli oggetti che servono per ottenere dei fori nella fusione, cioè delle parti che non devono venir riempite dal metallo liquido.

Tali cavità sono realizzabili facilmente nel caso di un rapporto tra diametro e lunghezza del foro non eccessivamente basso, pena la rottura dell'anima durante la colata.

Più alto sarà il numero di anime, più alto sarà il costo di attrezzaggio.

Il criterio del numero di anime è definito come segue, considerando che il tasso di aumento della complessità della forma aumenta con il numero di anime:

$$C_{NC} = 1 - \frac{1}{\sqrt{(1 + N_C)}}$$

Dove

$N_C =$  numero di anime

- *Rapporto del volume dell'anima*  $C_{CR}$

Più grandi sono le anime e più grandi saranno i costi di attrezzaggio.

Quindi il rapporto tra il volume dell'anima e il volume del riquadro di delimitazione è incluso come un'altra misura di complessità:

$$C_{CR} = \sum_i \frac{V_{ci}}{V_b}$$

Dove

$V_{ci} =$  volume dell'anima  $i$  - esima  
 $V_b =$  volume del rettangolo di selezione

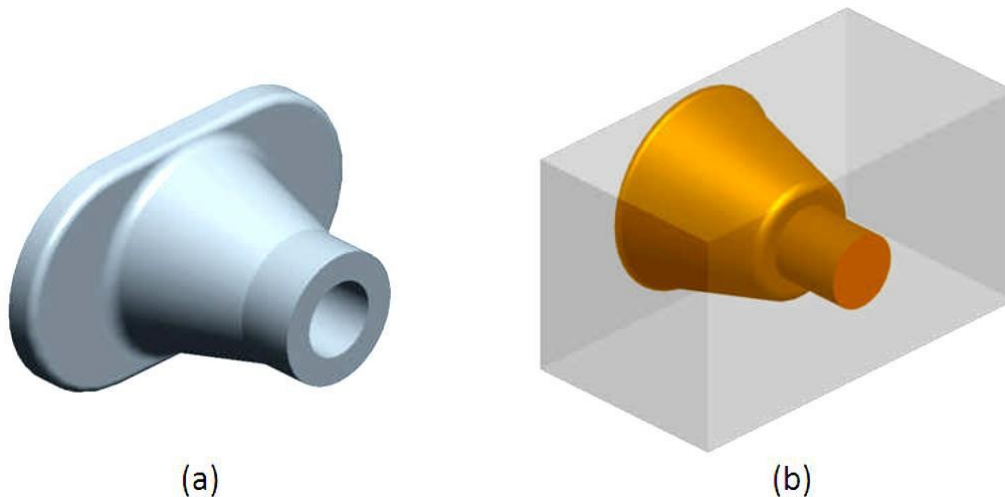


Figura 6-5 (a) pezzo, (b) anima e volume di delimitazione

- *Rapporto di spessore  $C_{TR}$*

$C_{TR}$  è il rapporto di spessore minimo e massimo della parte.  
Le sezioni sottili sono più difficili da lavorare rispetto a una sezione spessa.  
Questo criterio è definito come:

$$C_{TR} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

Dove

$T_{min}$  = spessore minimo del pezzo

$T_{max}$  = spessore massimo del pezzo

- *Rapporto di profondità  $C_{DR}$*

La draw distance, che è la profondità massima degli utensili, influisce sui tempi di produzione e quindi sul costo.

L'effettiva draw distance viene confrontata con la minima draw distance possibile, che è la metà della dimensione minima della parte.

Il criterio è progettato in modo che parti con rapporto di profondità superiore indichino maggiore complessità.

$$C_{DR} = 1 - \frac{0,5(\min(L, M, H))}{D_d}$$

Dove

L = lunghezza del pezzo

W = larghezza del pezzo

H = altezza del pezzo

$D_d$  = draw distance degli utensili

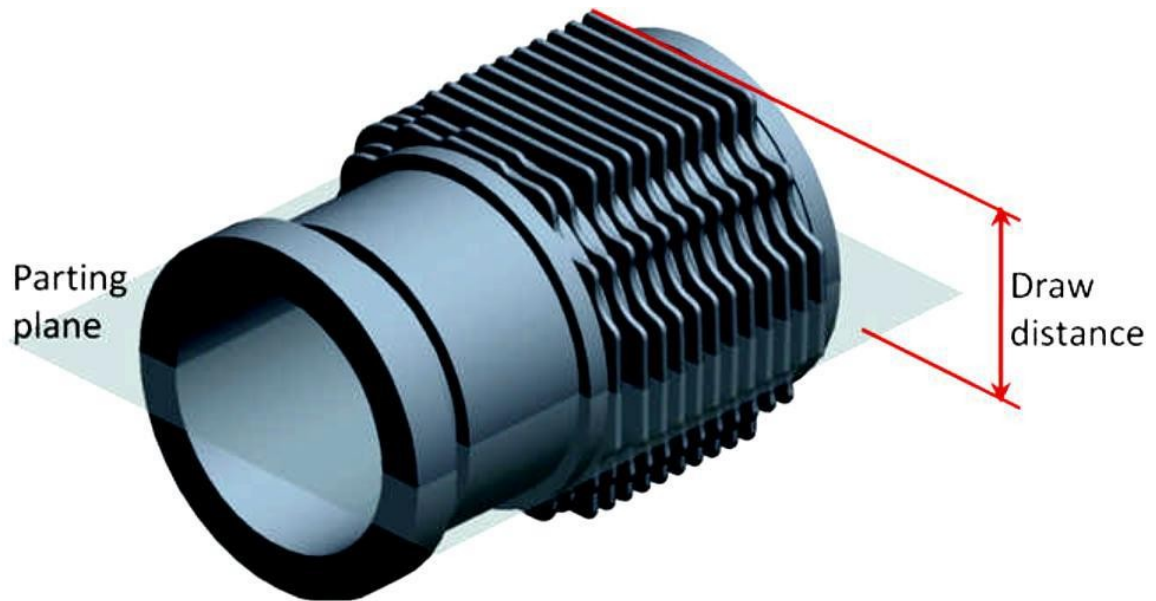


Figura 6-6 Draw distance rispetto al piano di divisione

Il fattore di complessità della forma complessiva può essere stimato dalla somma ponderata dei singoli criteri sopra descritti:

$$CF_{stimata} = w_0 + w_1 C_{PR} + w_2 C_{AR} + w_3 C_{NC} + w_4 C_{CR} + w_5 C_{TR} + w_6 C_{DR}$$

Il costo di attrezzaggio è solitamente maggiore per parti con maggiore complessità.

Per lavorazioni di una forma semplice, come un cubo, l'attrezzaggio e le lavorazioni con macchinari tradizionali sono a basso costo.

Se lo stesso volume deve essere rimosso per una forma complessa, può richiedere lavorazioni con macchine a controllo numerico con frese multiple, portando ad un costo molto elevato.

## 6.2 ADATTAMENTO MODELLO AL CASO

Questo modello era molto interessante anche se andava modificato poiché trattava di un processo industriale diverso dal mio oggetto di studio.

$$C_{stampo} = C_{materiale\ stampo} + e^{(0.629 * Volume\ oggetto\ stampato + 0.048 * C_{ac} + 0.023 * C_s + 0.739)} + C_{camera\ calda} + C_{matrice}$$

Questa è la formula che ho ipotizzato, in primo luogo approfondiremo la seconda parte della formula.

$$e^{(0.629 * Volume\ oggetto\ stampato + 0.048 * C_{ac} + 0.023 * C_s + 0.739)}$$

$C_{ac}$  = la precisione richiesta dal pezzo

$C_s$  = la complessità della forma del pezzo

Per quanto riguarda la complessità della forma va da 1 a 100 ma trattandosi di componenti per automobili la precisione richiesta è massima, quindi ho impostato questo parametro a 100 per tutti gli articoli.

La complessità della forma viene calcolata tramite regressione lineare, utilizzando la complessità della forma calcolata tramite metodo AHP, e si ottiene la formula:

$$CF = w_0 + w_1 * C_{PR} + w_2 * C_{AR} + w_3 * C_{NC} + w_4 * C_{CR} + w_5 * C_{TR} + w_6 * C_{DR}$$

Cosa sono questi parametri?

1. Rapporto del volume del pezzo  $C_{PR}$  che è dato dal rapporto tra il volume del pezzo e quello del parallelepipedo di selezione.
2. Rapporto dell'area  $C_{AR}$ , è il rapporto tra la superficie di una sfera con lo stesso volume del pezzo e la superficie del pezzo.
3.  $C_{NC}$  è il numero di movimenti, più alto sarà il numero di movimenti e più sarà alto il costo di attrezzaggio.
4. Rapporto del volume dell'anima  $C_{CR}$ , il rapporto tra il volume del movimento e quello del riquadro di delimitazione.
5.  $C_{TR}$  è il rapporto di spessore, è il rapporto tra lo spessore minimo e massimo della parte.
6.  $C_{DR}$  è il rapporto di profondità, draw distance, che è la profondità massima degli utensili.

Per calcolare questi parametri ho dovuto usare la piattaforma Catia, dati i disegni tridimensionali degli articoli.

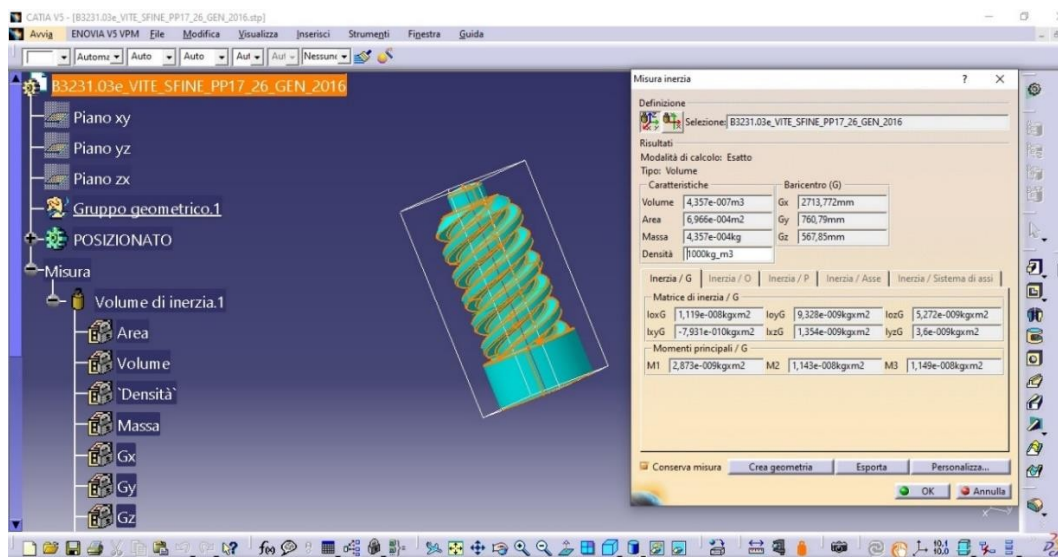


Figura 6-7 come ho calcolato il volume e l'area del pezzo

Dopo di che ho dovuto costruire il solido circoscritto al pezzo.



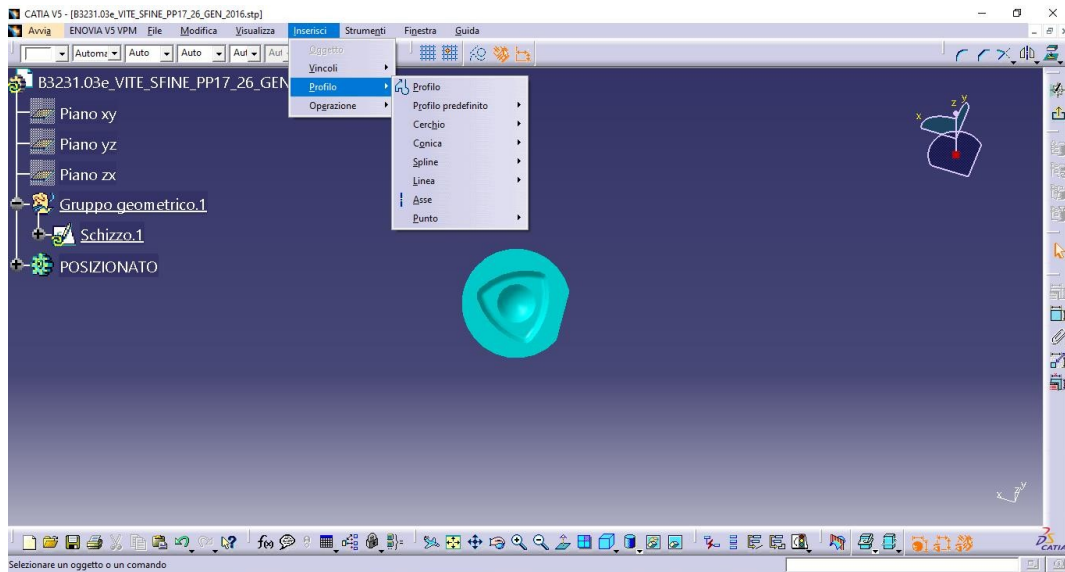


Figura 6-8 costruisco il parallelepipedo circoscritto al pezzo

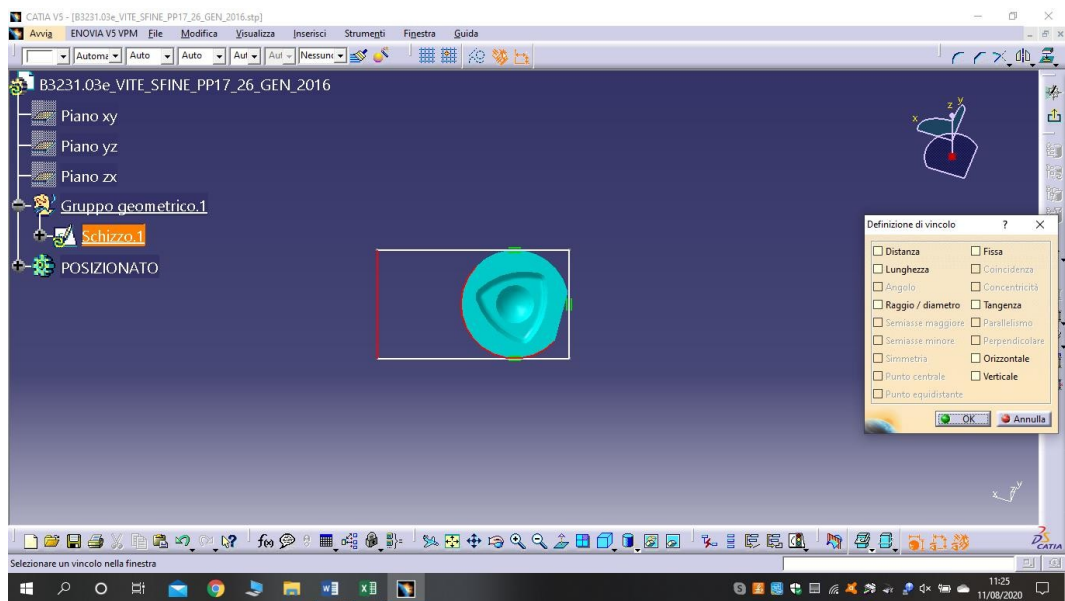


Figura 6-9 costruisco un rettangolo

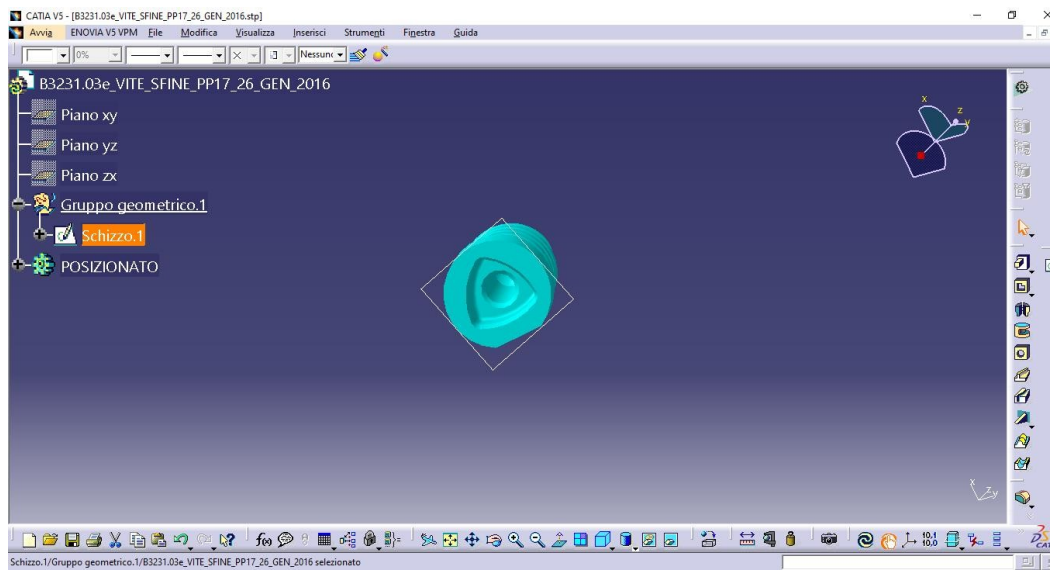


Figura 6-10 ho costruito il rettangolo

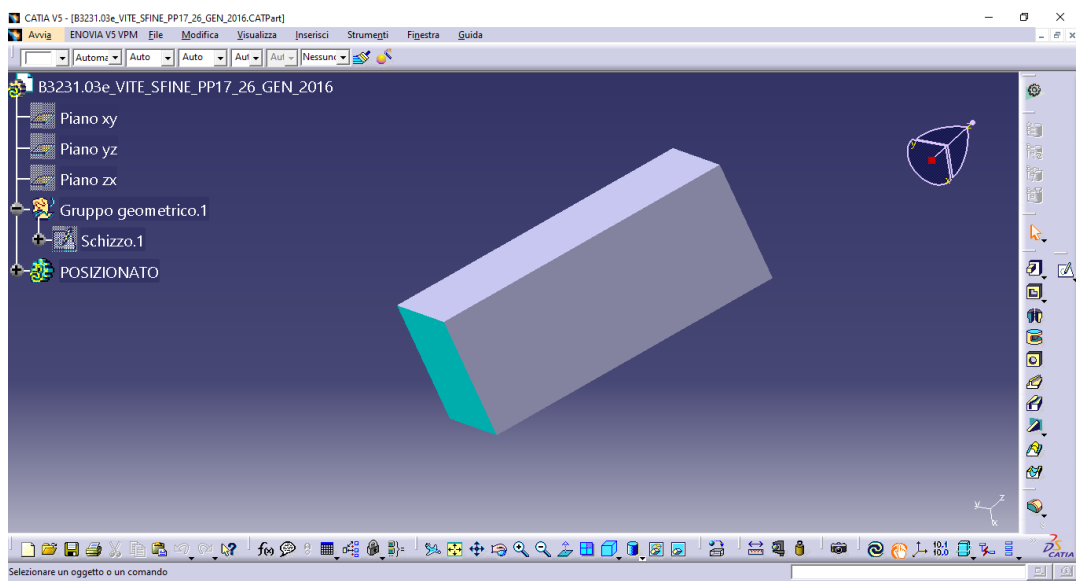


Figura 6-11 ho costruito il volume del solido circoscritto

Ho inserito tutte queste informazioni sui volumi e sulle aree in un file excel:

#CODICE	TIPO STAMPO	VOLUME PZ m³	VOLUME RIQ m³	AREA PZ m²	AREA SFERA m²
B3231.03	VITE SENZA FINE	4,357E-07	0,00001248	0,0006966	0,000277888
B5813.11	COVER	0,000009401	0,000148	0,012	0,002153741
B6165.02	ANTIFURTO	0,0000126	0,0002317	0,018	0,002618129
B6518.01	COPRISERRATURA	0,000408	0,000415	0,035	0,026598113
B7130.01	GUSCIO	0,00002347	0,0003029	0,029	0,003963566
B6789.30	COVER	0,000006647	0,00009567	0,011	0,001709338
B6792.30	VITE	2,106E-07	0,00000091	0,0004833	0,000171152
B6793.30	MADREVITE	5,212E-07	0,00002737	0,001	0,000313146
B7129.02	GUSCIO	0,0000358	0,0005197	0,044	0,005252097
B4408.07	GANCIO	0,000003463	0,00004405	0,003	0,00110674
B5503.20	CAMMA	3,235E-07	0,000002505	0,0006086	0,000227856
B5525.40	COVER	0,00000828	0,0001019	0,011	0,001978932
B6791.30	SALTARELLO	0,000001017	0,000004426	0,0009718	0,00048898
B7295	STAFFA	0,00007847	0,002	0,075	0,008862301
B7372.00	ANELLO ROTANTE	2,28261E-07	0,000001203	0,0004815	0,000180592
B7370	INSERIMENTO PIVOT	5,829E-07	0,000002628	0,0009765	0,000337396
B7371	ESPULSORE INTERNO	5,373E-07	0,00000228	0,0007599	0,000319562
B7373	COVER	0,000003545	0,00004526	0,007	0,001124143
B7379	CAMMA	0,000001104	0,000009412	0,002	0,000516484
B7382	VITE	1,133E-07	0,000000331	0,000336	0,000113213
B7383	MADREVITE	3,169E-07	0,000003682	0,0006066	0,000224746
B7384	CARRELLO CHIUSURA	6,648E-07	0,000003682	0,001	0,000368303
B6882.10	COVER	0,000009952	0,0000994	0,014	0,002237094

Figura 6-12 file excel dove ho inserito tutte le informazioni ottenute tramite Catia

Dopo aver inserito i dati ho creato delle formule per calcolare automaticamente i parametri geometrici per ogni codice:

#CODICE	TIPO STAMPO	CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR
B3231.03	VITE SENZA FINE	0,65088141	0,601080175	0	0	1	0,11835443
B5813.11	COVER	0,93647973	0,820521607	0,292893219	9459,459459	1	0,164300054
B6165.02	ANTIFURTO	0,945619335	0,854548376	0,292893219	1208,459215	1	0
B6518.01	COPRISERRATURA	0,01686747	0,240053917	0,292893219	4337,349398	1	0,597858498
B7130.01	GUSCIO	0,922515682	0,863325306	0	0	1	0
B6789.30	COVER	0,930521585	0,844605676	0,292893219	15678,89621	1	0,382201842
B6792.30	VITE	0,768571429	0,64586719	0	0	1,055555556	0
B6793.30	MADREVITE	0,809572525	0,686853914	0	0	1	0,289633194
B7129.02	GUSCIO	0,931114104	0,88063416	0	0	1,011736263	0,697183433
B4408.07	GANCIO	0,92138479	0,631086578	0,5	0	1	0,907071833
B5503.20	CAMMA	0,870858283	0,625606507	0	0	1	0,121349096
B5525.40	COVER	0,918743867	0,820097062	0,292893219	13248,28263	1	0,404454113
B6791.30	SALTARELLO	0,770221419	0,496830328	0,292893219	47446,90465	1	0,685746405
B7295	STAFFA	0,960765	0,88183599	0,292893219	2125	1	0,485757763
B7372.00	ANELLO ROTANTE	0,810256966	0,62493886	0	0	0,52	0
B7370	INSERIMENTO PER PIVOT	0,778196347	0,654484258	0,292893219	91324,20091	1	0,894053176
B7371	ESPULSORE INTERNO	0,764342105	0,57946821	0	526315,7895	1	0,0375
B7373	COVER	0,921674768	0,839408149	0,292893219	18780,38003	1	0,123999735
B7379	CAMMA	0,882702932	0,741758064	0,292893219	69060,77348	1	0,44289107
B7382	VITE	0,657703927	0,663055753	0,292893219	2779456,193	1	0,192622951
B7383	MADRE VITE	0,913932645	0,629498643	0,292893219	285171,1027	1	0,18636684
B7384	CARRELLO CHIUSURA	0,819445953	0,631697452	0,292893219	323193,9163	1	0
B6882.10	COVER	0,899879276	0,840207549	0,422649731	36720,32193	1	0

Figura 6-13 parametri per ogni codice

Abbiamo bisogno, però, di calcolare la complessità della forma dei codici per poter calcolare la complessità tramite la regressione lineare.

