POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

Ingegnerizzazione ed ottimizzazione della produzione di un espositore meccanizzato in ${\bf PMMA}$



Relatore

Prof. Massimo Sorli

Candidato Fabrizio Calvo

Tutor aziendale

Ing. Alberto Cabilli

Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro di tesi, desidero sfruttare alcune righe per ringraziare chi mi ha supportato in questo percorso.

Innanzitutto, voglio ringraziare il Professore Massimo Sorli per avermi permesso di svolgere questa esperienza in azienda. Desidero ringraziare l'ingegner Alberto Cabilli per aver riposto in me fiducia nell'affidarmi questo lavoro, per avermi supportato e per gli utili insegnamenti che mi ha voluto trasmettere. Inoltre, ringrazio tutto lo staff della Adeglas che mi ha accolto integrandomi e facendomi sentire sin da subito parte del gruppo. Grazie Lawrence, Laura, Andrea, Riccardo e tutti gli altri.

Abstract

Il lavoro di tesi "Ingegnerizzazione ed ottimizzazione della produzione di un espositore meccanizzato in PMMA" svolto presso l'azienda "Adeglas S.r.l" nasce dalla necessità di quest'ultima di rendere razionale ed ottimizzata la produzione di un espositore rotante per prodotti e quindi contestualmente, maggiormente vendibile sul mercato.

In particolare, per conseguire tale fine si è innanzitutto analizzato il contesto in cui questo doveva inserirsi, per poterne definire le caratteristiche peculiari. Si è poi passati alla fase di progettazione, definendone dimensioni, caratteristiche del moto, componenti, materiali, ma soprattutto avendo cura dell'aspetto della produzione: si è cercato di ottimizzare al massimo ogni tipo di operazione e lavorazione, permettendo di abbattere i costi di esecuzione. Si è svolto un lavoro sinergico di progettazione ed ottimizzazione, in modo da elaborare un oggetto in grado soddisfare le richieste del mercato ed allo stesso tempo, essere facilmente producibile ed assemblabile.

È stato poi realizzato un prototipo per poter verificare il funzionamento, il montaggio e se quanto era stato ipotizzato nella fase precedente fosse realizzabile. In conclusione, si è giunti ad una Bill of Materials completa dell'oggetto, ai disegni necessari alle varie lavorazioni e ad un ciclo di assemblaggio, oltre che ad un prospetto dei costi. Si è potuto così stabilire che il target-cost imposto dall'azienda all'inizio del progetto è stato rispettato.

La peculiarità di tale oggetto è quella di essere interamente realizzato in materiali plastici, principalmente PMMA e questo ha condotto a dover rivedere, anche in modo sostanziale in alcuni casi, la progettazione classica che in meccanica prevalentemente lavora sui materiali metallici.

Indice

L	ista d	elle	figure	VII
L	ista d	elle	tabelle	IX
1	Int	rodı	ızione	1
	1.1	Pre	esentazione Adeglas	1
	1.2	Og	getto di studio	1
2	Sta	ito d	lell'arte	3
	2.1	Br	evetti esistenti	3
	Ma	agaz	zini verticali	3
	Ele	ectri	cal rotatable display shelf	4
	Ro	otati	ng exhibiting means	5
	2.2	Со	ntesto di mercato	6
	2.2	2.1	Visual Merchandising	6
3	Ma	teria	ali	8
	3.1	Ple	exiglas	8
	3.1	1.1	Plexiglas antiurto	9
	3.1	1.2	Lavorazioni meccaniche	13
	3.2	Ро	licarbonato	18
	3.2	2.1	Lavorazioni meccaniche	19
	3.3	PE	TG	21
	3.3	3.1	Lavorazioni meccaniche	21
	3.4	Со	nfronto caratteristiche meccaniche acciaio - PMMA	21
4	Pro	ogeti	cazione e ottimizzazione	28
	4.1	Inc	eastri e ottimizzazione strutturale	29
	4.2	Tra	asmissione del moto	33
	4.2	2.1	Scelta del tipo di trasmissione	33
	4.2	2.2	Scelta disposizione	38
	4.2	2.3	Scelta componenti	39
	12	То	laio	50