Come fare?

Utilizzerò la metodologia AHP.

### 6.3 ANALISI MULTICRITERIO

L'analisi multicriterio e il processo decisionale L'analisi multicriterio per scopo decisionale

(Multi Criteria Decision Analysis), è una disciplina orientata a supportare il decisore qualora si trovi a operare con valutazioni numerose e conflittuali, consentendo di ottenere una soluzione di compromesso in modo trasparente.

I metodi di analisi multicriterio supportano il decisore nella fase di organizzazione e sintesi di informazioni complesse e spesso di natura eterogenea.

Tale metodologia permette al decisore di analizzare e valutare diverse alternative, monitorandone l'impatto sui differenti attori del processo decisionale. Esistono vari metodi per l'analisi multicriterio e l'MCDA viene ormai utilizzata in vari campi applicativi, quali finanza, pianificazione, telecomunicazioni, ecologia ecc.

In linea di massima, l'MCDA viene utilizzata in tutti quei domini in cui non è possibile applicare direttamente un metodo di ottimizzazione, essendo presenti numerosi criteri di decisione.

Alcuni dei metodi MCDA più utilizzati sono: Analytical Hierarchy Process (AHP), Multi-Attribute Global Inference of Quality (MAGIQ), Goal Programming, ELECTRE (Outranking), PROMETHÉE (Outranking), Data Envelopment Analysis, The Evidential Reasoning Approach, Dominance-based Rough Set Approach (DRSA), Aggregated Indices Randomization Method (AIRM), ecc.

In particolare l'AHP consente di assegnare delle priorità ad una serie di alternative decisionali, mettendo in relazione valutazioni di tipo qualitativo e quantitativo, altrimenti non direttamente confrontabili, e combinando scale multidimensionali di misure in una singola scala di priorità.

A tale scopo, vengono di seguito illustrati i principi qualificanti le tecniche di analisi multicriterio ed il loro utilizzo a supporto dei processi decisionali.

Una decisione è la scelta di intraprendere un'azione, tra più alternative disponibili (opzioni), da parte di un individuo o di un gruppo (decisore).

Nel processo decisionale (decision making) si possono distinguere tre fasi:

1. la formulazione di alternative o scenari;
2. la valutazione delle alternative, cioè delle conseguenze che hanno nel futuro. Tale valutazione viene effettuata in base ad uno o più criteri, eventualmente quantificabili tramite indicatori;
3. la scelta, ossia la selezione di un'opzione, tra quelle prese in considerazione, in base all'esito della valutazione effettuata.

Si può parlare propriamente di decisione qualora il decisore abbia di fronte a sé una pluralità di opzioni.

Lo studio delle decisioni può essere effettuato in modo descrittivo e normativo.

Chi adotta un approccio descrittivo cerca di scoprire come effettivamente vengono prese le decisioni nei diversi contesti; invece, chi adotta un approccio normativo cerca di individuare il modo con cui le decisioni dovrebbero essere prese facendo riferimento a ideali decisori razionali (teoria economica della decisione).

Per poter decidere in modo razionale il decisore deve conoscere le opzioni disponibili e le conseguenze che possono scaturire da ciascuna. Spesso, però, il decisore non dispone di informazioni complete, nel senso che ignora talune opzioni o non è in grado di prevedere tutte le conseguenze ad esse associate.

D'altra parte le conseguenze delle decisioni non dipendono solo dal corso d'azione prescelto ma anche dalle condizioni del contesto nel quale il processo decisionale si svolge, il cosiddetto stato di natura.

Una decisione, pertanto, è caratterizzata dall'azione prescelta, dallo stato di natura e dalle conseguenze dell'azione (il risultato).

Secondo il grado di conoscenza dello stato di natura da parte del decisore si distinguono:

- decisioni in situazioni di certezza, se il decisore conosce lo stato di natura;
- decisioni in situazioni di rischio, se il decisore, pur non conoscendo lo stato di natura, dispone tuttavia di una misura della probabilità associata a ciascun possibile stato di natura;
- decisioni in situazioni di incertezza, se il decisore non conosce né lo stato di natura né le probabilità associate ai possibili stati di natura.

I sistemi di supporto alle decisioni In campo aziendale, ad esempio, i meccanismi che portano al raggiungimento della decisione ottima non possono coinvolgere solamente metodi di analisi multicriterio, ma devono necessariamente tenere in considerazione anche i vari processi aziendali interessati e soprattutto i dati da essi derivanti.

Può essere quindi utile inserire l'analisi multicriterio all'interno di strumenti informatici di supporto al processo decisionale che contengono moduli quali: database, modelli matematici, modelli di simulazione, modelli aziendali e MCDA.

Sistemi in grado di integrare tali caratteristiche prendono il nome di Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS). I DSS coprono un'ampia gamma di sistemi, strumenti e tecnologie per supportare il decisore nel processo decisionale. Il concetto di DSS è estremamente ampio e non esiste una definizione unica dello stesso.

Kenn (1980), afferma che è impossibile fornire una definizione precisa e che possa includere tutti gli aspetti di un DSS. Tuttavia, molti autori in letteratura cercano di fornire definizioni a livello tecnico, sia in modo concettuale che concreto.

Finlay (1994) e altri, definiscono il DSS in generale come "un sistema computer-based che aiuta il processo decisionale".

In modo più preciso Turban (1995) definisce il DSS come "un sistema informatico computer-based interattivo, flessibile e adattabile, sviluppato principalmente per supportare la soluzione di un processo decisionale non strutturato..."

Per Sprague e Carlson (1982), i sistemi di supporto alle decisioni sono "sistemi interattivi computer-based che aiutano il decisore ad utilizzare dati e modelli per risolvere problemi non strutturati".

Power (1997) descrive un DSS come un sistema informativo interattivo, concepito per assistere le attività del decisore, aiutando i manager a trovare, sintetizzare e analizzare informazioni importanti, aumentando e velocizzando il processo decisionale e tramite il quale le persone apprendono e comunicano le decisioni. Infine, vengono considerati come "vero" DSS i modelli di ottimizzazione e simulazione.

In generale, quindi, un DSS è sia un processo che uno strumento per risolvere problemi troppo complessi per l'uomo ma troppo qualitativi per il computer.

Obiettivi multipli possono ulteriormente complicare il compito del decisore qualora siano in contrasto tra loro.

Come un processo, un DSS è un modo sistematico per guidare decisori e stakeholders verso l'obiettivo di considerare tutte le possibili alternative, valutando le eventuali opzioni per determinare la soluzione che meglio risolve il problema. Come strumento, il DSS include funzionalità per la determinazione di alternative e meccanismi per la loro analisi comparativa, la determinazione di priorità e la scelta sulla base di criteri, obiettivi e vincoli imposti dall'utente. Un approccio partecipativo, che coinvolga utenti, pianificatori e i decisori ad ogni livello, è visto come un fattore di successo per un DSS. Infatti, gli utenti spesso non sono in grado di specificare, in prima approssimazione, tutti i requisiti e le aspettative del processo decisionale ed un loro continuo coinvolgimento permette di valutare correttamente il problema e contribuire alla sua risoluzione.

Una interfaccia user-friendly è un'altra caratteristica di successo importante per un DSS, poiché 3 interfacce utente complicate sono spesso motivo di scarso interesse verso i sistemi di supporto alle decisioni.

Sulla base degli strumenti o dei componenti che forniscono le funzioni principali in un DSS, Power (1997) ha proposto una classificazione dei sistemi di supporto alle decisioni,

distinguendoli in: communication-based, data-based, document-based, knowledge-based and model-based.

Nel mondo reale, le decisioni sono spesso il risultato di un complesso processo decisionale, caratterizzato da molteplici attori e con obiettivi e interessi contrastanti.

Il primo passo fondamentale per sviluppare un DSS efficace è pertanto l'individuazione del problema decisionale, insieme alla comprensione dell'attuale processo di decisione, l'identificazione degli stakeholders, delle loro responsabilità, i loro interessi, i meccanismi legali e di gestione, così come tutti i vincoli politici, istituzionali e socio-economici che stanno alla base del processo decisionale. In generale è possibile strutturare il processo decisionale nelle seguenti parti:

- le opzioni di controllo, cioè le azioni, le strategie e/o le regole che possono essere utilizzate per controllare il comportamento del sistema.
- i criteri, sulla base dei quali vengono valutate le performance del sistema.
- gli obiettivi, ad esempio il tipo di ottimizzazione da utilizzare per ogni criterio.
- i vincoli, soglie stabilite per alcuni o tutti i criteri, al fine di rendere le varie alternative accettabili o raggiungibili.

Lo scopo dei DSS è quello di supportare la scelta di un'opzione di controllo, che al tempo stesso rispetti i vincoli imposti e ottimizzi gli obiettivi.

Da questo punto di vista, la fase di definizione e progettazione delle opzioni di controllo è di vitale importanza.

Dall'altro lato, le variabili incontrollabili descrivono fattori esterni non soggetti a scelta, ma che tuttavia influiscono sulle performance del sistema.

Lo scopo del DSS può essere riassunto in termini di sensitività e robustezza della decisione finale.

I criteri sono espressi tramite gli indicatori, che sono utilizzati per sintetizzare le performance del sistema sotto opzioni di controllo alternative.

Gli obiettivi corrispondono ad indicatori il cui valore deve essere minimizzato o massimizzato.

I vincoli impongono un valore massimo o minimo per gli indicatori.

Possono corrispondere a soglie definite sulla base di regole o esperienza acquisita sul problema e consentono di scartare alternative non accettabili.

Variabili aggiuntive che non corrispondono ai criteri, ma che il decisore potrebbe voler porre sotto vincolo, vengono generalmente definite variabili interne.

I vincoli di natura fisica e pratica presenti nel sistema possono essere considerati introducendo opportuni valori di soglia sia nelle variabili controllabili che in quelle non controllabili.

Grazie alle definizioni precedenti, la logica di funzionamento di un DSS può essere definita in modo semplice.

Un insieme di opzioni di controllo alternative per il sistema viene generato cambiando i valori delle variabili di controllo.

Ogni opzione di controllo porta a definire una corrispondente risposta del sistema, la quale viene espressa in modo sintetico dagli indicatori.

Le risposte o performance del sistema vengono analizzate, valutate e comparate, tramite l'ausilio di strumenti di analisi multicriterio, per arrivare ad ottenere un ranking finale delle alternative ed una eventuale scelta dell'alternativa preferita, come soluzione del processo decisionale.

Da notare che criteri multipli e conflittuali richiedono l'introduzione di pesi assegnati in modo diretto o indiretto, per poter confrontare in modo univoco i criteri stessi.

I pesi definiscono l'importanza relativa dei differenti criteri, a favore della funzione obiettivo e la differente importanza di ogni criterio consente di poterne effettuare una valutazione.

Una volta che il problema decisionale è stato identificato e strutturato in termini di azioni di controllo, criteri, obiettivi e vincoli, gli elementi principali del processo decisionale possono essere considerati la formalizzazione delle aspettative, le alternative raggiungibili e la conseguente selezione di una soluzione (possibilmente ottima) da un insieme di alternative così generate o 4 identificate.

Quest'ultima fase può essere risolta applicando l'analisi multicriterio.

Alcune applicazioni ambientali del DSS sopra esposto si trovano in Casini (2007) e Mocenni (2008).

Nel seguito verrà illustrato in dettaglio il metodo di analisi multicriterio AHP.

L'Analytic Hierarchy Process (AHP) è una metodologia decisionale multicriteriale ideata dal matematico Thomas L. Saaty negli anni Settanta e successivamente applicata ai problemi decisionali in molteplici settori, come l'assistenza sanitaria, l'educazione, la finanza, i beni culturali ecc.

Saaty elabora una bozza della metodologia già nel 1971, per giungere alla maturità nel 1973, quando l'AHP viene applicata per progettare piani d'azione alternativi per un paese in via di sviluppo, il Sudan.

Dal 1974 al 1975 la metodologia si sviluppa ulteriormente in letteratura, dal punto di vista teorico.

Tale metodo può essere utilizzato per elaborare previsioni e per supportare la scelta del decisore, consentendogli di assegnare priorità alle alternative considerate e di giungere alla soluzione più adatta alle sue aspettative.

Grazie alla AHP, infatti, si possono risolvere problemi di decisione complicati per l'elevato numero di fattori tra loro legati in modo complesso e per la molteplicità di informazioni



da considerare, senza ricondurre il problema ad un solo criterio. Il decisore è pertanto in grado di valutare complessivamente ogni oggetto di analisi grazie ai giudizi dati ad ogni criterio decisionale.

Le peculiarità della metodologia AHP sono riscontrabili:

- nella modellizzazione del problema in una gerarchia che consente di scomporre il problema, analizzarlo nelle singole componenti ed aggregare i risultati finali;
- nell'assegnazione delle priorità, da parte dei decisori, alle alternative, mettendo in relazione elementi qualitativi e quantitativi, tangibili ed intangibili.

Queste caratteristiche rendono l'AHP una metodologia valida anche per supportare le decisioni inerenti alla gestione ed alla realizzazione di eventi scientifico/culturali.

Inoltre l'Analytic Hierarchy Process può far fronte a varie tipologie di problemi decisionali:

- "definire le priorità di un insieme di alternative;
- scegliere il piano d'azione o la linea di condotta migliore;
- allocare risorse;
- prevedere risultati e valutare rischi;
- misurare prestazioni;
- progettare un sistema;
- ottimizzare;
- pianificare;
- risolvere contrasti.

Da una ricerca svolta da Vaidya e Kumar emerge la diffusione dell'utilizzo dell'AHP a livello mondiale, partendo dagli Stati Uniti, culla della metodologia, per giungere ai Paesi in via di sviluppo che la utilizzano per valutare le opportunità di crescita.

I ricercatori, con l'aumentare della fiducia, hanno cominciato ad accostare questa metodologia ad altre tecniche matematiche, come il PROMETHEE o la programmazione lineare, o ad utilizzarla in versioni modificate.

Gli stessi ricercatori analizzano i problemi decisionali cui si può applicare l'AHP nei seguenti gruppi:

- Selezione (utilizzo dell'AHP per la scelta di un luogo idoneo in cui collocare un magazzino, per selezionare il migliore di cinque appaltatori, per la scelta di un software);
- Valutazione (utilizzo dell'AHP per analizzare alcuni programmi di produzione attenti all'ambiente, per stimare la qualità di un certo numero di giornali, per individuare il migliore fornitore in un gruppo);
- Analisi Costi- Benefici;
- Allocazione (utilizzo dell'AHP per valutare il posizionamento di sei stabilimenti petrolchimici in uno dei cinque paesi mediorientali, in base alla situazione politica, economica ecc e per allocare le risorse di un'università);
- Pianificazione e sviluppo (utilizzo dell'AHP per progettare il sistema informativo di una struttura sanitaria e per programmare modelli di tassazione per una città);
- Priorità e classificazione (utilizzo dell'AHP per classificare un gruppo di imprese in base al loro livello di efficienza);
- Decision Making (utilizzo dell'AHP per decidere le modalità di composizione di un esame per valutare gli studenti);
- Previsione (utilizzo dell'AHP per anticipare i tassi di cambio tra il marco ed il dollaro, per prevedere la domanda di un prodotto di un'impresa da parte dei consumatori);

L'AHP in tal senso è stata utilizzata per studiare un piano che riduca gli impatti ambientali, dei trasporti ecologicamente, socialmente ed economicamente sostenibili, per valutare le performance ambientali, economiche e termiche e gli impatti delle centrali elettriche a carbone in Cina, per stimare nuove tecnologie per la generazione di energia elettrica, per valutare alcune scelte volte alla protezione dell'ambiente e per scegliere la migliore forma di gestione del servizio idrico urbano per la città di Granada.

Poiché il contesto in cui l'individuo vive è intricato, composto dall'interrelazione di più fattori, è fondamentale riuscire a capire l'ambiente di riferimento nelle sue sfaccettature.

Viene spesso considerata valida la logica deduttivo razionale, la quale però risulta riduttiva perché l'essere umano effettua considerazioni che dipendono, oltre che dalla logica, da stati d'animo e dalle esperienze passate e compie valutazioni su un ambiente composto da elementi sia tangibili che intangibili.

È per questo motivo che l'AHP coniuga i due metodi quali:

- Approccio deduttivo (o sistematico): consiste nell'analisi di un sistema che valuta la prospettiva generale senza focalizzarsi sul dettaglio;
- Approccio induttivo: al contrario dell'approccio deduttivo analizza le singole parti del sistema. Il limite di tale approccio si riscontra talvolta nella difficoltà di considerare il feedback tra gli elementi del sistema e l'ambiente circostante.

Integrando questi due metodi l'AHP fornisce un quadro coerente e facilmente comprensibile della realtà, per supportare il decisore nel modo più completo.

L'acronimo AHP ha il seguente significato:

- “analytic: significa che il metodo, analitico, comporta la scomposizione di qualunque problema complesso nei suoi elementi costitutivi;
- hierarchy: indica un albero gerarchico di dominanza;
- process”: significa un processo che comprende una serie di azioni, modulazioni ovvero funzioni che portano ad un obiettivo.

#### 6.4 MODELLIZZAZIONE DEL PROBLEMA L'AHP

Tratta il problema decisionale come una serie di sotto problemi più semplici da analizzare, scomponendolo negli elementi che ne fanno parte, ovvero, partendo dal basso della gerarchia:

- le alternative, ovvero le opzioni che il decisore detiene;
- i criteri e sottocriteri, ossia gli attributi grazie ai quali si possono valutare le alternative considerate;
- l'obiettivo da raggiungere.

Gli assiomi su cui si fonda la metodologia AHP sono:

- assioma della reciprocità, come sarà spiegato più avanti;
- assioma dell'omogeneità che richiede che gli elementi da confrontare non siano troppo differenti tra loro;
- assioma dell'indipendenza dei giudizi: i giudizi espressi per un elemento facente parte di un preciso livello gerarchico non devono dipendere dagli elementi del livello sottostante;
- assioma delle aspettative: il decisore deve accertarsi che nella struttura gerarchica siano rappresentati i suoi giudizi affinché il risultato possa corrispondere alle sue aspettative.

Il metodo AHP si sviluppa nelle fasi seguenti:

Saaty spiega che non si possono comparare un'arancia ed un granello di sabbia, pertanto è necessario porli su livelli gerarchici diversi.

- scomposizione del problema in una gerarchia;
- confronti a coppie tra gli elementi considerati (sottocriteri, criteri, alternative);
- ricomposizione della gerarchia tramite un procedimento bottom-up;
- sintesi delle priorità;
- valutazione della consistenza o meno delle priorità;
- eventuale sviluppo di un'analisi della sensitività.

Nel framework logico (la struttura gerarchica) su cui si dispongono gli elementi, si stabilisce anzitutto l'obiettivo da raggiungere (Goal), per proseguire con la definizione dei criteri necessari per valutare le alternative, degli eventuali livelli di sottocriteri ed infine delle alternative.

La semplicità di tale metodologia permette di evitare gli ostacoli del problema decisionale, analizzando le relazioni tra gli elementi del sistema.

Il problema gerarchizzato viene analizzato con maggior efficacia ed efficienza, poiché con la gerarchia si beneficia della proprietà di indipendenza interna fra gli elementi dello stesso livello ed al contempo della proprietà di dipendenza esterna tra gli elementi di un livello rispetto a quelli di un livello superiore.

Tramite la gerarchia si può anche controllare lo svolgimento del processo di risoluzione del problema oltre che avere una visione dettagliata dello stesso.

La rappresentazione del problema in forma gerarchica è la seguente: inizialmente si confrontano le alternative in relazione ad un singolo criterio, e si prosegue confrontando gli eventuali sottocriteri e i criteri rispetto all'obiettivo.

Ogni box è chiamato nodo, i nodi sullo stesso livello sono chiamati nodi 'peer', ogni nodo che dipende direttamente da un nodo ad un livello superiore è il 'children', mentre il nodo da cui è sceso è detto 'parent'.

La somma delle priorità rispettivamente dei criteri, dei sottocriteri e delle alternative hanno sempre priorità uguale ad 1.

Il decisore assegna le priorità (un valore numerico) dapprima ai sottocriteri, per poi risalire la gerarchia mediante il già citato metodo dei confronti a coppie, in cui gli elementi vengono confrontati a due a due per valutare la loro importanza rispetto all'elemento cui si riferiscono, presente nel livello superiore.

I giudizi finali vengono poi sintetizzati, come si vedrà più avanti. La gerarchia contiene molte informazioni qualitative e quantitative e può essere completa o incompleta.

La gerarchia completa presuppone lo stesso numero di sotto criteri per ogni criterio, mentre quella incompleta comporta una disparità nella diramazione dei criteri in eventuali sotto criteri.

Si tratta di nodi paritari ed equivalenti

## 6.5 DETERMINAZIONE DELLE PRIORITA'

Con l'assegnazione delle priorità si passa alla seconda fase della metodologia, quella più delicata.

Occorre analizzare i singoli nodi rispetto agli altri nodi 'peer', in rapporto al nodo 'parent'.

Le priorità locali si possono assegnare per default, destinando a tutte uguali valori, oppure si attribuiscono priorità diverse ai diversi nodi.

Se si fosse già a conoscenza delle priorità relative (locali) attribuite ad ogni singolo nodo si potrebbe giungere facilmente alle priorità globali, moltiplicando i pesi locali di ogni elemento della matrice per i pesi locali del nodo genitore e sommando i prodotti risultanti.

Prevale l'alternativa con priorità globale più elevata.

L'uomo si trova in difficoltà nel descrivere relazioni astratte, e fatica ad utilizzare approcci deduttivi di

causa - effetto adottando in alternativa approcci basati sull'esperienza, sul sentimento e talvolta sul confronto con i giudizi di altre persone.

Grazie a questi ultimi infatti il decisore può analizzare la realtà, e giungere a giudizi personali più precisi.

La metodologia AHP riesce quindi ad essere un ottimo supporto poiché 'fornisce i fondamenti matematici per tenere conto dei giudizi e delle preferenze personali: l'intuito, le sensazioni e la logica sono uniti in un approccio decisionale strutturato che si basa sulle esperienze passate del decisore per organizzare la struttura gerarchica e sulla razionalità e sulle sensazioni per valutare gli elementi che la compongono.

È difficile quindi che un decisore possa conferire valori esatti ai pesi di ogni criterio o sottocriterio, e ad ogni alternativa riferita ad un criterio, poiché è più semplice esprimere un giudizio relativo che assoluto.

In alternativa si può sempre valutare l'importanza di un nodo rispetto ad un altro confrontando a coppie gli elementi.

Si valuta ad esempio l'importanza relativa di ogni criterio con un altro in riferimento ad un elemento del livello superiore.

È necessario attribuire una priorità locale ad ogni elemento della gerarchia (eccetto al Goal) che indica l'importanza dell'elemento in rapporto all'elemento sovrastante.

Il numero di obiettivi ai quali l'elemento considerato è subordinato coincide con il numero di pesi locali dell'elemento.

Si realizzano così delle matrici in cui inserire i valori risultanti dai confronti a coppie di fattori la cui intensità si calcola attraverso l'utilizzo della scala semantica Saaty, composta da numeri assoluti che vanno dall'1 al 9, che consente di assegnare un punteggio ad un fattore rispetto ad un altro e quindi di creare corrispondenza tra valori numerici e giudizi verbali:

- Il valore 1 esprime l'uguaglianza di due elementi nel contribuire all'obiettivo preposto;
- Il valore 3 indica che l'esperienza ed il giudizio favoriscono debolmente un elemento rispetto ad un altro;
- il 5 che lo favoriscono fortemente;
- il 7 che l'elemento fortemente favorito è dimostrato prevalente anche nella pratica.

Si possono utilizzare anche punteggi intermedi non presenti nella scala, in particolare in caso di incertezza tra due valori adiacenti.

Saaty ha ideato tale scala detta anche Scala Fondamentale, nel 1972, dopo aver appurato che non esistevano scale in grado di valutare gli aspetti intangibili della realtà.

Questa invece, permette di considerare informazioni qualitative e quantitative ed ha un'intensità che varia da 1 a 9 perché, secondo alcuni studi, l'uomo riesce a classificare gli elementi in base a questo intervallo.

<b>Valore</b>	<b>Interpretazione</b>
1	a e b sono ugualmente importanti
3	a è poco più importante di b
5	a è abbastanza più importante di b
7	a è decisamente più importante di b
9	a è assolutamente più importante di b
1\3	a è poco meno importante di b
1\5	a è abbastanza meno importante di b
1\7	a è decisamente meno importante di b
1\9	a è assolutamente meno importante di b

Il numero di confronti dipende dal numero di fattori da confrontare ed è pari a:

Sia  $a_{ij}$  il valore numerico del confronto a coppie tra l'elemento  $i$  e l'elemento  $j$ .

Tali valori attribuiti ai confronti a coppie da decisore, vengono successivamente inseriti in una matrice quadrata, detta anche matrice dei confronti a coppie, con oggetti confrontati.

Questi soddisfano:

- dove  $a_{ij}$  indica l'intensità dell'importanza di  $i$  rispetto a  $j$ .

L'importanza di un elemento comparato a se stesso è uguale ad uno, quindi i valori che compongono la diagonale principale sono uguali ad 1.

Una matrice è quadrata se il numero di righe è uguale al numero di colonne.

Il numero di righe e colonne è detto ordine della matrice.

Nel compilare la matrice si inseriscono al di sopra della diagonale principale i valori risultanti dal confronto a coppie e nella parte inferiore appariranno i reciproci di tali valori.

La dimensione di una matrice dei confronti a coppie è pari al numero di fattori che compongono il livello della gerarchia considerato; gli elementi della matrice indicano le intensità di importanza attribuite ai fattori decisionali compresi nel livello.

## 6.6 CONSISTENZA DEI GIUDIZI

La matrice è detta simmetrica, reciproca e consistente se:

- vale la relazione di reciprocità:  $a_{ij}=1/a_{ji}$  per ogni valore di  $i$  e  $j$ ;
- vale la relazione di transitività:  $a_{ij}= a_{ik} \times a_{kj}$  per ogni valore di  $i$  e  $j$ ;

Il grado di coerenza è infatti verificato mediante il calcolo dell'autovalore principale.

Tra le cause dell'inconsistenza dell'indice si riscontrano la carenza di informazioni, gli errori nella fase di inserimento dati, oppure una reale inconsistenza del modello dovuta ad un'inadatta struttura di questo che può derivare ad esempio da una scelta inadeguata dei criteri.

La metodologia AHP accetta però un basso grado di inconsistenza perché non pregiudica la validità del risultato ottenuto.

Soltanto quando l'inconsistenza è troppo elevata occorre che il decisore riveda i propri giudizi e la gerarchia.

All'aumentare del valore CI, la consistenza peggiora.

$$CI = \frac{y_{max} - n}{n - 1}$$
$$CR = \frac{CI}{RI}$$

La AHP implica il confronto dell'indice di consistenza con il valore del Random Consistency Index (RI) risultanti dalla media degli indici di consistenza di un numero elevato di matrici.

Solo se il valore è minore di 0.1% allora la si considera accettabile.

Il random index indica la media di molti indici di consistenza i quali sono stati calcolati da un gruppo di esperti dell'Oak Ridge National Laboratory e della Wharton School, stimati in relazione ad un considerevole numero di matrici positive, quadrate, reciproche e casuali.



## 6.7 ANALISI DI SENSITIVITA'

Una volta determinate le priorità *locali*, è possibile calcolare quelle *globali* in modo da poter costruire un *ranking* delle varie alternative in base al relativo punteggio.

Per valutare quanto un'alternativa scelta sia robusta, ovvero cambi minimamente nel tempo, si effettua l'*analisi di sensitività*, che permette di cambiare i pesi dei criteri per stimare quanto l'ordinamento delle alternative possa variare al variare di questi.

Tale analisi consente di valutare le ripercussioni dovute alla soggettività delle scelte dei criteri da utilizzare, delle modalità di aggregazione e di normalizzazione.

## 6.8 VANTAGGI E SVANTAGGI

La metodologia AHP è particolarmente utile in presenza di:

- obiettivi non ben definiti;
- carenza concettuale nella descrizione del problema;
- coesistenza di elementi qualitativi /quantitativi;
- difficoltà nell'attribuire le priorità.

È inoltre vantaggiosa perché:

- i giudizi espressi mediante il confronto a coppie sono maggiormente robusti;
- è una metodologia semplice che non esige una particolare specializzazione, poiché utilizza un solo modello versatile di facile comprensione anche per i non professionisti;
- è intuitiva;
- è adattabile al singolo individuo come al gruppo di persone;
- consente di riesaminare facilmente l'intero processo decisionale;
- l'AHP associa l'approccio induttivo- sistematico all'approccio deduttivo, due metodi utilizzati dall'uomo per risolvere i problemi

Gli svantaggi di questa metodologia invece sono:

- la dipendenza in parte dei risultati dai giudizi (soggettivi) del decisore;
- è una metodologia di tipo compensativo poiché si tratta di una funzione lineare esprimibile come somma dei contributi parziali di ciascun criterio. Questo significa che si riscontra la possibilità di compensare un valore basso con un altro più alto e tale metodo talvolta può risultare indesiderabile;
- può verificarsi il fenomeno del rank reversal, ossia dell'inversione della classifica dovuta all'inserimento di una nuova alternativa (ceteris paribus). Per testare la stabilità del risultato possono essere utilizzati diversi metodi:
- sostituire un'alternativa non ottimale con una peggiore;
- sostituire alternative non ottimali con copie quasi identiche per vedere se si modificano le alternative migliori;
- scomporre il problema originale in molti piccoli problemi composti da due alternative ognuno e classificarli per valutare se sono in conflitto con l'ordinamento delle alternative del problema principale;
- dividere il problema in tanti piccoli problemi composti da coppie di alternative e valutare se sono presenti casi di non transitività tra le alternative.

## 6.9 UTILIZZO DELL'AHP CON EXCEL

I fogli elettronici permettono di creare tabelle, grafici ed elaborare e modificare dati, pertanto sono molto utili nel supportare la risoluzione dei problemi decisionali.

Il programma Excel consente di calcolare le priorità e la conseguente alternativa migliore poiché utilizzando le celle si possono realizzare i confronti a coppie (sviluppati in fogli Excel distinti), normalizzarli, ottenere i punteggi e l'ordinamento ed infine valutare la consistenza.

Poiché l'AHP si svolge per mezzo di matrici, il sistema Excel è particolarmente adatto allo sviluppo dei calcoli, trasformando le matrici in celle e proseguendo con l'utilizzo del metodo approssimato.

Al di sopra della diagonale della griglia si inseriscono i valori risultanti dai confronti a coppie, mentre nella parte inferiore devono figurare i reciproci di tali valori. Si selezionano quindi le celle posizionate sotto la diagonale principale e si inserisce la formula del reciproco in modo che il programma calcoli i risultati.

	A	B	C	D	E	F
1	Factor	C1	C2	C3	C4	C5
2	C1	1.00	7.00	3.00	1.00	1.00
3	C2	0.14	1.00	0.14	0.20	0.20
4	C3	0.33	7.00	1.00	1.00	1.00
5	C4	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00
6	C5	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00
7	Total	3.48	25.00	6.14	4.20	4.20

Figura 6-14 AHP con Excel

Il passo seguente consiste nella normalizzazione della matrice per poi sommare le righe della matrice normalizzata.

Si prosegue calcolando la media (ossia i priority vector) dividendo le righe per il numero di colonne, come è evidenziato nell'esempio seguente, dove sono esplicitati tutti i passaggi con le formule da inserire:

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	C5	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00	=Sum (B10:F10)	
7	Total	3.48	25.00	6.14	4.20	4.20		
8								=AVERAGE(G10/5)
9	Factor	C1	C2	C3	C4	C5	Total	Average
10	C1	0.29	0.28	0.49	0.24	0.24	1.53	0.31
11	C2	0.04	0.04	0.02	0.05	0.05	0.20	0.04
12	C3	0.10	0.28	0.16	0.24	0.24	1.01	0.20
13	C4	0.29	0.20	0.16	0.24	0.24	1.13	0.23
14	C5	0.29	0.20	0.16	0.24	0.24	1.13	0.23

$= (B6/B7)$        $= (C6/C7)$       Highest average score

Normalized inputs (priority vector)

Figura 6-15 AHP in Excel

Procedendo con il metodo approssimato si utilizza la funzione Excel MMULT130 che permette di sommare tutte le celle di una riga, moltiplicarle per la somma del priority vector e dividerla per il peso del criterio su quella riga, per valutarne la misura di consistenza.

La funzione MATR.PRODOTTO moltiplica due matrici.

In numero di righe della prima deve essere uguale al numero delle colonne della seconda: ne risulta una matrice.

La media delle colonne serve invece per valutare la consistenza dell'intera matrice e quindi delle scelte realizzate dal decisore, la quale si ottiene sempre utilizzando la funzione MATR.PRODOTTO sulla formula di consistenza di una matrice.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
9	Factor	C1	C2	C3	C4	C5	Total	Average	Consistency Measure
10	C1	0.29	0.28	0.49	0.24	0.24	1.53	0.31	5.37
11	C2	0.04	0.04	0.02	0.05	0.05	0.20	0.04	5.08
12	C3	0.10	0.28	0.16	0.24	0.24	1.01	0.20	5.10
13	C4	0.29	0.20	0.16	0.24	0.24	1.13	0.23	5.15
14	C5	0.29	0.20	0.16	0.24	0.24	1.13	0.23	5.15
15	Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			CI= 0.04
16									RI= 1.12
									C.Ratio 0.04
									CR = CI / RI

$=MMULT(B2:F2,H10:H14)/H10$   
 $=MMULT(B3:F3,H10:H14)/H11$   
 $=(AVERAGE(H10:H14)-5)/4$   
 $=I15/I16$

RI is provided by AHP (see slide 16)

Figura 6-16 AHP in Excel

Si noti che la somma delle colonne normalizzate deve risultare uguale ad uno, così come la somma delle medie delle righe, ovvero le priorità locali.

I vantaggi dell'utilizzo di questo programma sono:

- facile applicazione in presenza di un gruppo di decisori ed eventuale analisi del consenso;
- facilitazione della creazione e gestione di una matrice AHP;
- calcolo automatico della consistenza;
- calcolo delle priorità ed ordinamento delle alternative;
- modularità;
- numero ampio di celle che consente un esteso spazio di lavoro;
- visualizzazione sincronica di diverse parti del foglio di lavoro tramite quadrati multipli;
- esecuzione automatica di calcoli anche complessi;
- presenza di rappresentazioni grafiche di diverso tipo (torte, istogrammi ecc.);
- possibilità di formattare i dati in testo, euro, percentuale ecc.;
- facile gestione degli archivi;
- facile ordinamento di dati;
- possibilità di usufruire del supporto della guida online.

### 6.9.1 METODO AHP APPLICATO ALLA TESI

Inizialmente ho suddiviso i codici in famiglie, ovvero le viti senza fine, camma, staffa ecc... ed ho dato un valore da 1 a 9 ad ogni famiglia per ogni parametro,  $C_{PR}$ ,  $C_{AR}$ ,  $C_{NC}$  ecc...

	CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR
VITE SENZA FINE	5	6	1	1	1	1
COVER	8	8	2	3	1	3
GUSCIO	8	8	3	7	2	5
ANTIFURTO	8	8	2	2	1	1
COPRISERRATURA	2	2	2	5	1	6
VITE	6	6	1	1	2	1
MADREVITE	7	6	1	1	1	3
GANCIO	8	6	5	1	1	3
CAMMA	7	7	1	1	1	1
SALTARELLO	6	4	2	3	1	6
STAFFA	3	8	2	3	1	5
ANELLO ROTANTE	7	6	1	1	0,5	1
INSERIMENTO PER PIVOT	6	6	6	1	1	8
ESPULSORE INTERNO	6	5	1	1	1	1
CARRELLO CHIUSURA	7	6	1	1	1	1
<b>SOMMA</b>	100	32	31	44	16,5	52
<b>VALORI PARAMETRI</b>	3	8	2	4	1	5

Figura 6-17 valori parametri

Per ottenere l'importanza relativa di un parametro rispetto all'altro ho utilizzato "valori parametri", usando questo principio:

- mettere il valore 1 se i due parametri sono ugualmente importanti, ovvero hanno lo stesso valore;
- l'importanza relativa tra due parametri con valori differenti è uguale alla differenza tra i due.

METODO AHP						
	CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR
CPR	1		7	5	8	4
CAR		1	6	4	7	3
CNC	0,142857143	0,166666667	1	0,5	1	0,333333333
CCR	0,2	0,25	2	1	3	1
CTR	0,125	0,142857143	1	0,333333333	1	0,25
CDR	0,25	0,333333333	3	1	4	1
<b>SOMMA</b>	<b>2,717857143</b>	<b>2,892857143</b>	<b>20</b>	<b>11,83333333</b>	<b>24</b>	<b>9,583333333</b>

Figura 6-18 matrice dei criteri

Ho normalizzato la matrice dividendo ogni valore di ogni colonna per la somma della singola colonna, successivamente ho calcolato il vettore del valore medio per ogni riga della matrice normalizzata.

MATRICE NORMALIZZATA							
CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR	VALORE MEDIO	
0,367936925	0,345679012	0,35	0,422535211	0,333333333	0,417391304	0,372812631	
0,367936925	0,345679012	0,3	0,338028169	0,291666667	0,313043478	0,326059042	
0,052562418	0,057613169	0,05	0,042253521	0,041666667	0,034782609	0,046479731	
0,073587385	0,086419753	0,1	0,084507042	0,125	0,104347826	0,095643668	
0,045992116	0,049382716	0,05	0,028169014	0,041666667	0,026086957	0,040216245	
0,091984231	0,115226337	0,15	0,084507042	0,166666667	0,104347826	0,118788684	
1	1	1	1	1	1	1	

Figura 6-19 matrice dei criteri normalizzata

Ho calcolato gli indici per verificare la consistenza del metodo, il CR deve essere inferiore a 0,1.

A <sub>xP</sub>		
2,29933282	$CI = (n_{max} - n) / (n - 1)$	0,024290629
1,998204493	$RI = 1,98 * (n - 2) / n$	1,32
0,281716158	$CR = CI / RI$	0,018401991 OK
0,584117834		
0,241455811		
0,716626028		
6,121453143		

Figura 6-20 gli indici che attestano la consistenza del metodo AHP

Questo l'ho rifatto per ogni sottocriterio:

	CPR								
	VITE SENZA FINE	COVER	GUSCIO	ANTIFURTO	COPRISERRATURA	VITE	MADRE VITE	CAMMA	
VITE SENZA FINE	1	0,25	0,25	0,25	0,25	4	0,5	0,5	0,33333333
COVER	4	1	1	1	1	7	3	2	
GUSCIO	4	1	1	1	1	7	3	2	
ANTIFURTO	4	1	1	1	1	7	3	2	
COPRISERRATURA	0,25	0,142857143	0,142857143	0,333333333	1	0,2	0,166666667	0,166666667	
VITE	2	0,333333333	0,333333333	0,333333333	5	1	0,5	0	
MADRE VITE	3	0,5	0,5	0,5	6	2	1		
CAMMA	3	0,5	0,5	0,5	6	2	1		
SALTARELLO	2	0,333333333	0,5	0,333333333	5	1	0,5	0	
STAFFA	2	2	2	2	8	4	3		
GANCIO	4	1	1	1	7	3	2		
ANELLO ROTANTE	3	0,5	0,5	0,5	6	2	1		
INSERIMENTO PER PIVOT	2	0,333333333	0,333333333	0,333333333	5	1	0,5	0	
ESPULSORE INTERNO	2	0,333333333	0,333333333	0,333333333	5	1	0,5	0	
CARRELLI CHIUSURA	3	0,5	0,5	0,5	6	2	1		
<b>SOMMA</b>	<b>39,25</b>	<b>9,726190476</b>	<b>9,892857143</b>	<b>9,916666667</b>	<b>81</b>	<b>28,7</b>	<b>17,66666667</b>	<b>17</b>	

Figura 6-21 matrice sottocriterio

Dopo di che ho normalizzato la matrice ed ho calcolato il valore medio.

Alla fine ho creato una matrice dove sulle colonne ci sono i parametri e sulle righe ci sono le famiglie dei prodotti.