	4.4	Elemento portaoggetti	53
	4.5	Copertura esterna	56
	4.6	Dispositivi di sicurezza	60
	4.7	Gamma Pleximag	60
5	Pro	ototipazione	62
	5.1	Taglio laser	62
	5.1	.1 Caratteristiche di taglio	66
	5.2	2.2 Ottimizzazione di taglio	69
	5.2	Prove incastri ed accoppiamenti	74
	5.3	Bill Of Materials	76
	5.3	Prospetto dei costi	80
	5.4	Assemblaggio	84
	5.4	Attrezzatture per ottimizzazione del montaggio	86
	5.4	.2 Ciclo di assemblaggio	88
	5.5	Prototipo	91
6	Cor	nclusioni	92
7	Bib	oliografia	94

Lista delle figure

Figura 1 - Prototipo Pleximag	2
Figura 2 - Magazzino verticale	4
Figura 3 - Electrical rotatable display shelf e dettaglio del meccanis:	mo 4
Figura 4 - Rotating exhibiting means	5
Figura 5 - Schema di polimerizzazione del Polimetilmetacrilato	9
Figura 6 - Struttura microscopica del Plexigla antiurto	10
Figura 7 - Diagramma sforzo-deformazione del Plexiglas antiurto	11
Figura 8 - Diagramma sforzo-deformazione Plexiglas standard	12
Figura 9 - Caratteristiche dentatura disco per taglio Plexiglas	13
Figura 10 - Caratteristiche punte elicoidali per foratura Plexiglas	14
Figura 11 - Fresa a pantografo dell'azienda Adeglas	15
Figura 12 - Cambiamento stato fisico del Plexiglas in funzione della	
temperatura	16
Figura 13 - Diagramma allungamento a rottura Plexiglas in funzion	е
della temperatura	17
Figura 14 - Struttura chimica del policarbonato	18
Figura 15 - Piegatura a freddo del policarbonato	20
Figura 16 - Diagramma Stress-Strain PMMA	22
Figura 17 - Diagramma Stress-Strain acciaio	23
Figura 18 - Rappresentazione della deformazione del PMMA sottope	osto
a sforzo	24
Figura 19 - Diagramma Stress-Strain PMMA al variare della	
temperatura	25
Figura 20 - Diagramma Stress-Strain dell'acciaio al variare della	
temperatura	25
Figura 21 - Primo prototipo Pleximag di Adeglas	29
Figura 22 - Rappresentazione delle tipologie di incastri utilizzati	30
Figura 23 - Telaio assemblato del Pleximag	31
Figura 24 - Incastro utilizzato per il telaio	32
Figura 25 - Incastro utilizzato per gli elementi portaoggetti	33
Figura 26 - Rappresentazione trasmissione a catena	34
Figura 27 - Vista frontale e superiore del dispositivo per l'ancoraggio	o su
cinghie piane	35
Figura 28 - Dispositivo per l'ancoraggio su cinghie piane	35
Figura 29 - Puleggia per l'utilizzo del dispositivo di ancoraggio	35

Figura 30 - Dispositivo di ancoraggio su cinghie trapezoidali	36
Figura 31 - Dispositivo per l'ancoraggio su cinghie dentate	36
Figura 32 - Catene a perni forati	37
Figura 33 - Dimensioni catena a perni forati	38
Figura 34 - Sequenza di modifiche successive sulla disposizione degli	
elementi portaoggetti	39
Figura 35 - Costruzione per la definizione del dente ad evolvente	40
Figura 36 - Programma parametrico per il disegno delle ruote dentate	
per catene	42
Figura 37 - Boccola per bloccaggio ruote dentate	43
Figura 38 - Tendicatena montato	43
Figura 39 - Boccola per bloccaggio assiale degli alberi	45
Figura 40 - Caratteristiche del cuscinetto SKF 6201-2RS	46
Figura 41 - Montaggio del cuscinetto	47
Figura 42 - Particolare del montaggio dei cuscinetti	47
Figura 43 - Caratteristiche spallamento per cuscinetto SKF 6201-2RS	47
Figura 44 - Diagramma delle forze-coppie agenti sul pignone	48
Figura 45 - Motoriduttore	49
Figura 46 - Sezione dell'accoppiamento fra motoriduttore ed albero	49
Figura 47 - Sequenza di modifiche effettuate sulla forma del telaio	50
Figura 48 - Componente laterale destro	51
Figura 49 - Componente laterale sinistro	51
Figura 50 - Componente inferiore telaio	52
Figura 51 - Componente di rinforzo telaio	52
Figura 52 - Sequenza delle configurazioni successive dell'elemento	
portaoggetti	53
Figura 53 - Elemento portaoggetti	54
Figura 54 - Sezione componente laterale portaoggetti e sistema di	
fissaggio	55
Figura 55 - Copertura esterna posteriore con particolare degli incastri	
utilizzati	56
Figura 56 - Copertura esterna anteriore	58
Figura 57 - Cerniera inferiore	58
Figura 58 - Cerniera superiore	59
Figura 59 - Sportello	59
Figura 60 - Gamma Pleximag	61
Figura 61 - Schema della tecnologia laser	63