	MATRICE FINALE						TOTALE	CF
	CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR		
VITE SENZA FINE	0,028885152	0,052022295	0,029564239	0,023466573	0,06138873	0,017356294	2,737631999	27,37631999
COVER	0,10353919	0,122058507	0,055576786	0,083004783	0,06138873	0,041590733	4,600163108	46,00163108
GUSCIO	0,100978371	0,127553816	0,091001925	0,175001964	0,118179758	0,079024752	8,127969575	81,27969575
ANTIFURTO	0,100247009	0,127553816	0,051467197	0,045663779	0,06138873	0,017356294	3,850811325	38,50811325
COPRISERRATURA	0,012172473	0,012382211	0,055576786	0,115810755	0,06138873	0,097065502	4,954406567	49,54406567
VITE	0,03629244	0,055398645	0,042064239	0,025092589	0,088072231	0,017356294	3,677176483	36,77176483
MADRE VITE	0,061229637	0,049959942	0,030119794	0,025092589	0,085092433	0,041590733	3,171061502	31,71061502
CAMMA	0,061229637	0,080946982	0,036881119	0,025092589	0,064166507	0,039578516	3,354423114	33,54423114
SALTARELLO	0,042701929	0,021559137	0,070181248	0,29162164	0,064166507	0,100044442	7,531661701	75,31661701
STAFFA	0,157982046	0,127553816	0,055576786	0,06468979	0,064166507	0,078002586	4,962920121	49,62920121
GANCIO	0,10353919	0,048541502	0,176596685	0,025092589	0,064166507	0,230377916	7,998475579	79,98475579
ANELLO ROTANTE	0,057388408	0,048541502	0,029564239	0,025092589	0,033935106	0,027519633	2,262783224	22,62783224
INSERIMENTO PIVOT	0,03629244	0,048541502	0,203177832	0,025092589	0,064166507	0,178423718	7,849437056	78,49437056
ESPULSORE INTERNO	0,03629244	0,029608727	0,036325564	0,025092589	0,064166507	0,017356294	2,914059063	29,14059063
CARRELLI CHIUSURA	0,061229637	0,047779598	0,036325564	0,025092589	0,064166507	0,017356294	3,034400536	30,34400536
<b>PONDERAZIONE</b>	<b>2,717857143</b>	<b>2,892857143</b>	<b>20</b>	<b>11,833333333</b>	<b>24</b>	<b>9,583333333</b>		

Figura 6-22 matrice finale



	TOTALE	CF
5294	2,737631999	27,37631999
0733	4,600163108	46,00163108
4752	8,127969575	81,27969575
5294	3,850811325	38,50811325
5502	4,954406567	49,54406567
5294	3,677176483	36,77176483
0733	3,171061502	31,71061502
3516	3,354423114	33,54423114
4442	7,531661701	75,31661701
2586	4,962920121	49,62920121
7916	7,998475579	79,98475579
9633	2,262783224	22,62783224
3718	7,849437056	78,49437056
5294	2,914059063	29,14059063
5294	3,034400536	30,34400536

Figura 6-23 complessità forma

Ogni colonna è composta dal vettore medio delle matrici dei sottocriteri, nella riga "PONDERAZIONE" c'è il vettore medio della matrice dei criteri ed infine il totale l'ho ottenuto usando la funzione di Excel MATR.SOMMA.PRODOTTO per tutte le righe e bloccando la riga della ponderazione.

Infine ho moltiplicato il totale per 10.

Sono stata molto soddisfatta del lavoro svolto poichè le complessità avute per ogni famiglia sono compatibili con la complessità reale dell'articolo.

Per verificare l'attendibilità dei valori della complessità della forma ottenuti li ho confrontati con la formula suggerita dallo studio che ho preso in considerazione per creare questo modello, ovvero:

$$C_s = 0.3C_a + 0.8C_c - 14$$

$$C_a = \text{rapporto area} = 100 \left( 1 - \left( \frac{\text{superficie di un cubo di volume uguale}}{\text{superficie del solido}} \right) \right)$$

$$C_c = \text{fattore complessità anima} = 100 \left[ 1 - \left( \frac{1}{\sqrt{1+n}} \right) \right]$$

Ed ho ottenuto:

	Ca	Cc	# Mov	CF	AHP
VITE SENZA FINE	97,68427042	50	0	55,30528113	27,37631999
COVER	87,01775424	75	1	72,10532627	46,00163108
ANTIFURTO	89,0911282	75	1	72,72733846	81,27969575
COPRISERRATURA	19,3996579	75	1	51,81989737	38,50811325
VITE	72,87600838	50	0	47,86280251	49,54406567
MADREVITE	89,56179714	50	0	52,86853914	36,77176483
GANCIO	86,16574669	87,5	3	81,84972401	31,71061502
CAMMA	87,96991435	50	0	52,3909743	33,54423114
SALTARELLO	75,55098562	75	1	68,66529569	75,31661701
STAFFA	89,44964195	75	1	72,83489259	49,62920121
ANELLO ROTANTE	79,20166543	50	0	49,76049963	79,98475579
INSERIMENTO PIVOT	66,2603878	75	1	65,87811634	22,62783224
ESPULSORE INTERNO	68,04378925	50	0	46,41313677	78,49437056
CARRELLO CHIUSURA	63,1697452	75	1	64,95092356	29,14059063

Figura 6-24 la complessità forma calcolata con la formula dello studio

Per calcolare  $C_a$  ho usato l'area della sfera equivalente al volume del pezzo e l'area del solido circoscritto al pezzo, mentre per calcolare  $C_c$  ho utilizzato il numero dei movimenti.

Confrontando i due valori della complessità si nota che per alcune tipologie di pezzi la complessità della forma è molto differente.

Il perché è molto semplice e valida ancora di più il lavoro che ho fatto.

I valori ottenuti dalla formula dello studio universitario calcola la complessità dei pezzi ottenuti tramite fusione che sono molto differenti dai pezzi ottenuti tramite lo stampaggio (basta pensare anche alle sole dimensioni), per cui è quasi "ovvio" che si differenzi dai valori che ho ottenuto studiando il disegno tridimensionale degli oggetti in questione.

Per di più osservando i miei risultati con il tutor aziendale, abbiamo evinto che i valori da me ottenuti si confanno maggiormente alla reale complessità dei pezzi, riuscendo ad evidenziare nel modo corretto la differenza tra le varie famiglie analizzate.

## 7 REGRESSIONE LINEARE

La **regressione** formalizza e risolve il problema di una relazione funzionale tra variabili misurate sulla base di dati campionari estratti da un'ipotetica popolazione infinita. Originariamente Galton utilizzava il termine come sinonimo di correlazione, tuttavia oggi in statistica l'analisi della regressione è associata alla risoluzione del modello lineare. Per la loro versatilità, le tecniche della regressione lineare trovano impiego nel campo delle scienze applicate: chimica, geologia, biologia, fisica, ingegneria, medicina, nonché nelle scienze sociali: economia, linguistica, psicologia e sociologia.

Più formalmente, in statistica la **regressione lineare** rappresenta un metodo di stima del valore atteso condizionato di una variabile *dipendente*, o *endogena*, dati i valori di altre variabili *indipendenti*, o *esogene*.

### 7.1 REGRESSIONE LINEARE MULTIPLA

In termini matematici la regressione lineare multipla assume un modello come il seguente:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (1)$$

Dove:

- $\hat{y}$  è la risposta ai valori, ossia rappresenta il risultato previsto dal modello;
- $\beta_0$  è l'intercetta, ossia il valore di  $\hat{y}$  quando gli  $x_i$  sono tutti uguali a 0;
- $\beta_1$  è il coefficiente di  $X_1$  (la prima caratteristica);
- $\beta_n$  è il coefficiente di  $X_n$  (l'ennesima caratteristica);
- $x_1, x_2, \dots, x_n$  sono le variabili indipendenti del modello.

L'equazione (1) spiega la relazione tra una **variabile dipendente continua** ( $\hat{y}$ ) e due o più **variabili indipendenti** ( $x_1, x_2, x_3 \dots$  e così via). Pensa ad esempio di voler stimare l'emissione di  $CO_2$  di un'automobile (variabile dipendente  $\hat{y}$ ) considerando l'ampiezza del motore, il numero dei cilindri e il consumo di carburante.

Questi ultimi fattori sono le variabili indipendenti  $x_1, x_2$  e  $x_3$  rispettivamente.

I beta sono numeri reali e vengono chiamati coefficienti di regressione stimati del modello (vedi oltre per vedere come vengono calcolati).

Si noti che la  $y$  cappello è una **variabile dipendente continua**, in quanto essendo la somma di  $\beta_0$ ,  $\beta_1 x_1$ ,  $\beta_2 x_2$ , ecc. risulta essere un numero reale.

Ne consegue che una variabile di tipo categoriale, che come risultato genererebbe una risposta del tipo

“sì”/“no”, non può essere rappresentata da un modello di regressione lineare multipla (in questo caso è bene valutare l'utilizzo della regressione logistica).

## 8 REGRESSIONE SU EXCEL APPLICATA AL CASO

Dopo aver calcolato la complessità della forma con il metodo AHP sono passata alla fase seguente, ovvero calcolarla con la regressione lineare multipla poiché le variabili di output sono più di una.

Per calcolare la complessità della forma tramite regressione moltiplicherò i coefficienti di regressione per i parametri geometrici del pezzo poiché, ovviamente, la geometria del pezzo è fondamentale per stabilire la complessità totale del codice.

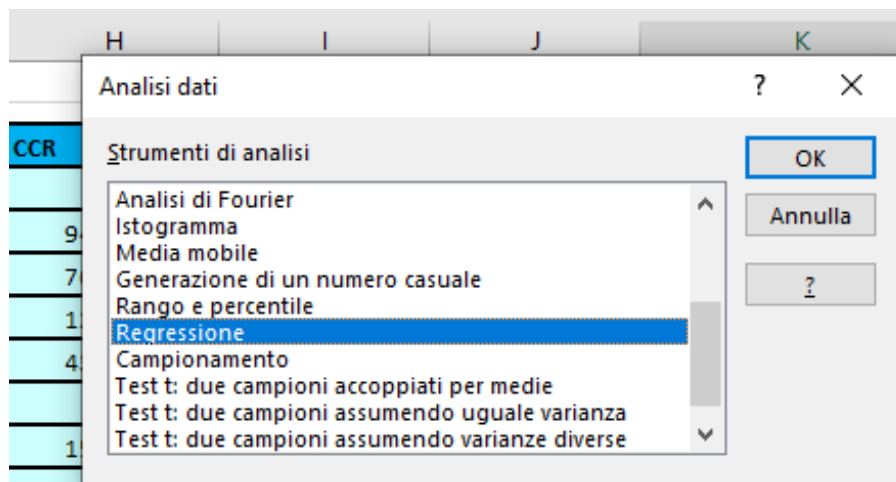


Figura 8-1 regressione lineare Excel

Come variabile di input ho selezionato le caselle della complessità della forma ottenuto attraverso il metodo AHP, mentre come variabili di output ho selezionato la matrice dei parametri ( $C_{PR}$ ,  $C_{AR}$ ,  $C_{CN}$ ...) per tutti i codici.

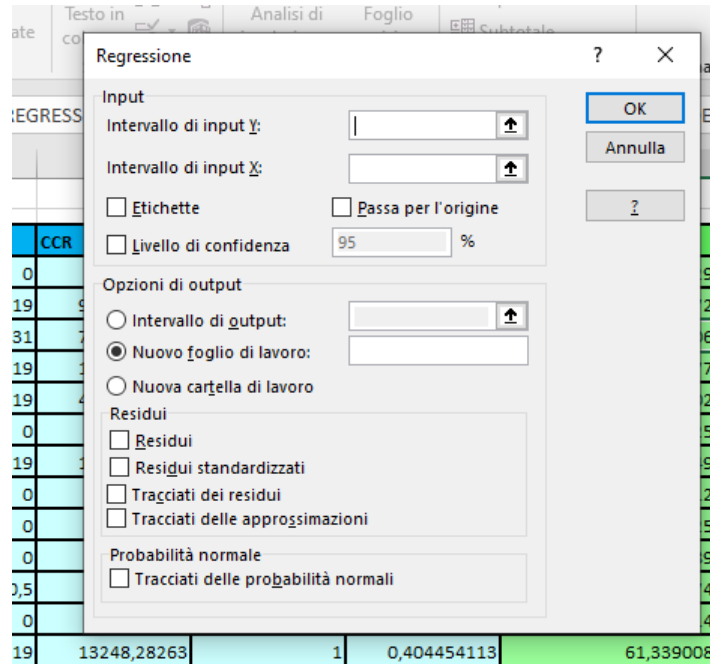


Figura 8-2 regressione lineare Excel

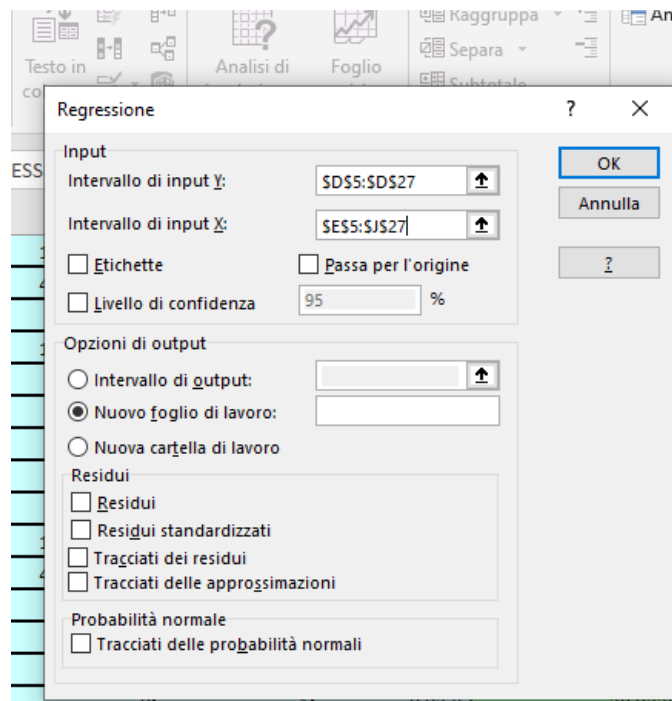


Figura 8-3 regressione lineare Excel

Dopo aver inserito tutti i dati che ho detto pocanzi, ho lanciato la regressione lineare ottenendo tutti i parametri come la significatività e l'errore standard.

1	OUTPUT RIEPILOGO								
2									
3	Statistica della regressione								
4	R multiplo	0,738450739							
5	R al quadrato	0,545309495							
6	R al quadrato corretto	0,374800555							
7	Errore standard	16,0517592							
8	Osservazioni	23							
9									
10	ANALISI VARIANZA								
11		gdl	SQ	MQ	F	Significatività F			
12	Regressione	6	4944,158994	824,026499	3,198128473	0,029354592			
13	Residuo	16	4122,543574	257,6589734					
14	Totale	22	9066,702568						
15									
16		Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significatività	Inferiore 95%	Superiore 95%	Inferiore 95,0%	Superiore 95,0%
17	Intercetta	-8,157708643	36,33053838	-0,224541364	0,825178483	-85,17500947	68,85959218	-85,17500947	68,85959218
18	Variabile X 1	-17,97256333	32,47860227	-0,55336628	0,587662485	-86,8241244	50,87899773	-86,8241244	50,87899773
19	Variabile X 2	58,64731958	42,77579689	1,37103979	0,189288364	-32,03331894	149,3279581	-32,03331894	149,3279581
20	Variabile X 3	3,071409812	16,46663304	0,186523244	0,854378921	-31,83629283	37,97911246	-31,83629283	37,97911246
21	Variabile X 4	0,000330839	0,000355104	0,931667402	0,365354498	-0,000421948	0,001083626	-0,000421948	0,001083626
22	Variabile X 5	15,23021756	35,48077971	0,429252617	0,673463552	-59,98567536	90,44611048	-59,98567536	90,44611048
23	Variabile X 6	43,01982418	13,9552537	3,082697391	0,00713372	13,43600791	72,60364045	13,43600791	72,60364045

Figura 8-4 regressione lineare Excel

Il livello di significatività di un esperimento è definito come un valore (P) della probabilità che le differenze osservate siano dovute al caso.

Convenzionalmente si definisce P= 0.05 (5% di probabilità), all'interno dell'intervallo reale compreso fra 0 (nessuna probabilità che la differenza osservata possa essere ascritta al caso) e 1 (certezza che la differenza osservata sia casuale). P è quindi il valore più basso al quale l'ipotesi zero può essere respinta.

Se P è inferiore a 0.05, avvicinandosi così di molto allo 0, significa bassa probabilità che la differenza osservata possa essere ascritta al caso, e dunque si parla di significatività statistica.

Come possiamo vedere dall'immagine, il valore di significatività che ho ottenuto per ogni coefficiente è generalmente abbastanza alto, non è proprio uguale a uno ma si avvicina molto.

Ho imputato questo alla mancanza di dati e, quindi, all'aver tratto il modello di costo da una popolazione campionaria di codici troppo esigua.

Nella colonna denominata "Coefficienti" sono presenti i coefficienti che utilizzerò nell'equazione per calcolare la complessità della forma.

$$CF = w_0 + w_1 * C_{PR} + w_2 * C_{AR} + w_3 * C_{NC} + w_4 * C_{CR} + w_5 * C_{TR} + w_6 * C_{DR}$$

ANALISI VARIANZA								
	gdl	SQ	MQ	F	Significatività F			
Regressione	6	4944,158994	824,026499	3,198128473	0,029354592			
Residuo	16	4122,543574	257,6589734					
Totale	22	9066,702568						
	Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significatività	Inferiore 95%	Superiore 95%	Inferiore 95,0%	Superiore 95,0%
Intercetta	-8,157708643	36,33053838	-0,224541364	0,825178483	-85,17500947	68,85959218	-85,17500947	68,85959218
Variabile X 1	-17,97256333	32,47860227	-0,55336628	0,587662485	-86,8241244	50,87899773	-86,8241244	50,87899773
Variabile X 2	58,64731958	42,77579689	1,37103979	0,189288364	-32,03331894	149,3279581	-32,03331894	149,3279581
Variabile X 3	3,071409812	16,46663304	0,186523244	0,854378921	-31,83629283	37,97911246	-31,83629283	37,97911246
Variabile X 4	0,000330839	0,000355104	0,931667402	0,365354498	-0,000421948	0,001083626	-0,000421948	0,001083626
Variabile X 5	15,23021756	35,48077971	0,429252617	0,673463552	-59,98567536	90,44611048	-59,98567536	90,44611048
Variabile X 6	43,01982418	13,9552537	3,082697391	0,00713372	13,43600791	72,60364045	13,43600791	72,60364045
w0	-8,157708643							
w1	-17,97256333							
w2	58,64731958							
w3	3,071409812							
w4	0,000330839							
w5	15,23021756							
w6	43,01982418							

Figura 8-5 regressione lineare Excel

TIPO STAMPO	CODICE	VALORE CF	CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR	CF REGRESSIONE
VITE SENZA FINE	B3231.03	27,37631999	0,65088141	0,601080175	0	0	1	0,11835443	35,71782947
COVER	B5813.11	46,00163108	0,93647973	0,820521607	0,292893219	9459,459459	1	0,164300054	49,46027223
ANTIFURTO	B6165.02	38,50811325	0,945619335	0,854548376	0,292893219	1208,459215	1	0	41,49367764
COPRISERRATURA	B6518.01	49,54406567	0,01686747	0,240053917	0,292893219	4337,349398	1	0,597858498	48,90220252
GUSCIO	B7130.01	81,27969575	0,922515682	0,863325306	0	0	1	0	41,1242525
COVER	B6789.30	46,00163108	0,930521585	0,844605676	0,292893219	15678,89621	1	0,382201842	62,41154967
VITE	B6792.30	36,77176483	0,768571429	0,64586719	0	0	1,055555556	0	31,98381293
MADRE VITE	B6793.30	31,71061502	0,809572525	0,686853914	0	0	1	0,289633194	45,26452552
GUSCIO	B7129.02	81,27969575	0,931114104	0,880663416	0	0	1,011736263	0,697183433	72,15628927
GANCIO	B4408.07	79,98475579	0,92138479	0,631086578	0,5	0	1	0,907071833	68,08217436
CAMMA	B5503.20	33,54423114	0,870858283	0,625606507	0	0	1	0,121349096	33,33151481
COVER	B5525.40	46,00163108	0,918743867	0,820097062	0,292893219	13248,28263	1	0,404454113	61,33900818
SALTARELLO	B6791.30	75,31661701	0,770221419	0,496830328	0,292893219	47446,90465	1	0,685746405	68,46498909
STAFFA	B7295	49,62920121	0,960765	0,88183599	0,292893219	2125	1	0,485757763	64,02225754
ANELLO ROTANTE	B7372.00	22,62783224	0,810256966	0,62493886	0	0	0,52	0	21,85059886
INSERIMENTO PIVOT	B7370	78,49437056	0,778196347	0,654484258	0,292893219	91324,20091	1	0,894053176	101,0452765
ESPULSORE INTERNO	B7371	29,14059063	0,764342105	0,57946821	0	526315,7895	1	0,0375	203,058557
COVER	B7373	46,00163108	0,921674768	0,839408149	0,292893219	18780,38003	1	0,123999735	52,18401088
CAMMA	B7379	33,54423114	0,882702932	0,741758064	0,292893219	69060,77348	1	0,44289107	77,51087782
VITE	B7382	36,77176483	0,657703927	0,663055753	0,292893219	2779456,193	1	0,192622951	962,8767429
MADRE VITE	B7383	31,71061502	0,913932645	0,629498643	0,292893219	285171,1027	1	0,18636684	130,827961
CARRELLINO CHIUSURA	B7384	30,34400536	0,819445953	0,631697452	0,292893219	323193,9163	1	0	137,2170403
COVER	B6882.10	46,00163108	0,899879276	0,840207549	0,422649731	36720,32193	1	0	53,62193354

Figura 8-6 tabella che mostra il CF ottenuto tramite regressione



## 9 COSTO CAMERA CALDA

Un costo molto importante da tenere in considerazione è il costo della camera calda.

Il modo che ho utilizzato per stimarlo è usufruire di un fornitore.

Meusburger produce camere calde oltre a portastampi ecc...

Questo ha un sito internet molto sofisticato che permette al cliente di crearsi il suo stampo.

Per sapere il costo della camera calda mi è bastato sapere il numero di ugelli usato dallo stampo di ogni codice.

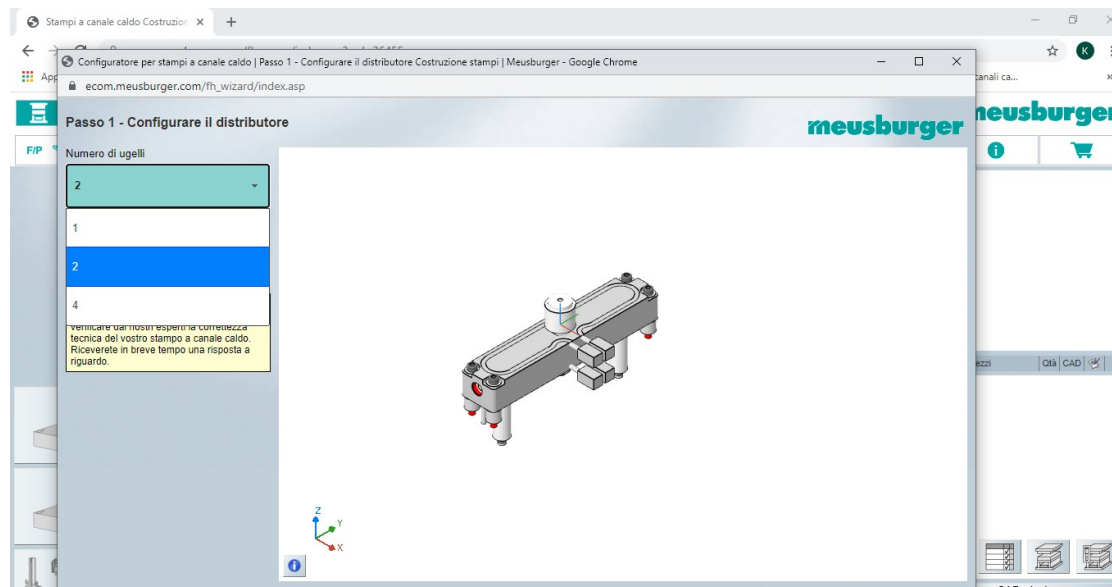


Figura 9-1 scelta numero ugelli della camera calda

Dopo aver selezionato il numero di ugelli della camera calda, ho inserito altri parametri poco influenti sul costo della camera calda.

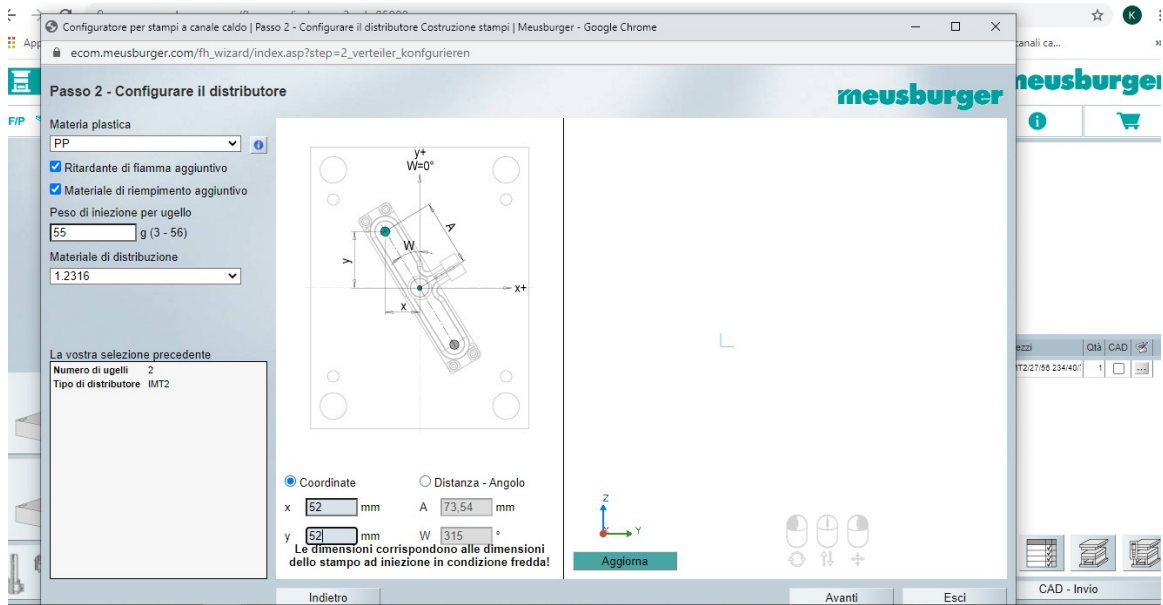


Figura 9-2 inserimento parametri della camera calda

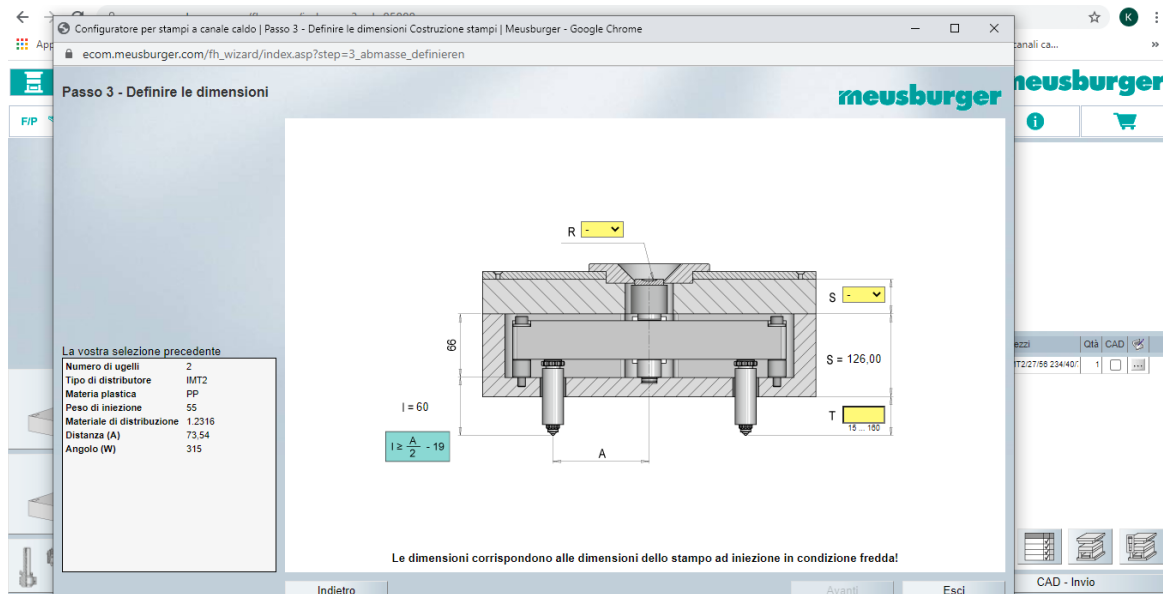


Figura 9-3 inserimento parametri camera calda

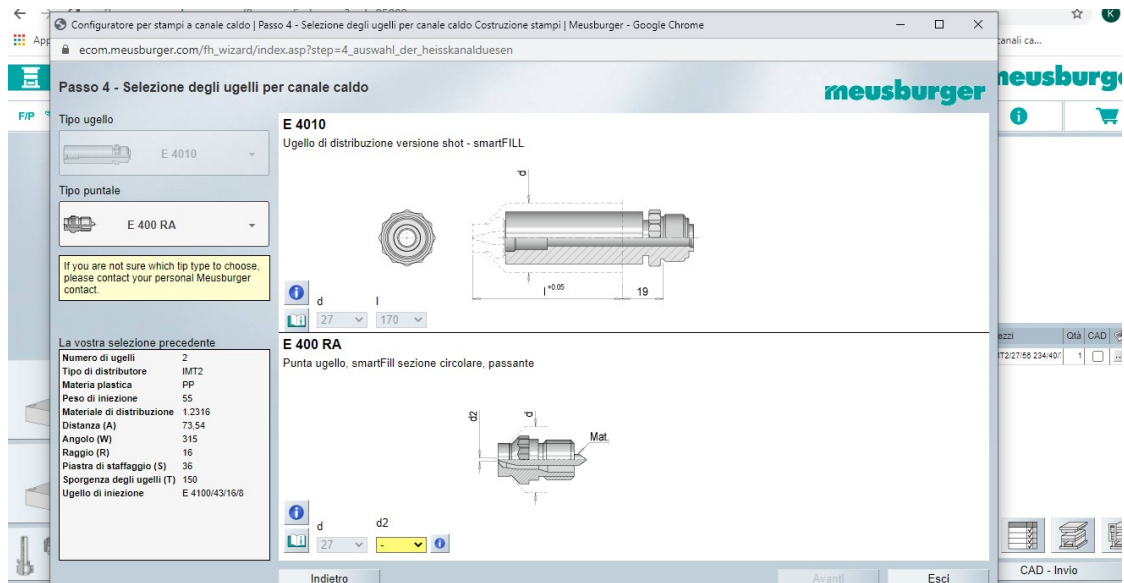


Figura 9-4 inserimento parametri camera calda

Infine ottengo il costo della camera calda avendo impostato due ugelli:

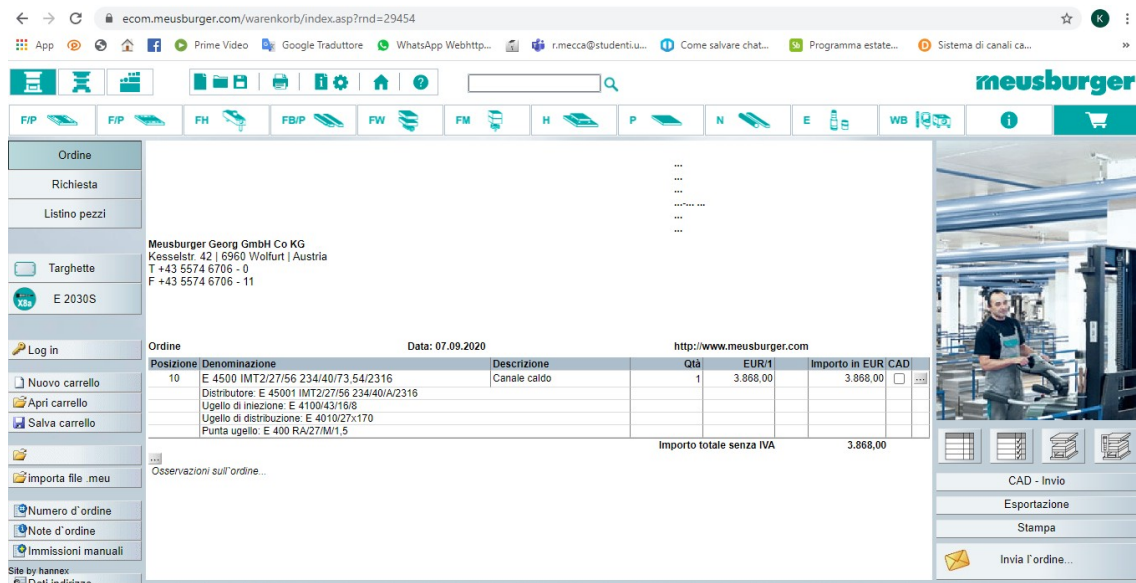


Figura 9-5 costo della camera calda

Tutti questi costi li inseriti in un file Excel

#CODICE	TIPO STAMPO	DIMENSIONI (mm)	N UGELLI	NUMERO FIGURE STAMPO	COSTO CAMERA CALDA
B3231.03	VITE SENZA FINE	196x346	4	16	6.368,00 €
B5813.11	COVER	346x396	2	4	3.715,00 €
B6788.00	GUSCIO		1	2	2.450,00 €
B6165.02	ANTIFURTO	546x696	2	4	3.715,00 €
B6518.01	COPRISERRATURA	396x496	2	4	3.715,00 €
B7130.01	GUSCIO	550x550	4	4	6.368,00 €
B6789.30	COVER	446x500	4	4	6.368,00 €
B6792.30	VITE	216x246	2	4	3.715,00 €
B6793.30	MADRE VITE	256x296	2	4	3.715,00 €
B7129.02	GUSCIO	550x550	4	4	6.368,00 €
B4408.07	GANCIO	300x230	4	4	6.368,00 €
B5503.20	CAMMA	196x196	4	8	6.368,00 €
B5525.40	COVER	396x516	4	4	6.368,00 €
B6791.30	SALTARELLO	245x295	2	4	3.715,00 €
B7295	STAFFA	400x400	1	1	2.450,00 €
B7372.00	ANELLO ROTANTE	296x296	8	16	12.162,88 €
B7370	INSERIMENTO PIVOT	246x346	4	8	6.368,00 €
B7371	ESPULSORE INTERNO	246x296		8	
B7373	COVER	346x396	8	8	12.162,88 €
B7379	CAMMA	346x346		8	
B7382	VITE	316x384	2	8	3.715,00 €
B7383	MADRE VITE	296x346	8	8	12.162,88 €
B7384	CARRELLO CHIUSURA	346x346	8	8	12.162,88 €

Figura 9-6 file della camera calda

## 10 COSTO PORTASTAMPO

Un altro step importante è stato calcolare il costo del portastampo date le dimensioni dello stampo di ogni codice.

Per stimare il costo ho usufruito anche questa volta, del sito meusbarger, inserendo per ogni codice le dimensioni del suo stampo.

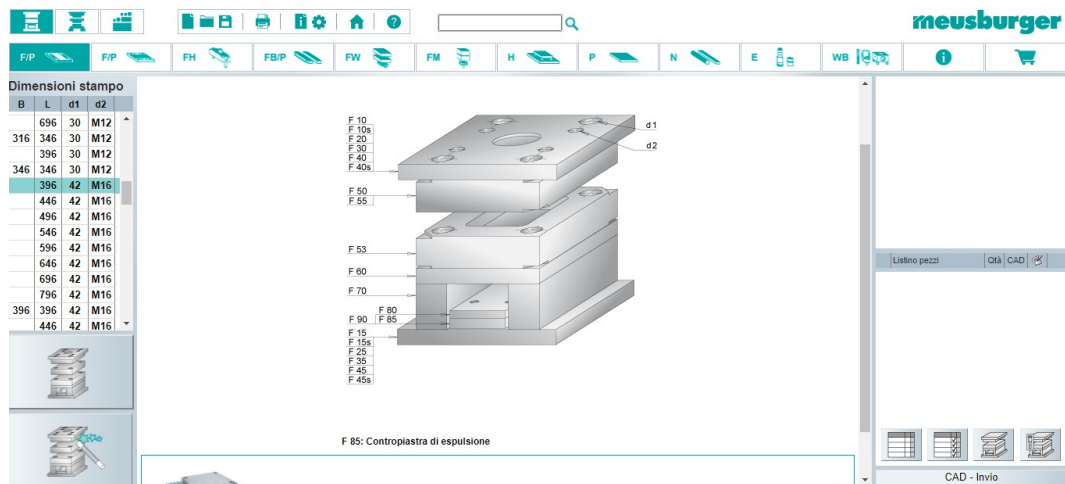


Figura 10-1 inserisco dimensioni

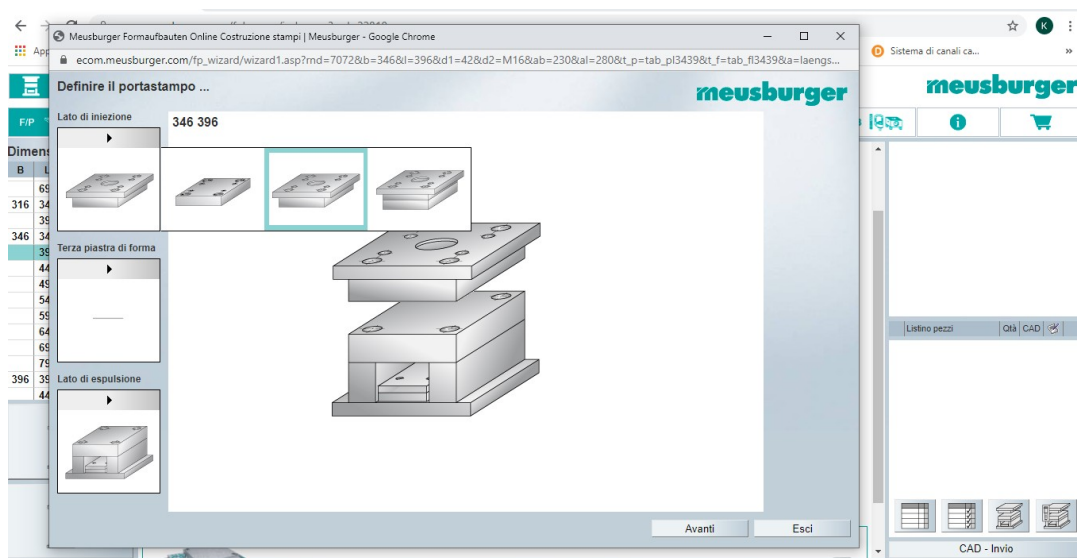


Figura 10-2 scelgo la tipologia di piastra

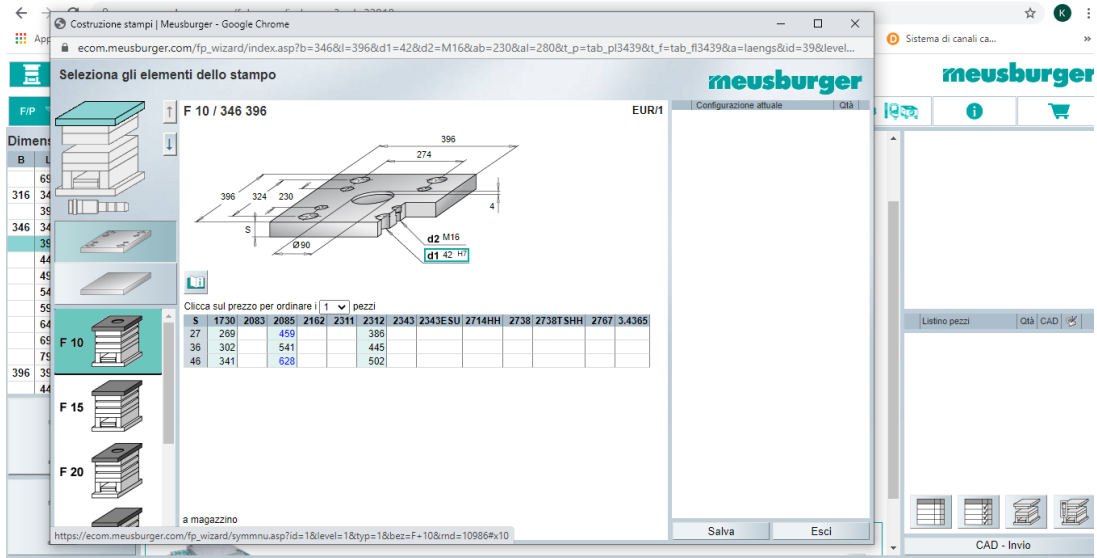


Figura 10-3 scelgo le dimensioni di ogni piastra

Dopo aver scelto le dimensioni e il materiale di tutte e cinque le piastre ottengo il costo totale:

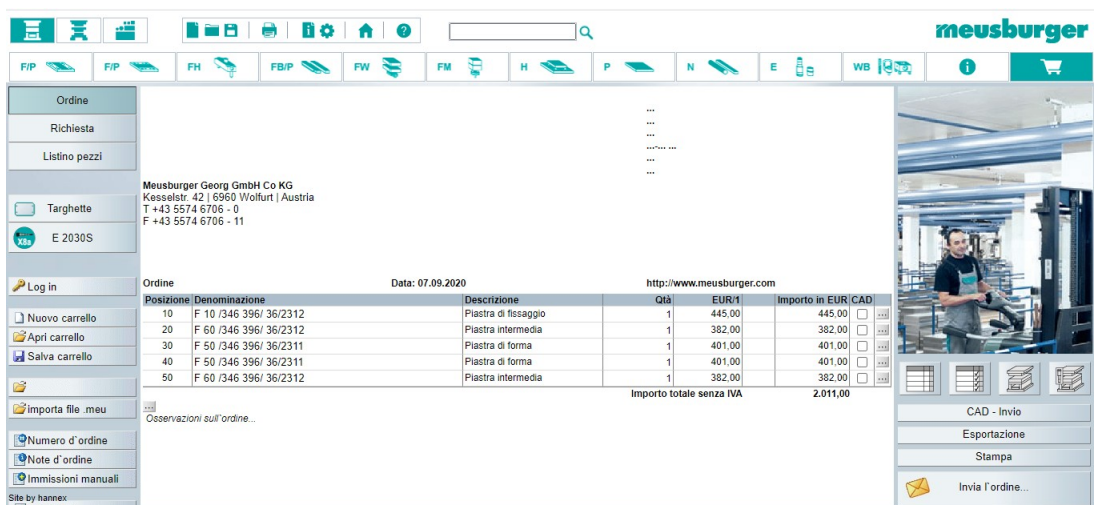


Figura 10-4 ottengo il costo totale del portastampo

Anche questa volta ho catalogato i costi ottenuti in un file Excel.

Per ogni codice ho riportato la dimensione dello stampo, il materiale delle piastre e il loro costo, tramite la densità e il volume ho calcolato il peso tramite la formula.

$$d = \frac{M}{V}$$

M = massa

V = volume

Nell'ultima riga di Excel c'è un numero che rappresenta costo al chilo, numero che io ho chiamato fattore moltiplicativo.