	Figura 62 - Tipologia di lenti utilizzate nei laser	64
	Figura 63 - Rappresentazione delle caratteristiche del fascio laser	64
	Figura 64 - Testa laser	66
	Figura 65 - Laser dell'azienda Adeglas	66
	Figura 66 - Rappresentazione della non-perpendicolarità del taglio	
eff	fettuato con laser	67
	Figura 67 - Esempio di dimensioni dovute alle caratteristiche del laser	68
	Figura 68 - Grandezze caratteristiche del laser	68
	Figura 69 - Grandezze caratteristiche dello spot	69
	Figura 70 - Rappresentazione percorso utensile	70
	Figura 71 - Rappresentazione problema tagli circolari	71
	Figura 72 - Soluzione per tagli circolari	71
	Figura 73 - Raccordo degli spigoli vivi	72
	Figura 74 - Risultato del nesting sui componenti da 6mm	74
	Figura 75 - Prove effettuate	75
	Figura 76 - Dimensioni fori di alloggiamento cuscinetti	75
	Figura 77 - Curva di Wright	85
	Figura 78 - Attrezzo A	86
	Figura 79 - Attrezzo B e suo utilizzo	87
	Figura 80 - Attrezzo C e suo utilizzo	88
	Figura 81 - Immagini del prototipo di Plexiglas A	91

Lista delle tabelle

Tabella 1 - Confronto caratteristiche Plexiglas standard ed antiurto	10
Tabella 2 - Raggi minimi di curvatura in funzione dello spessore	20
Tabella 3 - Caratteristiche catena $1/2$ " x $5/16$ "	38
Tabella 4 - Tipologie lastre utilizzate per la produzione del Pleximag	73
Tabella 5 - Bill Of Materials del Pleximag A	79
Tabella 6 - Prospetto dei costi per Pleximag A	83
Tabella 7 - Tempi di assemblaggio Pleximag A	84
Tabella 8 - Ciclo di assemblaggio	90

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Presentazione Adeglas

Il progetto di tesi descritto in questo documento è stato realizzato durante un periodo di tirocinio presso l'azienda Adeglas S.r.l.

Adeglas è un'impresa con sede a Torino, nata nel 1976 e specializzata nella lavorazione e trasformazione delle materie plastiche.

L'azienda possiede due principali sorgenti di attività: il lavoro su commessa e la produzione in proprio di articoli in materiale plastico. Il risultato è un ambiente di lavoro dinamico e sempre in continua evoluzione, in modo da riuscire a soddisfare al meglio le necessità del cliente. Negli anni Adeglas ha sviluppato un'elevata esperienza che permette loro di svolgere al meglio anche la fase di progettazione prodotto su richiesta del committente.

Le attività svolte attraverso macchinari, attrezzature e tecnologie all'avanguardia sono accompagnate da lavori manuali di esperti del settore.

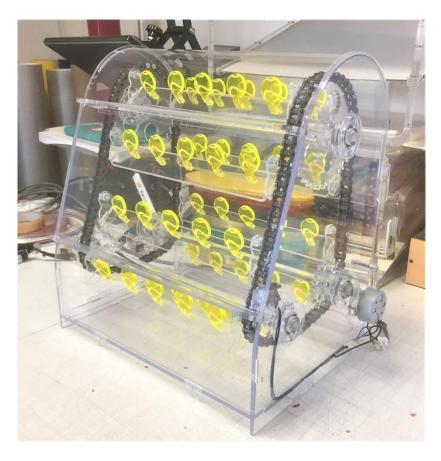
I materiali che vengono trattati sono principalmente Plexiglas e materie plastiche affini (ad esempio policarbonato, plexiglas antiurto, PET, nylon, PETG) e le lavorazioni predominanti sono taglio, taglio laser CNC, fresatura CNC, termoformatura, piegatura a freddo seguite da assemblaggio ed incollaggio.

1.2 Oggetto di studio

Il lavoro di tesi nasce dalla necessità da parte dell'azienda di realizzare un espositore meccanizzato per prodotti da proporre ai grandi gruppi del retail.

L'idea innovativa della Adeglas è quella di realizzare un espositore in cui i prodotti esposti possano avere un movimento proprio e quindi, in mezzo al resto dei prodotti immobili, possano attirare l'attenzione del potenziale acquirente. Da questa riflessione nasce l'espositore Pleximag, un espositore meccanizzato rotante, interamente realizzato in Plexiglas e quindi completamente trasparente, che possiede supporti adattabili e customizzabili in base alla tipologia di prodotto da esporre ed un meccanismo che permette ad essi una rotazione orizzontale.

L'obiettivo dello studio effettuato è stato quello di sviluppare l'idea di Adeglas con particolare attenzione all'ottimizzazione della fase di produzione e di assemblaggio, con l'intento di riuscire a minimizzare i costi che l'azienda deve sostenere per riuscire a raggiungere un prezzo di vendita competitivo.



 $Figura \ 1 - Prototipo \ Pleximag$

Capitolo 2

Stato dell'arte

In questa sezione viene analizzato lo stato dell'arte in tema di espositori che permettano il movimento ed i brevetti inerenti. Inoltre, viene introdotto il contesto di mercato in cui vanno ad innestarsi tali prodotti e la logica di merchandising che ne traccia le linee guida.

2.1 Brevetti esistenti

Parte integrante e propedeutica allo studio ed alla progettazione di un prodotto è quella della verifica dei possibili competitor presenti sul mercato. L'eventuale presenza di espositori uguali a quello in questione, avrebbe frenato sin da subito l'avanzamento del progetto, in quanto, soprattutto in questo settore, il concetto di novità è di primaria importanza. Per tali motivi, il lavoro è iniziato con una ricerca ed una successiva analisi dei brevetti già esistenti in tema di espositori per prodotti, per verificare la vera mancanza sul mercato di un oggetto di questo tipo.

Magazzini verticali

L'idea del Pleximag nasce prendendo spunto anche dal concetto di magazzini verticali per picking e stoccaggio. Tali dispositivi permettono di immagazzinare su ripiani orizzontali gli oggetti da stoccare e grazie alla rotazione si può richiamare il ripiano desiderato sino alla bocca di prelievo, da cui l'operatore può ritirare la merce immagazzinata. Peculiarità di tali dispositivi è quella di non poter vedere la merce posizionata all'interno a causa di coperture esterne in materiale non trasparente; questa caratteristica rende necessario un sistema elettronico che porti alla bocca di prelievo il corretto ripiano rispetto alla merce che si vuole prelevare.

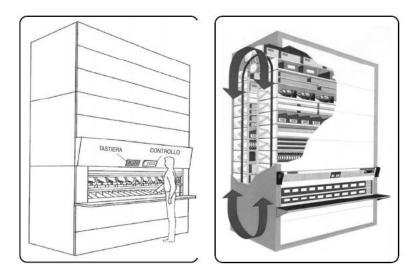
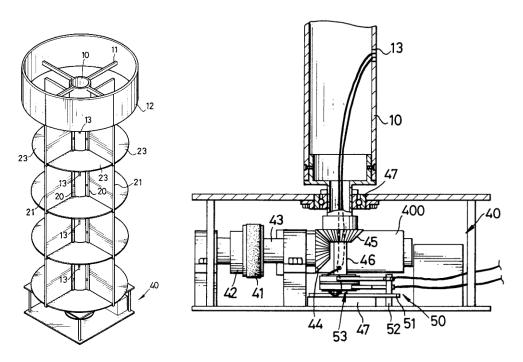


Figura 2 - Magazzino verticale

Electrical rotatable display shelf

Il brevetto numero EP 1 106 117 A1 pubblicato il 13.06.2001 da Chang Tong-Young è uno scaffale verticale espositore di prodotti con la particolarità di essere equipaggiato con un motore elettrico che permette ad esso un movimento rotatorio intorno al proprio asse.