CODICE	B3231.03	B5813.10	B6165.02	B6518.01	B7370	B4408.07	B6789
DIMENSIONI (mm)	196x346	346x396	546x696	546x696	246x346	300x230	446x5
PIASTRA fissaggio	2312	2312	2312	2312	2312	2312	23
PIASTRA intermedia	2312	2312	2312	2312	2312	2311	23
PIASTRA forma	2311	2311	2311	2311	2311	2311	23
PIASTRA forma	2311	2311	2311	2311	2311	2312	23
PIASTRA intermedia	2312	2312	2312	2312	2312	2312	23
COSTO 1 (€)	230,00 €	386,00 €	964,00 €	964,00 €	275,00 €	306,00 €	548,0
COSTO 2 (€)	182,00 €	329,00 €	984,00 €	984,00 €	226,00 €	257,00 €	557,0
COSTO 3 (€)	198,00 €	325,00 €	894,00 €	894,00 €	208,00 €	329,00 €	577,0
COSTO 4 (€)	198,00 €	325,00 €	894,00 €	894,00 €	208,00 €	329,00 €	577,0
COSTO 5 (€)	182,00 €	329,00 €	984,00 €	984,00 €	226,00 €	300,00 €	557,0
TOTALE (€)	990,00 €	1.694,00 €	4.720,00 €	4.720,00 €	1.143,00 €	1.521,00 €	2.816,0
DENSITA 2311 (Kg/dm3)	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,
DENSITA 2312 (Kg/dm3)	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,
VOLUME 1 (dm3)	1,491952	3,699432	17,480736	17,480736	2,298132	2,952072	6,5745
VOLUME 2 (dm3)	1,491952	3,699432	21,280896	21,280896	2,298132	2,952072	8,7665
VOLUME 3 (dm3)	1,491952	3,014352	17,480736	17,480736	1,446972	3,936096	8,7665
VOLUME 4 (dm3)	1,491952	3,014352	17,480736	17,480736	1,446972	3,936096	8,7665
VOLUME 5 (dm3)	1,491952	3,699432	21,280896	21,280896	2,298132	3,936096	8,7665
VOLUME TOT	7,45976	17,127	95,004	95,004	9,78834	17,71243	41,641
PESO PIASTRA fissaggio (KG)	11,7118232	29,0405412	137,2237776	137,2237776	18,0403362	23,17377	51,613
PESO PIASTRA intermedia (KG)	11,7118232	29,0405412	167,0550336	167,0550336	18,0403362	23,17377	68,817
PESO PIASTRA forma (KG)	11,7118232	23,6626632	137,2237776	137,2237776	11,3587302	30,89835	68,817
PESO PIASTRA forma (KG)	11,7118232	23,6626632	137,2237776	137,2237776	11,3587302	30,89835	68,817
PESO PIASTRA intermedia (KG)	11,7118232	29,0405412	167,0550336	167,0550336	18,0403362	30,89835	68,817
COSTO AL KG fissaggio	19,64 €	13,29 €	7,03 €	7,03 €	15,24 €	13,20 €	10,6
COSTO AL KG intermedia	15,54 €	11,33 €	5,89 €	5,89 €	12,53 €	11,09 €	8,0
COSTO AL KG forma	16,91 €	13,73 €	6,51 €	6,51 €	18,31 €	10,65 €	8,3
COSTO AL KG forma	16,91 €	13,73 €	6,51 €	6,51 €	18,31 €	10,65 €	8,3
COSTO AL KG intermedia	15,54 €	11,33 €	5,89 €	5,89 €	12,53 €	9,71 €	8,0
PESO TOTALE	58,559116	134,44695	745,7814	745,7814	76,838469	139,0426	326,88
KG/dm3	132,71	98,91	49,68	49,68	116,77	85,87	67,
€/kg	16,91	12,60	6,33	6,33	14,88	10,94	8,

10-5 elenco caratteristiche piastre per codice

Ho, poi, notato che gli stampi con delle dimensioni simili avevano lo stesso fattore moltiplicativo e ancor più importante è che all'aumentare delle dimensioni diminuiva il costo al chilo come era, d'altro canto, intuibile.

Riporto qui l'immagine del file dove ho diviso gli stampi in classi:

CLASSI	DIM	FATTORE MOLTIPLICATIVO	MATERIALE PORTAS
A	196x346	16,91	2311
B	196x196	16,19	2311
C	196x246	14,49	2311
D	159x196	16,94	2311
E	346x396	12,60	2311
F	350x350	10,35	2311
G	346x396	10,61	2311
H	346x346	10,35	2311
I	346x296	10,35	2311
J	246x346	14,88	2311
K	245x295	12,68	2311
L	216x246	14,10	2311
M	256x296	11,69	2311
N	246x296	12,67	2311
O	296x296	11,69	2311
P	300x230	10,94	2311
Q	316x384	10,20	2311
R	446x500	8,61	2311
S	396x516	8,83	2311
T	400x400	9,24	2311
U	446x481	8,89	2311
V	546x696	6,33	2311
X	550x550	6,64	2311

Figura 10-6 classi portastampo con annesso fattore moltiplicativo

Nell'immagine seguente riporto tutti i fattori che entrano in gioco per calcolare un costo del portastampo, ovvero:

- Il fattore moltiplicativo;
- Il materiale e, quindi, la densità;
- Il volume;
- La massa (peso).



Ed infine calcolo il costo moltiplicando la massa del portastampo e il fattore moltiplicativo.

CLASSI	DIM	FATTORE MOLTIPLICATIVO	MATERIALE PORTASTAMPO	DENSITA' MAT	VOLUME PORTASTAMPO	PESO PORTASTAMPO	COSTO NETTO
A	196x346	16,91	2311	7,85	7,45976	58,559116	990,23 €
B	196x196	16,19	2311	7,85	6,56912	51,567592	834,88 €
C	196x246	14,49	2311	7,85	8,244936	64,7227476	937,83 €
D	159x196	16,94	2311	7,85	6,031312	47,3457992	802,04 €
E	346x396	12,60	2311	7,85	17,127	134,44695	1.694,03 €
F	350x350	10,35	2311	7,85	34,014636	267,0148926	2.763,60 €
G	346x396	10,61	2311	7,85	23,429736	183,9234276	1.951,43 €
H	346x346	10,35	2311	7,85	20,471436	160,7007726	1.663,25 €
I	346x296	10,35	2311	7,85	20,471436	160,7007726	1.663,25 €
J	246x346	14,88	2311	7,85	9,78834	76,838469	1.143,36 €
K	245x295	12,68	2311	7,85	12,451536	97,7445576	1.239,40 €
L	216x246	14,10	2311	7,85	9,086256	71,3271096	1.005,71 €
M	256x296	11,69	2311	7,85	14,982336	117,6113376	1.374,88 €
N	246x296	12,67	2311	7,85	12,451536	97,7445576	1.238,42 €
O	296x296	11,69	2311	7,85	14,982336	117,6113376	1.374,88 €
P	300x230	10,94	2311	7,85	17,712432	139,0425912	1.521,13 €
Q	316x384	10,20	2311	7,85	21,398256	167,9763096	1.713,36 €
R	446x500	8,61	2311	7,85	41,641236	326,8837026	2.814,47 €
S	396x516	8,83	2311	7,85	38,91885	305,5129725	2.697,68 €
T	400x400	9,24	2311	7,85	34,014636	267,0148926	2.467,22 €
U	446x481	8,89	2311	7,85	37,827936	296,9492976	2.639,88 €
V	546x696	6,33	2311	7,85	95,004	745,7814	4.720,80 €
X	550x550	6,64	2311	7,85	85,25184	669,226944	4.443,67 €

Figura 10-7 calcolo costo portastampo per classi

## 11 CALCOLO COSTO MATRICE

Il penultimo passaggio del lavoro è stato calcolare il costo delle matrici per stampo.

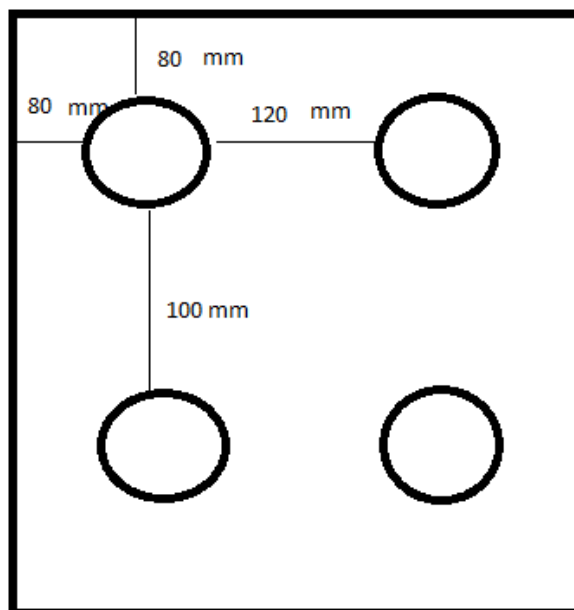
Sottolineo che per ogni stampo le matrici da considerare sono due, una inferiore ed una superiore.

Quindi il costo totale sarà moltiplicato per due.

In questo caso mi sono servita di alcuni dati noti:

- Il numero di figure dello stampo;
- Altezza del pezzo;
- Materiale della matrice;
- Densità del materiale;
- Costo materiale al kg;

per calcolare il costo ho dovuto, però, contattare un fornitore di stampi che ha detto (in maniera orientativa) quali sono le distanze tra le figure e le distanze delle figure dai bordi, dimensioni che rappresenterò tramite uno schizzo:



*Figura 11-1 dimensioni matrice*

C'è una distanza di 80 mm dai bordi, 120 mm in larghezza e 100 mm in lunghezza tra le figure, infine lo spessore lo calcolo sommando 100 mm e l'altezza divisa per due (poiché una delle due matrici abbraccia metà pezzo).

Dopo aver raccolto tutti i dati necessari, li ho inseriti, come sempre, in un unico file Excel, rappresentato qui di seguito:

# CODICE	# FIGURE	DIMENSIONI	DIMENSIONI	ALTEZZA PEZZO (mm)	VOLUME MATRICE (dm <sup>3</sup> )	MATERIALE MATRICE	DENSITA' MATERIALE (KG/dm <sup>3</sup> )	COSTO MATERIALE AL KG	MASSA MATRICE (KG)
B3231.03	16	280	860	7,9	25,982	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	204,48
B5813.11	4	260	280	40,846	10,254	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	80,70
B6165.02	2	280	160	24,091	5,559	STAVAX	7,87	8,7	43,75
B6518.01	4	260	280	103,292	14,800	NIMAX	7,87	8,7	116,47
B7130.01	4	260	280	80,711	13,156	NIMAX	7,87	8,7	103,54
B6789.30	4	260	280	52,556	11,106	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	87,40
B6792.30	4	260	280	5,631	7,690	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	60,52
B6793.30	4	260	280	16,003	8,445	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	66,46
B7129.02	4	260	280	105,341	14,949	STAVAX	7,87	8,7	117,65
B4408.07	4	260	280	43,044	10,414	STAVAX	7,87	8,7	81,96
B5503.20	8	460	280	11,504	14,362	STAVAX	7,87	8,7	113,03
B5525.40	4	260	280	56,083	11,363	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	89,43
B6791.30	4	260	280	21,349	8,834	STAVAX	7,87	8,7	69,53
B7295	1	160	160	126,174	5,790	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	45,57
B7372.00	16	280	860	3,787	24,992	STAVAX	7,87	8,7	196,69
B7370	8	460	280	9,854	14,149	STAVAX	7,87	8,7	111,35
B7371	8	460	280	8	13,910	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	109,47
B7373	8	460	280	30,242	16,775	STAVAX	7,87	8,7	132,02
B7379	8	460	280	22,317	15,754	STAVAX	7,87	8,7	123,99
B7382	8	460	280	5,612	13,603	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	107,05
B7383	4	260	280	15,609	8,416	ORVAR SUPREME	7,87	9,2	66,24
B7384	8	460	280	12,95	14,548	STAVAX	7,87	8,7	114,49
B6682.10	2	280	160	29,492	5,801	STAVAX	7,87	8,7	45,66

Figura 11-2 file per il calcolo del costo della matrice

Le dimensioni sono standard per tutte le matrici con n figure.

Ho calcolato il volume della matrice moltiplicando la lunghezza per la larghezza e lo spessore, il volume è in mm<sup>3</sup> e l'ho convertito in dm<sup>3</sup> poiché l'ho moltiplicato per la densità del materiale della matrice per ottenere la massa.

Ottenuta la massa l'ho moltiplicata per il costo del materiale al kg, moltiplicandolo anche per due ho ottenuto il costo totale della matrice.

# CODICE	COSTO MATERIALE AL KG	MASSA MATRICE (KG)	COSTO TOTALE (€)
B3231.03	9,2	204,48	3.762,45 €
B5813.11	9,2	80,70	1.484,80 €
B6165.02	8,7	43,75	761,28 €
B6518.01	8,7	116,47	2.026,64 €
B7130.01	8,7	103,54	1.801,52 €
B6789.30	9,2	87,40	1.608,25 €
B6792.30	9,2	60,52	1.113,56 €
B6793.30	9,2	66,46	1.222,91 €
B7129.02	8,7	117,65	2.047,06 €
B4408.07	8,7	81,96	1.426,02 €
B5503.20	8,7	113,03	1.966,66 €
B5525.40	9,2	89,43	1.645,43 €
B6791.30	8,7	69,53	1.209,74 €
B7295	9,2	45,57	838,45 €
B7372.00	8,7	196,69	3.422,34 €
B7370	8,7	111,35	1.937,56 €
B7371	9,2	109,47	2.014,34 €
B7373	8,7	132,02	2.297,16 €
B7379	8,7	123,99	2.157,38 €
B7382	9,2	107,05	1.969,80 €
B7383	9,2	66,24	1.218,75 €
B7384	8,7	114,49	1.992,17 €
B6882.10	8,7	45,66	794,41 €

Figura 11-3 calcolo costo totale delle matrici

## 12 COSTO DELLE ATTREZZATURE

Come avevo detto precedentemente, dalla ricerca si evinceva che il costo delle attrezzature dei getti ottenuti tramite processo fusorio è:

$$C_a = 0.629V_{getto} + 0.048C_{ac} + 0.023C_s + 0.739$$

Quando tutti i costi intermedi sono stati calcolati e ho messo insieme tutte le componenti, mi sono resa conto che il costo delle attrezzature era troppo basso rispetto a quello reale, poiché il volume dei pezzi ottenuti per stampaggio è molto più piccolo del volume dei pezzi ottenuti tramite processo fusorio.

Per cui, la mia prima idea è stato proprio quella di aumentare il parametro del volume del pezzo, essendo molto piccolo andava valorizzato di più.

Ho aumentato anche il parametro del  $C_{ac}$  perché ho individuato una correlazione importante tra il costo dello stampo e il valore del  $C_{ac}$

Ho applicato la regressione lineare ed ho ottenuto:

$$C_a = 0.9 V_{pezzo} + 0.08 C_{ac} + 0.016 C_s + 1$$

La cosa più interessante che è venuta fuori è una correlazione tra il valore di  $C_{ac}$  e il costo totale del codice ed il rispettivo costo delle lavorazioni degli stessi.

Per questo motivo possiamo classificare gli stampi in base al costo.

20K		
CODICI	CL	CT
B6789.30	14.400,00 €	20.120,00 €
B6792.30	12.880,00 €	18.780,00 €
B6791.30	12.850,00 €	20.150,00 €
30K		
CODICI	CL	CT
B3231.03	20.160,00 €	27.620,00 €
B6165.02	24.510,00 €	30.340,00 €
B6518.01	15.000,00 €	28.000,00 €
B4408.07	26.390,00 €	34.280,00 €
B7372	21.920,00 €	33.220,00 €
B7379	23.540,00 €	36.990,00 €
B7382	24.800,00 €	35.800,00 €
40K		
CODICI	CL	CT
B6793.30	25.865,00 €	43.265,00 €
B7129.02	31.950,00 €	44.200,00 €
B7295	35.550,00 €	41.420,00 €
B7384	24.420,00 €	38.120,00 €
50K		
CODICI	CL	CT
B7383	31.800,00 €	46.750,00 €
60K		
CODICI	CL	CT
B7373	43.020,00 €	58.020,00 €

Figura 12-1 catalogazione codici

Come si può vedere dall'immagine, i codici con il costo totale simile hanno anche il costo delle lavorazioni simile e di conseguenza hanno lo stesso valore  $d_{ac}$  (la precisione richiesta dal pezzo).

Ho realizzato un modello che schematizzi il valore del  $C_{ac}$  in base al costo totale dello stampo.

Le x sono i costi totali o meglio le migliaia del costo totale elencati in maniera decrescente, mentre le y sono i valori del  $C_{ac}$  associati.

X	Y
90	117
80	116
60	107
50	103
30	100
20	95
10	90

L'aumento del  $C_{ac}$  con l'aumento del costo dello stampo è palese.

Dal grafico sottostante possiamo notare che l'aumento del  $C_{ac}$  è un aumento lineare.

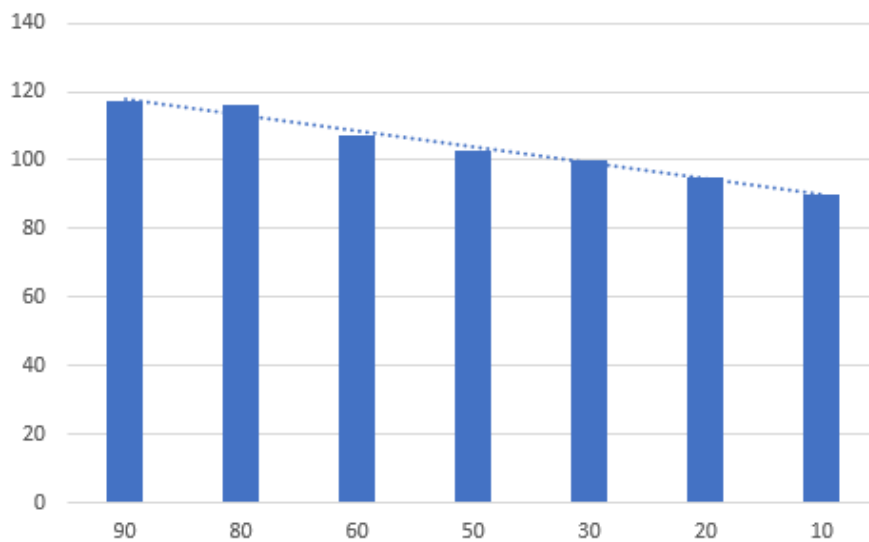


Figura 12-2 istogramma con linea di tendenza

Sulla base di questi dati, ho ideato un modello di previsione dell'andamento dell' $C_{ac}$  all'aumentare del costo totale degli stampi.

Sequenza temporale	Valori	Previsione	Intervallo di confidenza
10	90		
20	95		
30	100		
40	101,5		
50	103		
60	107		
70	111,5		
80	116		
90	117		
100		121,0804052	2,845456632
110		124,4099016	2,933720985
120		127,739398	3,020080594
130		131,0688944	3,104697016

Figura 12-3 dati previsione

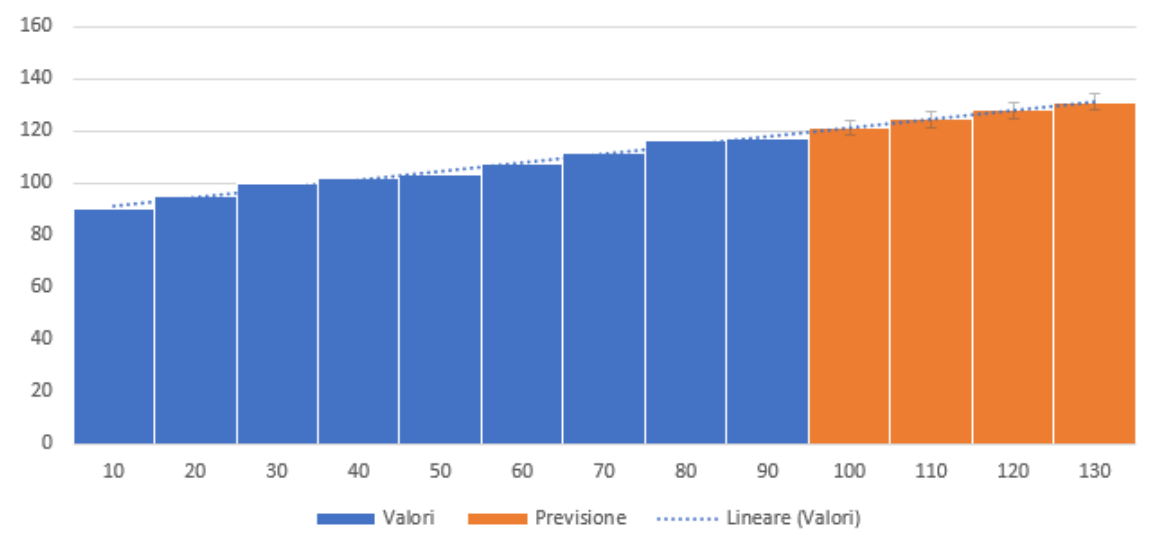


Figura 12-4 istogramma della previsione con linea di tendenza



È alquanto difficile riuscire a trovare una correlazione tra il valore di  $C_{ac}$  e lo stampo, per vari motivi tra cui il campione molto limitato di codici che ho potuto analizzare e, soprattutto, la suddivisione limitata dei costi dello stampo.

Comunque questo andamento lineare del  $C_{ac}$  rispetto al costo totale dello stampo è da imputare al costo delle lavorazioni.

Si dovrebbe cercare un driver di costo per ogni famiglia che possa identificare il motivo principale per cui il valore di  $C_{ac}$  subisce aumenti o diminuzioni per quella determinata fascia di costo, ad esempio la progettazione o la fresatura.

Un driver interessante potrebbe riguardare il numero di ore della progettazione o della lucidatura.

Quello che ho provato finora è ricercare una motivazione per questa correlazione nella geometria dei pezzi, ma con scarsi risultati.

Cercare una motivazione è quello che andrebbe fatto d'ora in poi.