 $Figura \ 3 - Electrical\ rotatable\ display\ shelf\ e\ dettaglio\ del\ meccanismo$

Rotating exhibiting means

Il brevetto numero EP 1 197 173 A1 pubblicato il 17.04.2002 da Berselli Giuliano, è anch'esso un espositore di merci verticale, costituito da ripiani che si sviluppano verticalmente e che hanno la possibilità di ruotare. La peculiarità di questo tipo di espositore è quella di non necessitare di una trasmissione del moto come nel caso precedente in cui erano presenti due ruote dentate; grazie all'utilizzo di un motoriduttore di piccole dimensioni, tale espositore acquisisce la possibilità di ruotare intorno al proprio asse avendo il supporto dei ripiani direttamente solidale con la trazione elettrica.

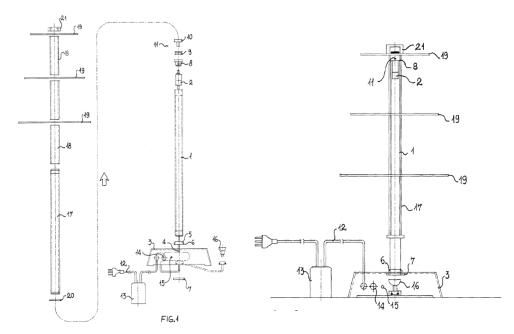


Figura 4 - Rotating exhibiting means

Dall'analisi dei brevetti già registrati, si può notare la mancanza sul mercato di un espositore di questo tipo. Innanzitutto, non vi sono espositori che permettano una rotazione orizzontale, ma tutti quelli visti si sviluppano verticalmente e la rotazione avviene intorno ad un ipotetico "asse z". Altra differenza peculiare di Pleximag è quella di poter essere completamente trasparente ed al contempo completamente chiuso e quindi non accessibile a tutti. Gli espositori visti finora, inoltre, non possiedono ripiani adattabili alla merce da esporre, ma sono semplicemente piani su cui si possono poggiare gli oggetti.

Da tali conclusioni si è giunti al fatto che impegnare risorse sul progetto dell'espositore Pleximag potesse essere conveniente.

2.2 Contesto di mercato

Il contesto di mercato in cui va ad innestarsi il prodotto oggetto di tale studio è quello dell'esposizione di prodotti e del marketing.

In una società in cui la quantità di merci e prodotti in vendita cresce esponenzialmente ogni giorno, è necessaria anche una corretta esposizione e pubblicità per attirare sempre più l'attenzione del cliente. I grandi gruppi del retail hanno iniziato negli ultimi anni a sfruttare ogni tipo di risorsa in tali termini: sensori, controllori/processori che studiano le caratteristiche del cliente, le preferenze e gli oggetti che vengono maggiormente cercati o notati. Totem, tablet e dispositivi touch screen vengono ormai impiegati in modo massiccio per interagire con il cliente e capire la sua soddisfazione. Anche i "shelf talker" vengono adoperati per attirare l'attenzione del consumatore, che incuriosito da ciò che "raccontano", si ferma ad osservare un certo prodotto.

In tale contesto si può trovare una branca particolare chiamata "Visual Merchandising".

2.2.1 Visual Merchandising

"Più del 90% dei nostri ricordi fa capo alla memoria visiva: un'immagine, un evento, una situazione vista e vissuta attraverso lo sguardo" [1]. Dalla citazione precedente di può intuire l'importanza della vista nella nostra vita e, di conseguenza, riguardo al tema del marketing, la sua importanza in questo settore.

Con il termine "Visual Merchandising" si intende proprio quella branca del marketing che si occupa di analizzare il comportamento del cliente e di studiare nuove strategie visive per attirare l'attenzione. In particolare, tale disciplina va a cercare la corretta esposizione cromatica, il posizionamento logistico (ad esempio alcuni prodotti devono essere posizionati ad altezza occhi, altri invece no), la tipologia di espositori o scaffali, la loro forma, colore e la tipologia di materiale, i brand, i marchi e molto altro ancora.

Anche il concetto di "Story telling" nell'ambito del visual merchandising è vincente: non ci si ferma alla semplice esposizione del prodotto per la vendita, ma si cerca di sfruttare la narrazione di una storia per far vivere al potenziale acquirente una sorta di "esperienza" che lo possa convincere anche attraverso "l'emozione". [2] In definitiva, per convincere il cliente non ci si può più semplicemente limitare all'esposizione del prodotto, ma sono necessari sempre più accorgimenti ed ingegnosità.

Gli espositori quindi vengono ad essere degli oggetti preziosi in questi termini ed il fatto che possano attirare l'occhio del potenziale compratore risulta essere un valore aggiunto. L'espositore Pleximag infatti è stato pensato proprio per questo, la rotazione dei prodotti, il movimento in generale, in mezzo ad altri prodotti statici, può fare la differenza. Oltre a questo aspetto principale, altra peculiarità di tale dispositivo è quella di essere personalizzabile, ad esempio con il logo dell'azienda oppure anche con adesivi sugli elementi portaoggetti rotanti che intervallandosi durante il ciclo potrebbero "raccontare una storia".

In tale contesto, inoltre, il Plexiglas risulta essere un materiale davvero indicato, grazie alle sue proprietà di trasparenza, brillantezza e facilità nella lavorazione.

Capitolo 3

Materiali

Per quanto riguarda la realizzazione del Pleximag, è stato necessario definire le tipologie di materiali da utilizzare per poter stabilire le differenti lavorazioni possibili. Ovviamente poiché Adeglas è radicata nella lavorazione delle materie plastiche, si è optato per l'utilizzo di queste, nonostante si sia presa in considerazione anche l'idea di realizzare alcuni particolari in materiali metallici, come verrà poi descritto nel capitolo successivo.

Con materiali plastici in questo caso si vogliono indicare Plexiglas, policarbonato e PETG.

3.1 Plexiglas

Il Plexiglas nacque dalla formidabile intuizione e della caparbietà di Otto Röhm. Quest'ultimo e Otto Haas possedevano un'azienda, fondata nel 1907, che però si occupava di prodotti per l'industria tessile e del cuoio. A quel tempo la ricerca sui materiali polimerici era molto costosa e non prometteva un ritorno economico, ma nonostante questo Röhm era convinto della possibilità di ottenere un materiale utile tramite la polimerizzazione dell'estere dell'acido acrilico, su cui aveva, già nel 1901, condotto alcuni esperimenti. Grazie a tale convinzione, dopo la fine della prima guerra mondiale, un intero reparto della Röhm & Haas fu adibito alla ricerca in campo polimerico. Essa, come già detto, era dispendiosa e inoltre risultò anche pericolosa, in quanto vi furono diverse esplosioni in tale reparto, ma nonostante ciò Röhm continuò i suoi studi in questo campo fino a giungere negli anni '20 ad un primo risultato: il Luglas, un vetro infrangibile, la cui applicazione era come parabrezza delle automobili. Incentivati da tale scoperta, continuarono le ricerche fino a giungere alla creazione nel 1933 del PMMA, polimetil metacrilato, grazie ad una casualità: una bottiglia di MMA, ovvero monomero di metacrilato di polimetile, fu lasciata nei pressi di una finestra e tramite la polimerizzazione indotta dalla luce solare, si formò il PMMA, denominato poi commercialmente dalla Röhm & Haas come Plexiglas. Da quel momento Röhm provò a polimerizzare il monomero in modo controllato, fra due lastre di vetro, ottenendo le lastre di Plexiglas che vengono utilizzate ancora oggi.

Figura 5 - Schema di polimerizzazione del Polimetilmetacrilato

La formula chimica del Plexiglas risulta essere $(C_5H_8O_2)_n$ e le caratteristiche principali di tale materiali sono:

- Trasparenza elevata, addirittura maggiore del vetro (circa 0,93 rispetto allo 0,8-0,9 del vetro)
- Densità di 1,2 g/cm³, ovvero circa metà di quella del vetro
- Temperatura di transizione vetrosa intorno a 110 °C
- Facilità nella formatura a caldo, nelle lavorazioni meccaniche per asportazione di truciolo e nell'incollaggio
- Resistenza alla tensione 67-75 N/mm²
- Resistenza alla compressione 125 N/mm²
- Modulo elastico 2800-3200 N/mm²

3.1.1 Plexiglas antiurto

In particolare, per la realizzazione dell'espositore Pleximag, si è deciso di utilizzare una tipologia di plexiglas particolare, il plexiglas antiurto. Esso ha le stesse caratteristiche fisiche di quello standard, ma ha una resilienza maggiore e quindi risulta più indicato ad assorbire gli urti.

La presenza di una piccola percentuale di gomma all'interno della composizione chimica dell'antiurto dona ad esso una resilienza fino a 5 volte quella del plexiglas standard. Tale caratteristica è stata sfruttata in questo progetto per rendere più sicuro l'espositore, in quanto esso è destinato al posizionamento in zone altamente frequentate e quindi è necessario salvaguardarne l'integrità e di conseguenza garantire la sicurezza agli utilizzatori.