Alla fine ho ottenuto questo risultato:

#CODICE	TIPO STAMPO	COSTO PREVISTO	COSTO PREVISTO CON RICARICO	COSTO EFFETTIVO	SCOSTAMENTO	SCOSTAMENTO % CON RICARICO
B3231.03	VITE SENZA FINE	25.332,67 €	27.865,93 €	27.620,00 €	245,93 €	1%
B5813.11	COVER	76.595,32 €	84.254,85 €	90.750,00 €	6.495,15 €	-7%
B6165.02	ANTIFURTO	24.410,83 €	26.851,92 €	35.165,00 €	8.313,08 €	-24%
B6518.01	COPRISERRATURA	27.673,83 €	30.441,21 €	28.000,00 €	2.441,21 €	9%
B7130.01	GUSCIO	66.806,02 €	73.486,62 €	80.000,00 €	6.513,38 €	-8%
B6789.30	COVER	26.886,88 €	29.575,57 €	20.120,00 €	9.455,57 €	47%
B6792.30	VITE	16.674,41 €	18.341,85 €	21.400,00 €	3.058,15 €	-14%
B6793.30	MADRE VITE	22.577,13 €	24.834,84 €	31.550,00 €	6.715,16 €	-21%
B7129.02	GUSCIO	41.945,33 €	46.139,86 €	49.000,00 €	2.860,14 €	-6%
B4408.07	GANCIO	36.107,49 €	39.718,24 €	34.820,00 €	4.898,24 €	14%
B5503.20	CAMMA	23.566,50 €	25.923,15 €	25.923,15 €	25.923,15 €	
B5525.40	COVER	36.038,68 €	39.642,55 €	52.500,00 €	12.857,45 €	-24%
B6791.30	SALTARELLO	23.759,38 €	26.135,32 €	20.150,00 €	5.985,32 €	30%
B7295	STAFFA	26.865,10 €	29.551,61 €	35.550,00 €	5.998,39 €	-17%
B7372.00	ANELLO ROTANTE	29.484,34 €	32.432,77 €	33.220,00 €	787,23 €	-2%
B7370	INSERIMENTO PIVOT	35.227,56 €	38.750,31 €	36.720,00 €	2.030,31 €	6%
B7371	ESPULSORE INTERNO	8.867,52 €	9.754,27 €	11.700,00 €	1.945,73 €	-17%
B7373	COVER	45.126,20 €	49.638,82 €	58.020,00 €	8.381,18 €	-14%
B7379	CAMMA	16.493,23 €	18.142,55 €	17.000,00 €	1.142,55 €	7%
B7382	VITE	18.299,17 €	20.129,08 €	21.000,00 €	870,92 €	-4%
B7383	MADRE VITE	29.808,31 €	32.789,14 €	32.995,00 €	205,86 €	-1%
B7384	CARRELLO CHIUSURA	31.901,90 €	35.092,09 €	38.120,00 €	3.027,91 €	-8%
B6882.10	COVER	37.382,06 €	41.120,27 €	55.027,50 €	13.907,23 €	-25%
					1.296,29 €	-4%

Figura 12-5 costo finale

C'è da sottolineare che ho inserito un ricarico del 10% sul costo netto perché nei CBD era riportato un tale margine, anche se a mio avviso il margine potrebbe essere superiore.

COSTO PREVISTO	COSTO PREVISTO CON RICARICO	COSTO EFFETTIVO
25.332,67 €	27.865,93 €	27.620,00 €
76.595,32 €	84.254,85 €	90.750,00 €
24.410,83 €	26.851,92 €	35.165,00 €
27.673,83 €	30.441,21 €	28.000,00 €
66.806,02 €	73.486,62 €	80.000,00 €
26.886,88 €	29.575,57 €	20.120,00 €
16.674,41 €	18.341,85 €	21.400,00 €
22.577,13 €	24.834,84 €	31.550,00 €
41.945,33 €	46.139,86 €	49.000,00 €
36.107,49 €	39.718,24 €	34.820,00 €
23.566,50 €	25.923,15 €	
36.038,68 €	39.642,55 €	52.500,00 €
23.759,38 €	26.135,32 €	20.150,00 €
26.865,10 €	29.551,61 €	35.550,00 €
29.484,34 €	32.432,77 €	33.220,00 €
35.227,56 €	38.750,31 €	36.720,00 €
8.867,52 €	9.754,27 €	11.700,00 €
45.126,20 €	49.638,82 €	58.020,00 €
16.493,23 €	18.142,55 €	17.000,00 €
18.299,17 €	20.129,08 €	21.000,00 €
29.808,31 €	32.789,14 €	32.995,00 €
31.901,90 €	35.092,09 €	38.120,00 €
37.382,06 €	41.120,27 €	55.027,50 €

Figura 12-6 ho inserito un ricarico del 10% sul costo totale che avevo calcolato

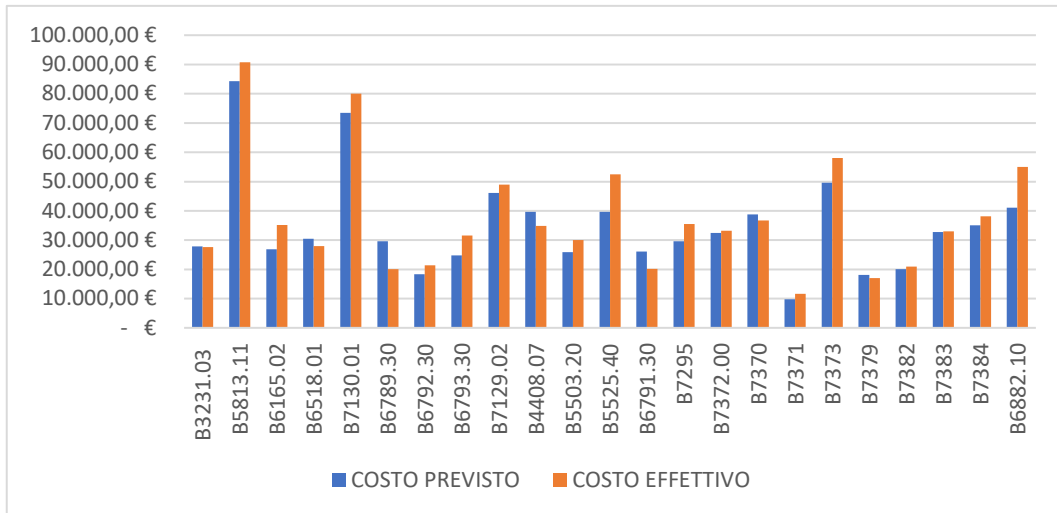


Figura 12-7 grafico raffigurante l'andamento del costo effettivo rispetto al previsto

Il grafico mostra come il costo da me previsto segua il costo effettivo degli stampi.

Sull'asse delle x sono presenti i codici osservati mentre sull'asse delle y abbiamo il costo dello stampo per ogni codice osservato.

Posso ritenermi soddisfatta del lavoro finora svolto dicendo, però, che ci sarebbero alcuni passi ancora da fare, come per esempio testare il modello e riuscire a spiegare con dei dati l'evidente correlazione tra la precisione prevista dal pezzo e il costo totale dello stampo.

## 13 RISULTATI

Ho analizzato i risultati ottenuti attuando la formula del modello per prevedere il costo di uno stampo.

Ho ottenuto una gaussiana usando la funzione Excel "DISTRIB.NORM.ST.N".

Nella colonna delle x ho inserito lo scostamento percentuale del costo calcolato da me dal costo reale per ogni codice.

Nella colonna delle y ho applicato la formula che ho scritto pocanzi.

x	y
0,01	0,40
-0,07	0,40
-0,24	0,39
0,09	0,40
-0,08	0,40
0,47	0,36
-0,14	0,39
-0,21	0,39
-0,06	0,40
0,14	0,40
0,00	0,40
-0,14	0,39
0,30	0,38
-0,17	0,39
-0,02	0,40
0,06	0,40
-0,17	0,39
-0,14	0,39
0,07	0,40
-0,04	0,40
-0,01	0,40
-0,08	0,40
-0,25	0,39
-0,03	0,40

Nonostante abbia costruito questo modello partendo dall'analisi di ben pochi dati, tutti i riscontri che ho avuto finora sono stati positivi.

Dopo aver calcolato tutti i costi che portano al costo totale dello stampo, ho analizzato i dati ottenuti e li ho confrontati.

Possiamo dire, come prima analisi, che il rapporto tra il costo del portastampo e il costo della matrice si attesta attorno all' 1.62, con oscillazioni più o meno ampie per ogni codice, come si vede dalla tabella sottostante.

Il costo del portastampo è, in generale, più importante del costo delle matrici.

CODICE	FAMIGLIA	COSTO MATRICE	COSTO PORTASTAMPO	CF	RAPPORTO COSTO MATRICE E COSTO PORTASTAMPO
B3231.03	VITE SENZA FINE	3.624,71 €	990,23 €	35,72	0,27 €
B5813.11	COVER	1.269,50 €	1.951,43 €	49,46	1,54 €
B6165.02	ANTIFURTO	687,38 €	2.763,00 €	41,49	4,02 €
B6518.01	COPRISERRATURA	1.511,77 €	4.720,80 €	48,90	3,12 €
B7130.01	GUSCIO	1.399,22 €	2.763,60 €	41,12	1,98 €
B6789.30	COVER	1.331,23 €	4.443,67 €	62,41	3,34 €
B6792.30	VITE	1.083,88 €	2.814,47 €	31,98	2,60 €
B6793.30	MADRE VITE	1.138,55 €	1.005,71 €	45,26	0,88 €
B7129.02	GUSCIO	1.521,99 €	1.374,88 €	72,16	0,90 €
B4408.07	GANCIO	1.211,46 €	4.443,67 €	68,08	3,67 €
B5503.20	CAMMA	1.865,21 €	1.521,13 €	33,33	0,82 €
B5525.40	COVER	1.349,82 €	834,88 €	61,34	0,62 €
B6791.30	SALTARELLO	1.103,32 €	2.697,68 €	68,46	2,45 €
B7295	STAFFA	604,58 €	1.239,40 €	64,02	2,05 €
B7372.00	ANELLO ROTANTE	3.359,90 €	2.467,22 €	21,85	0,73 €
B7370	INSERIMENTO PIVOT	1.850,66 €	1.374,88 €	71,98	0,74 €
B7371	ESPULSORE INTERNO	1.939,73 €	1.143,36 €	28,93	0,59 €
B7373	COVER	2.030,46 €	1.143,36 €	46,37	0,56 €
B7379	CAMMA	1.960,57 €	1.694,03 €	53,76	0,86 €
B7382	VITE	1.917,46 €	1.663,25 €	44,12	0,87 €
B7383	MADRE VITE	1.136,48 €	1.713,36 €	37,63	1,51 €
B7384	CARRELLO CHIUSURA	1.877,96 €	1.374,88 €	29,39	0,73 €
B6882.10	COVER	703,95 €	1.663,25 €	49,46	2,36 €
<b>MEDIA</b>					<b>1,62 €</b>

Figura 13-1 tabella rapporto costo matrice e costo portastampo

La tabella che segue mostra, invece, il rapporto che c'è tra il costo della camera calda e il costo della matrice.

Anche in realtà, oltre che secondo le mie previsioni, il costo della camera calda è più importante rispetto al costo delle matrici.

In generale è il fattore che incrementa di più il costo totale dello stampo.

CODICE	FAMIGLIA	COSTO ACME RA CALDA	COSTO MATRICE	CF	RAPPORTO CAMERA CALDA E MATRICE
B3231.03	VITE SENZA FINE	6.368,00 €	3.624,71 €	35,72	1,756829127
B5813.11	COVER	3.715,00 €	1.269,50 €	49,46	2,92634443
B6165.02	ANTIFURTO	3.715,00 €	687,38 €	41,49	5,404585659
B6518.01	COPRISERRATURA	3.715,00 €	1.511,77 €	48,90	2,457381016
B7130.01	GUSCIO	6.368,00 €	1.399,22 €	41,12	4,55111971
B6789.30	COVER	6.368,00 €	1.331,23 €	62,41	4,783562197
B6792.30	VITE	3.715,00 €	1.083,88 €	31,98	3,427490751
B6793.30	MADRE VITE	3.715,00 €	1.138,55 €	45,26	3,262910009
B7129.02	GUSCIO	6.368,00 €	1.521,99 €	72,16	4,184008584
B4408.07	GANCIO	6.368,00 €	1.211,46 €	68,08	5,256453009
B5503.20	CAMMA	6.368,00 €	1.865,21 €	33,33	3,414087296
B5525.40	COVER	6.368,00 €	1.349,82 €	61,34	4,717678777
B6791.30	SALTARELLO	3.715,00 €	1.103,32 €	68,46	3,367099029
B7295	STAFFA	2.450,00 €	604,58 €	64,02	4,052417851
B7372.00	ANELLO ROTANTE	12.162,88 €	3.359,90 €	21,85	3,620007568
B7370	INSERIMENTO PIVOT	6.368,00 €	1.850,66 €	71,98	3,44093093
B7371	ESPULSORE INTERNO	- €	1.939,73 €	28,93	0
B7373	COVER	12.162,88 €	2.030,46 €	46,37	5,990209684
B7379	CAMMA	- €	1.960,57 €	53,76	0
B7382	VITE	3.715,00 €	1.917,46 €	44,12	1,937456399
B7383	MADRE VITE	12.162,88 €	1.136,48 €	37,63	10,70226247
B7384	CARRELLO CHIUSURA	12.162,88 €	1.877,96 €	29,39	6,476627649
B6882.10	COVER	3.715,00 €	703,95 €	49,46	5,277390954
<b>MEDIA</b>					<b>3,9568197</b>

Figura 13-2 rapporto camera calda e costo matrici

Ora mostrerò la tabella dove si vede che oltre al costo delle matrici, il costo della camera calda è preponderante anche rispetto al costo del portastampo:

CODICE	FAMIGLIA	COSTO PORTASTAMPO	COSTO CAMERA CALDA	RAPPORTO
B3231.03	VITE SENZA FINE	990,23 €	6.368,00 €	6,430798993
B5813.11	COVER	1.951,43 €	3.715,00 €	1,903734509
B6165.02	ANTIFURTO	- €	3.715,00 €	
B6518.01	COPRISERRATURA	4.720,80 €	3.715,00 €	0,786943514
B7130.01	GUSCIO	2.763,60 €	6.368,00 €	2,304237395
B6789.30	COVER	4.443,67 €	6.368,00 €	1,433050706
B6792.30	VITE	2.814,47 €	3.715,00 €	1,319964947
B6793.30	MADRE VITE	1.005,71 €	3.715,00 €	3,693899539
B7129.02	GUSCIO	1.374,88 €	6.368,00 €	4,631688614
B4408.07	GANCIO	4.443,67 €	6.368,00 €	1,433050706
B5503.20	CAMMA	1.521,13 €	6.368,00 €	4,186372607
B5525.40	COVER	834,88 €	6.368,00 €	7,627449728
B6791.30	SALTARELLO	2.697,68 €	3.715,00 €	1,377109451
B7295	STAFFA	1.239,40 €	2.450,00 €	1,97676137
B7372.00	ANELLO ROTANTE	2.467,22 €	12.162,88 €	4,929796205
B7370	INSERIMENTO PIVOT	1.374,88 €	6.368,00 €	4,631688614
B7371	ESPULSORE INTERNO	1.143,36 €	- €	0
B7373	COVER	1.143,36 €	12.162,88 €	10,63787267
B7379	CAMMA	1.694,03 €	- €	0
B7382	VITE	1.663,25 €	3.715,00 €	2,233574813
B7383	MADRE VITE	1.713,36 €	12.162,88 €	7,098853514
B7384	CARRELLO CHIUSURA	1.374,88 €	12.162,88 €	8,846525253
B6882.10	COVER	1.663,25 €	3.715,00 €	2,233574813
<b>MEDIA</b>				<b>3,623497635</b>

Figura 13-3 rapporto costo portastampo-camera calda

Il costo della camera calda è **mediamente** 3.62 volte maggiore del costo del portastampo.

Quando ho applicato la formula del costo delle attrezzature così come era scritto nello studio universitario, ci siamo subito resi conto che era molto, anzi troppo basso in quanto era tarato su dei pezzi, e quindi degli stampi, completamente diversi dai nostri.

In effetti, applicando la formula modificata come ho scritto sopra, ho avuto un valore del costo delle attrezzature molto più alto del primo, ed è così alto che è più grande della somma di tutti gli altri costi.

CODICE	SOMMA COSTI	COSTO ATTREZZATURE	SCARTO
B3231.03	10.982,95 €	14.349,72 €	3.366,77 €
B5813.11	6.935,93 €	69.659,39 €	62.723,46 €
B6165.02	4.402,38 €	20.008,45 €	15.606,08 €
B6518.01	9.947,57 €	17.726,26 €	7.778,69 €
B7130.01	10.530,82 €	56.275,20 €	45.744,38 €
B6789.30	12.142,89 €	14.743,99 €	2.601,10 €
B6792.30	7.613,35 €	9.061,06 €	1.447,71 €
B6793.30	5.859,27 €	16.717,86 €	10.858,59 €
B7129.02	9.264,86 €	32.680,47 €	23.415,61 €
B4408.07	12.023,13 €	24.084,36 €	12.061,23 €
B5503.20	9.754,34 €	13.812,16 €	4.057,82 €
B5525.40	8.552,70 €	32.255,10 €	23.702,41 €
B6791.30	7.516,00 €	16.243,38 €	8.727,38 €
B7295	4.293,98 €	22.571,13 €	18.277,15 €
B7372.00	17.990,00 €	11.494,34 €	6.495,66 €
B7370	9.593,54 €	25.634,02 €	16.040,48 €
B7371	3.083,09 €	5.784,43 €	2.701,34 €
B7373	15.336,70 €	29.789,51 €	14.452,81 €
B7379	3.654,60 €	12.838,63 €	9.184,03 €
B7382	7.295,72 €	11.003,45 €	3.707,74 €
B7383	15.012,72 €	14.795,59 €	217,12 €
B7384	15.415,72 €	16.486,18 €	1.070,46 €
B6882.10	6.082,20 €	31.299,86 €	25.217,66 €

Figura 13-4 costo delle attrezzature rapportato agli altri costi



Alla fine ho creato una maschera per calcolare il costo dello stampo inserendo solo delle informazioni facilmente reperibili dai CBD e dalle caratteristiche che lo stampo deve avere.

<b>Cac</b>	<b>MIGLIAIA</b>
117	90
116	80
107	60
103	40
103	50
100	30
95	20
90	10

<b>MATRICE</b>		
<b>N FIGURE</b>	<b>LUNGHEZZA</b>	<b>LARGHEZZA</b>
16	860	280
8	460	280
4	260	280
2	160	280
1	160	160

<b>CAMERA CALDA</b>	
<b>N UGELLI</b>	<b>COSTO</b>
8	12.162,88 €
4	6.368,00 €
2	3.715,00 €
1	2.450,00 €

Figura 13-5

Prima di tutto, ho inserito tra tabelle che riassumono i metodi con il quale calcolo il costo finale della matrice, della camera calda e del  $C_{ac}$ .

<b>FAMIGLIA</b>	<b>VOI</b>

Figura 13-6

Nella prima parte va inserito la famiglia di prodotti, poi tutta un serie di parametri geometrici come il volume del pezzo, l'area e così via.. E in automatico saranno calcolati i valori dei parametri Cpr, Car ecc... e il coefficiente di regressione.

FAMIGLIA	VOLUME PEZZO (m3)	VOLUME RIQUADRO (m3)	AREA PEZZO (m2)	AREA SFERA (m2)	N MOV	SPESSORE MIN (mm)	SPESSORE MAX (mm)	LUNGHEZZA PEZZO	LARGHEZZA PEZZO
	0,00001	0,0001	0,02	0,002244282	2	0	0,8	25	15

Figura 13-7 inserimento parametri geometrici

CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR	CF REGRESSIONE
0,9	0,8878	0,8333	2500	1	-0,5	24,84015929

Figura 13-8 parametri geometrici

<b>DIMENSIONI STAMPO</b>	<b>COSTO PORTASTAMPO</b>
196x346	990,23 €

Figura 13-9 calcolo costo portastampo

Inserendo semplicemente le dimensioni dello stampo, calcola in automatico il costo del portastampo.

Per calcolare il costo delle matrici basta inserire il numero delle figure dello stampo e automaticamente saranno inserite la lunghezza e la larghezza della matrice e di conseguenza sarà calcolato il volume e il peso della matrice ed infine, inserendo il costo al kg del materiale delle matrici, si ottiene il costo totale delle matrici.

NUMERO FIGURE STAMPO	LUNGHEZZA MATRICE	LARGHEZZA MATRICE	VOLUME MATRICE (dm3)	PESO MATRICE
8	460	280	14,007	110,23509

Figura 13-10 calcolo costo delle matrici

<b>COSTO MATERIALE MATRICI €/KG</b>	<b>COSTO MATRICI</b>
9,20 €	2.028,33 €

Figura 13-11

Come dicevo prima, basta inserire il numero di ugelli della camera calda per ottenere il suo costo.

Inserendo, poi, le migliaia del costo effettivo dello stampo si otterrà il valore di precisione richiesta dal pezzo.

<b>N UGELLI</b>	<b>COSTO CAMERA CALDA</b>	<b>MIGLIAIA STAMPO</b>	<b>Cac</b>
2	3.715,00 €	40	103

Figura 13-12 calcolo costo camera calda e valore Cac

Il costo delle attrezzature viene calcolato applicando brutalmente la formula che ho calcolato precedentemente.

Infine il costo totale viene calcolato sommando tutti i costi intermedi che ho spiegato prima.

<b>COSTO ATTREZZATURE</b>	<b>COSTO TOTALE</b>
8,64 €	6.742,20 €

*Figura 13-13 calcolo il costo finale dato dalla somma di tutti i costi intermedi*

## 14 CONCLUSIONI

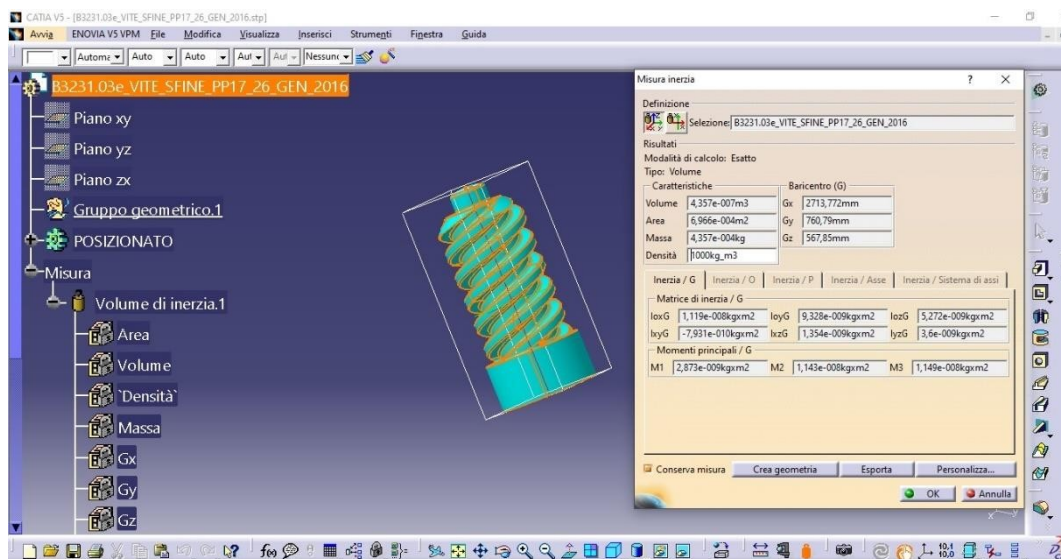
Il mio lavoro è consistito nel creare un modello che riuscisse a prevedere il costo di uno stampo date certe caratteristiche.

Per far questo ho utilizzato uno studio dell'Indian institute of technology; la formula che ho utilizzato è questa:

$$Costo_{stampo} = Costo_{porta\ stampo} + Costo_{attrezzature} + Costo_{camera\ calda} + Costo_{matrice}$$

Il primo step è stato quello di raccogliere tutte le informazioni utili riguardo agli stampi degli articoli **monomateria**, ovvero di tutti quei codici composti da un solo materiale (plastica), in un unico database.

Fatto questo, ho dovuto poi analizzare le geometrie dei codici ottenuti tramite lo stampaggio ad iniezione usando la piattaforma CATIA a partire dai disegni tridimensionali dei codici.



14-1 uso CATIA per avere dati geometrici

Dopo aver ottenuto i dati geometrici come l'area del pezzo e del riquadro circoscritto, il volume del pezzo e del riquadro circoscritto, lo spessore massimo e minimo, la draw distance del pezzo ecc, mi sono calcolata dei parametri geometrici.

#CODICE	TIPO STAMPO	CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR
B3231.03	VITE SENZA FINE	0,65088141	0,601080175	0	0	1	0,11835443
B5813.11	COVER	0,93647973	0,820521607	0,292893219	9459,459459	1	0,164300054
B6165.02	ANTIFURTO	0,945619335	0,854548376	0,292893219	1208,459215	1	0
B6518.01	COPRISERRATURA	0,01686747	0,240053917	0,292893219	4337,349398	1	0,597858498
B7130.01	GUSCIO	0,922515682	0,863325306	0	0	1	0
B6789.30	COVER	0,930521585	0,844605676	0,292893219	15678,89621	1	0,382201842
B6792.30	VITE	0,768571429	0,64586719	0	0	1,055555556	0
B6793.30	MADREVITE	0,809572525	0,686853914	0	0	1	0,289633194
B7129.02	GUSCIO	0,931114104	0,88063416	0	0	1,011736263	0,697183433
B4408.07	GANCIO	0,92138479	0,631086578	0,5	0	1	0,907071833
B5503.20	CAMMA	0,870858283	0,625606507	0	0	1	0,121349096
B5525.40	COVER	0,918743867	0,820097062	0,292893219	13248,28263	1	0,404454113
B6791.30	SALTARELLO	0,770221419	0,496830328	0,292893219	47446,90465	1	0,685746405
B7295	STAFFA	0,960765	0,88183599	0,292893219	2125	1	0,485757763
B7372.00	ANELLO ROTANTE	0,810256966	0,62493886	0	0	0,52	0
B7370	INSERIMENTO PER PIVOT	0,778196347	0,654484258	0,292893219	91324,20091	1	0,894053176
B7371	ESPULSORE INTERNO	0,764342105	0,57946821	0	0	526315,7895	0,0375
B7373	COVER	0,921674768	0,839408149	0,292893219	18780,38003	1	0,123999735
B7379	CAMMA	0,882702932	0,741758064	0,292893219	69060,77348	1	0,44289107
B7382	VITE	0,657703927	0,663055753	0,292893219	2779456,193	1	0,192622951
B7383	MADRE VITE	0,913932645	0,629498643	0,292893219	285171,1027	1	0,18636684
B7384	CARRELLO CHIUSURA	0,819445953	0,631697452	0,292893219	323193,9163	1	0
B6882.10	COVER	0,899879276	0,840207549	0,422649731	36720,32193	1	0

14-2 parametri geometrici dei pezzi

Lo step successivo era quello di calcolare la complessità della forma per ogni codice attraverso la regressione lineare, ma per fare questo avevo bisogno di un calcolo della complessità della forma a monte della regressione e l'ho calcolata attraverso la metodologia AHP.

Il metodo AHP è un metodo gerarchico che permette di calcolare l'importanza relativa di una scelta o meglio alternativa rispetto all'altra.

Si costruisce prima una matrice dei criteri e poi dei sottocriteri, successivamente queste matrici vanno normalizzate e viene creato un vettore dei valori medi.

METODO AHP						
	CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR
CPR	1	1	7	5	8	4
CAR	1	1	6	4	7	3
CNC	0,142857143	0,166666667	1	0,5	1	0,333333333
CCR	0,2	0,25	2	1	3	1
CTR	0,125	0,142857143	1	0,333333333	1	0,25
CDR	0,25	0,333333333	3	1	4	1
SOMMA	2,717857143	2,892857143	20	11,833333333	24	9,583333333

14-3 matrice dei criteri

CPR											
	VITE SENZA FINE	COVER	GUSCIO	ANTIFURTO	COPRISERRATURA	VITE	MADRE VITE	CAMMA	SALTARELLO	STAFFA	GANCIO
VITE SENZA FINE	1	0,25	0,25	0,25	4	0,5	0,5	0,333333333	0,333333333	0,5	0,5
COVER	4	1	1	1	7	2	2	2	3	2	0,5
GUSCIO	4	1	1	1	7	2	2	2	3	2	0,5
ANTIFURTO	4	1	1	1	7	2	2	2	3	2	0,5
COPRISERRATURA	0,25	0,142857143	0,142857143	0,142857143	1	0,2	0,166666667	0,166666667	0,2	0,125	0,142857143
VITE	2	0,333333333	0,333333333	0,333333333	5	1	0,5	0,5	1	0,25	0,333333333
MADRE VITE	1	0,5	0,5	0,5	4	2	1	1	2	0,333333333	0,5
CAMMA	3	0,5	0,5	0,5	6	2	1	1	2	0,333333333	0,5
SALTARELLO	2	0,333333333	0,5	0,333333333	3	1	0,5	0,5	1	0,25	0,333333333
STAFFA	2	2	2	2	8	4	3	3	4	3	2
GANCIO	4	1	1	1	7	2	2	2	3	2	0,5
ANELLO ROTANTE	1	0,5	0,5	0,5	4	2	1	1	0,5	0,333333333	0,5
INSERIMENTO PER PIVOT	2	0,333333333	0,333333333	0,333333333	5	1	0,5	0,5	1	0,25	0,333333333
ESPULSORE INTERNO	2	0,333333333	0,333333333	0,333333333	5	1	0,5	0,5	1	0,25	0,333333333
CARRELLO CHIUSURA	1	0,5	0,5	0,5	4	2	1	1	0,5	0,333333333	0,5
SOMMA	29,25	8,726190476	8,892857143	8,916666667	81	28,7	17,888888889	17,2	26,033333333	5,758333333	9,706190476

14-4 matrice dei sottocriteri

L'ultima matrice, quella che dà in output il risultato finale, confronta tutti i criteri con tutte le alternative.

MATRICE FINALE								TOTALE	CF
	CPR	CAR	CNC	CCR	CTR	CDR			
VITE SENZA FINE	0,028885152	0,052022295	0,029564239	0,023466573	0,06138873	0,017356294	2,737631999	27,37631999	
COVER	0,10353919	0,122056507	0,055576786	0,083004783	0,06138873	0,041590733	4,600163108	46,00163108	
SUSCIO	0,100978371	0,127553816	0,091001925	0,175001964	0,118179758	0,079024752	8,127969575	81,27969575	
ANTIFURTO	0,100247009	0,127553816	0,051467197	0,045663779	0,06138873	0,017356294	3,850811325	38,50811325	
COPRISERRATURA	0,012172473	0,012382211	0,055576786	0,115810755	0,06138873	0,097065502	4,954406567	49,54406567	
VITE	0,03629244	0,055398645	0,042064239	0,025092589	0,088072231	0,017356294	3,677176483	36,77176483	
MADRE VITE	0,061229637	0,049959942	0,030119794	0,025092589	0,065092433	0,041590733	3,171061502	31,71061502	
CAMMA	0,061229637	0,080946982	0,036881119	0,025092589	0,064166507	0,039578516	3,354423114	33,54423114	
SALTARELLO	0,042701929	0,021559137	0,070181248	0,29162164	0,064166507	0,100044442	7,531661701	75,31661701	
STAFFA	0,157982046	0,127553816	0,055576786	0,06468979	0,064166507	0,078002586	4,962920121	49,62920121	
GANCIO	0,10353919	0,048541502	0,176596685	0,025092589	0,064166507	0,230377916	7,998475579	79,98475579	
ANELLO ROTANTE	0,057388408	0,048541502	0,029564239	0,025092589	0,033935106	0,027519633	2,262783224	22,62783224	
INSERIMENTO PIVOT	0,03629244	0,048541502	0,203177832	0,025092589	0,064166507	0,178423718	7,849437056	78,49437056	
ESPULSORE INTERNO	0,03629244	0,029608727	0,036325564	0,025092589	0,064166507	0,017356294	2,914059063	29,14059063	
CARRELLO CHIUSURA	0,061229637	0,047779598	0,036325564	0,025092589	0,064166507	0,017356294	3,034400536	30,34400536	
<b>PONDERAZIONI</b>	<b>2,717857143</b>	<b>2,892857143</b>	<b>20</b>	<b>11,83333333</b>	<b>24</b>	<b>9,583333333</b>			

14-5 matrice finale

Nel mio caso i criteri erano i parametri geometrici, quindi  $C_{PR}$ ,  $C_{AR}$ ,  $C_{NC}$ ,  $C_{CR}$ ,  $C_{TR}$ ,  $C_{DR}$ , mentre le alternative erano le famiglie di codici, vite senza fine, staffa, vite, ecc...

Dopo aver ottenuto la complessità della forma attraverso il metodo AHP ho lanciato la regressione lineare, ed ho ottenuto i coefficienti di regressione che mi calcolano la complessità della forma attraverso questa formula:

$$CF = w(0) + w(1) * CPR + w(2) * CAR + w(3) * CNC + w(4) * CCR + w(5) * CTR + w(6) * CDR$$

Dove  $w(1), w(2), w(3), w(4), w(5)$  e  $w(6)$  sono proprio i coefficienti ottenuti tramite regressione lineare.

Dopo aver fatto questo, ho calcolato i costi della camera calda, della matrice e del portastampo.

Per calcolare il costo della camera calda e del portastampo mi sono servita di un sito di rivenditori di stampi e attrezzatura simile, Meusburger.

Per avere il costo della camera calda è bastato inserire il numero di ugelli della camera calda di ogni codice, mentre calcolare il costo del portastampo è stato più complesso perché ho dovuto suddividere gli stampi in classi dimensionali poiché il costo del portastampo è calcolato in base alla dimensione dello stampo.

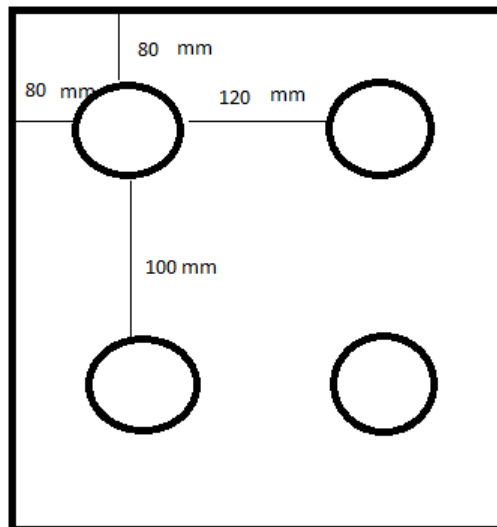
Attraverso il sito, a partire dalle dimensioni, dal volume e dalla massa ho calcolato un fattore moltiplicativo che moltiplicato per la massa del portastampo calcola il suo costo.

CLASSI	DIM	FATTORE MOLTIPLICATIVO	MATERIALE PORTASTAMPO	PESO PORTASTAMPO	COSTO NETTO	COSTO REALE
A	196x346	16,91	2311	58,559116	990,23 €	1.250,00 €
B	196x196	16,19	2311	51,567592	834,88 €	1.000,00 €
C	196x246	14,49	2311	64,7227476	937,83 €	2.500,00 €
D	159x196	16,94	2311	47,3457992	802,04 €	
E	346x396	12,60	2311	134,44695	1.694,03 €	4.500,00 €
F	350x350	10,35	2311	267,0148926	2.763,60 €	1.800,00 €
G	346x396	10,61	2311	183,9234276	1.951,43 €	2.000,00 €
H	346x346	10,35	2311	160,7007726	1.663,25 €	3.000,00 €
I	346x296	10,35	2311	160,7007726	1.663,25 €	4.500,00 €
J	246x346	14,88	2311	76,838469	1.143,36 €	2.000,00 €
K	245x295	12,68	2311	97,7445576	1.239,40 €	
L	216x246	14,10	2311	71,3271096	1.005,71 €	
M	256x296	11,69	2311	117,6113376	1.374,88 €	1.000,00 €
N	246x296	12,67	2311	97,7445576	1.238,42 €	
O	296x296	11,69	2311	117,6113376	1.374,88 €	1.600,00 €
P	300x230	10,94	2311	139,0425912	1.521,13 €	1.800,00 €
Q	316x384	10,20	2311	167,9763096	1.713,36 €	1.400,00 €
R	446x500	8,61	2311	326,8837026	2.814,47 €	2.800,00 €
S	396x516	8,83	2311	305,5129725	2.697,68 €	1.600,00 €
T	400x400	9,24	2311	267,0148926	2.467,22 €	1.800,00 €
U	446x481	8,89	2311	296,9492976	2.639,88 €	1.800,00 €
V	546x696	6,33	2311	745,7814	4.720,80 €	1.600,00 €
X	550x550	6,64	2311	669,226944	4.443,67 €	

14-6 classi dimensionali portastampo

L'ultima componente da considerare è il costo della matrice.

Per calcolare questo ho dovuto contattare un fornitore, che ha esposto le regole dimensionali che usano per costruire le matrici in base al numero delle figure dello stampo.



14-7 dimensioni matrice

Dopo aver calcolato le dimensioni della matrice in base al numero di cavità dello stampo, ho ottenuto il costo moltiplicando la massa della matrice per il costo del materiale al KG.

L'ultima componente del costo da calcolare era il costo delle attrezzature.

Lo studio dell'Indian Institute of technology prevedeva questa equazione:

$$C_a = 0.629V_{getto} + 0.048C_{ac} + 0.023C_s + 0.739$$



Questa formula va bene per i pezzi ottenuti tramite processo fusorio non per quelli ottenuti tramite stampaggio ad iniezione, quindi ho dovuto ricalcolare i coefficienti attraverso la regressione lineare, ed ho ottenuto:

$$C_a = 0.9 V_{pezzo} + 0.08 C_{ac} + 0.016 C_s + 1$$

Dove

$C_s$  è la complessità della forma del codice

$C_{ac}$  è la precisione richiesta dal pezzo

$V_{pezzo}$  è il volume del codice

Sommando tutti questi costi ho ottenuto il costo totale dello stampo.

## 15 BIBLIOGRAFIA

- [1] R. G. Chougule, B. Ravi, *Casting cost estimation in an integrated product and process design environment*, Computer Integrated Manufacturing, 19(7) pag 676-688
- [2] L. Iuliano, *Manuale della fonderia*, Tecniche nuove, Milano 2007, capitoli 1,2 [3] K. B. Rundmann, *Metal casting*, Michigan Tech. University, capitolo 1.
- [4] H. Fredriksoon, U. Akerlind, *Material processing during casting*, Wiley, British Library 2006, cap. 1,4.
- [5] D. Pocci, L. Iuliano, *Guida all'impiego dei componenti microfusi*, Tecniche nuove, Milano 2001, cap.1.
- [6] Kalpahjian, schmid, *manufacturing processes for engineering materials*, Prentice Hall, 2003.
- [7] G. B. Bralla, *Handbook of product design for manufacturing*, mcgraw-Hill, New York, 1986.
- [8] H. Fredriksoon, U. Akerlind, *Material processing during casting*, Wiley, British Library 2006, cap 1,3.
- [9] Kobrak, *Design and early cost estimation of sand casting*, tesi, University of Rhode Island, 1993.
- [10] P. Dewhurst, C. Blum, *Support analyses for the economic assessment of die casting in product design*, annals CIRP.
- [11] Durgesh Joshi and Bhallamudi Ravi, *Quantifying the Shape Complexity of Cast Part*, Institute of Technology and Science of Bombay.
- [12] R. G. Chougule, B. Ravi, *Variant process planning of castings using AHP-based nearest neighbour algorithm for case retrieval*, Institute of Technology and Science of Bombay.
- [13] William Lovejoy, Sebastian Fixson, Shaun Jackson, *Integrated Product Development (IPD)*, University of Michigan.
- [14] N. S. Tlale, J. I. Steyn, S. Govender, *technical cost modelling for a novel semisolid metal*.
- [15] Chougule, R.G., and Ravi, B., 2003, *Casting process planning using case based Reasoning*, Transactions of American Foundry Society, 2003, 111.
- [16] Chougule, R. G., and Ravi, B., 2004, *Variant process planning of castings using ahpbased nearest neighbor algorithm for case retrieval*
- [17] Chronister, T.G., 1975, *The Cost of making castings*. Casting Engineering, 7(4), 8–11.

[18] Creese, R.C., Adithan, M., and Pabla, B., 1992, *Estimating and Costing for the Metal Manufacturing Industry* (New York: Marcel Dekker Inc.).

[19] Francesco Veniali, *Progettazione del ciclo produttivo di un giunto a flange elastiche Periflex*, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”.

[20] S. Kukla ,*Costs Analysis of Iron Casts Manufacturing*, archives of foundry engineering Volume 12 Issue 2/2012.

[21] S. Kukla , *Evaluation and Verification of Time and Costs of Production Activities in Foundry Industry*, archives of foundry engineering , Volume 7 Issue 3/2007.

[22] H. Wang, X. H. Zhou and X.-Y. Ruan, *Research on Injection Mould Intelligent Cost Estimation System and Key Technologies*.

[23] P. Duverlie and J. M. Castelain, *Cost Estimation During Design Step: Parametric Method versus Case Based Reasoning Method*.

[24] Mi Guofa, Liu Xiangyu, Wang Kuangfei, Fu Hengzhi, *Numerical simulation of low pressure die-casting aluminum wheel*, China Foundry, Vol.6 No.1, 1672-6421(2009)01-048-05

[25] John Vlachopoulos and David Strutt, *Basic heat transfer and some applications in polymer processing*, Plastics Technician’s Toolbox, Volume 2, Pages 21-33, SPE 2002

[26] Rafael Jung Hoon Lee, *Effect of Cooling Circuit Duration on Formation of Solidification Shrinkage in A356 Casting Automotive Wheels*, 2006, Auckland University of Technology

[27] F. Bonollo, J. Urban, B. Bonatto, M. Botter, *Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark*, La Metallurgia Italiana, Pages 23-32, 06/2005

[28] Velluvakkandi, Navaneeth, *Developing an Effective Die Cooling Technique For Casting Solidification*, 2009, Auckland University of Technology

[29] Stefano Broglio, *Appunti del corso di Tecnologie generali dei materiali a.a. 2009/10*, Università di Pavia

[30] Anthony L. R.N., Hawkins D. F., Macri D. M., Kenneth Merchant A., *Sistemi di controllo. Analisi economiche per le decisioni aziendali*, 3rd Edizione

[31] Stampaggio ad iniezione scientifico, *Filippo Cangialosi, 2003, casa editrice Plasticando*

[www.efoundry.iitb.ac.in](http://www.efoundry.iitb.ac.in)

[www.foseco.it](http://www.foseco.it)

[www.assofond.it](http://www.assofond.it)

[www.lme.co](http://www.lme.co)

[www.kme.com](http://www.kme.com)

[www.sir-mo.it](http://www.sir-mo.it)

[www.dies.it](http://www.dies.it)

[www.fivefoundry.com](http://www.fivefoundry.com)

[www.acciaiterni.it](http://www.acciaiterni.it)

[www.ilvataranto.com](http://www.ilvataranto.com)

[www.alcoa.com](http://www.alcoa.com)

[www.2metal.it](http://www.2metal.it)

[www.titierre.com](http://www.titierre.com)

[www.corasrl.it](http://www.corasrl.it)

[www.meusburger.com](http://www.meusburger.com)

[https://www.youtube.com/watch?v=xBk\\_Bv7ZYps](https://www.youtube.com/watch?v=xBk_Bv7ZYps)

[https://www.youtube.com/watch?v=UpEOev5\\_Ncs](https://www.youtube.com/watch?v=UpEOev5_Ncs)