Il plexiglas antiurto, anche detto "Impact-modified PMMA" risulta avere una struttura multifase caratterizzata da particelle sferiche annegate in una matrice di PMMA. In *Figura 6* si può osservare un'immagine di questa struttura ottenuta tramite microscopio elettronico a scansione, che mostra

tale struttura sferica: esaminando il disegno schematico a destra, si può notare la matrice di PMMA (1), la struttura sferica del copolimero (2) e i bordi caratterizzati da PMMA innestato sul copolimero. [3]

Tale struttura in cui l'involucro del copolimero è elastico, è responsabile delle caratteristiche peculiari del materiale.

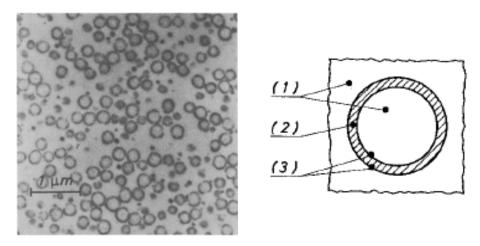


Figura 6 - Struttura microscopica del Plexigla antiurto

Le caratteristiche fisiche di tale materiale, come densità e trasparenza sono praticamente le stesse del materiale standard; un occhio esperto può notare soltanto una piccola differenza per quanto riguarda un leggero riflesso azzurrato della superficie ed il fatto che i bordi derivanti dal taglio laser non risultino perfettamente lucidi come quelli del plexiglas, ma siano un po' opachi.

	Plexiglas standard	Plexiglas antiurto
Densità [g/cm³]	1,19	1,19
Resilienza senza intaglio a _{cu} [kJ/m ²]	15	65
Modulo elastico E [MPa]	3300	2000

Tabella 1 - Confronto caratteristiche Plexiglas standard ed antiurto

Come si può notare dalla tabella la differenza di resilienza è importante e quindi, nonostante la differenza di costo di circa il 30% in più, l'utilizzo dell'antiurto è comunque giustificato.

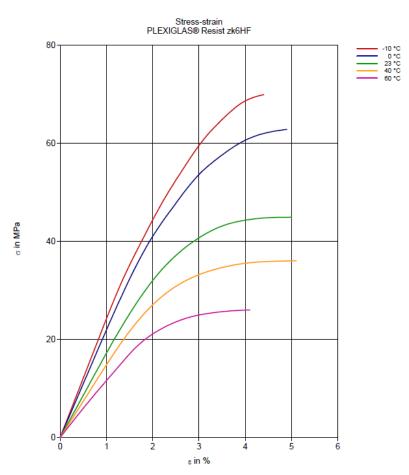


Figura 7 - Diagramma sforzo-deformazione del Plexiglas antiurto

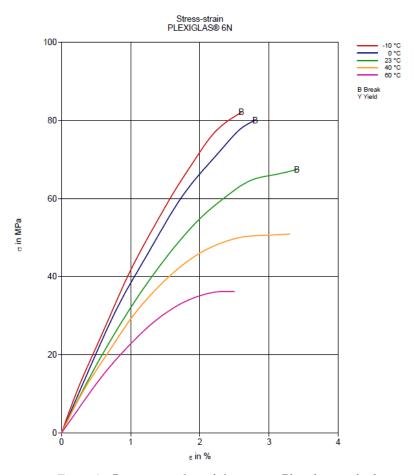


Figura 8 - Diagramma sforzo-deformazione Plexiglas standard

Come si può osservare dai grafici di tensione-deformazione precedenti, l'antiurto permette una deformazione maggiore, ad esempio a 23 °C, riesce a raggiungere una ε di circa 5% mentre, alla stessa temperatura, il plexiglas standard permette solo una deformazione del 3,3% circa. La differenza però si può notare nella tensione corrispondente, che per lo standard è di circa 68 MPa, mentre per l'antiurto si abbassa a 45 MPa. Tale osservazione giustifica il fatto che il plexiglas antiurto sia caratterizzato da un modulo elastico minore rispetto all'altra tipologia.

3.1.2 Lavorazioni meccaniche

Le lavorazioni meccaniche che si possono effettuare sul Plexiglas (non vi è differenza fra standard e antiurto) sono, a parte alcune eccezioni, del tutto simili a quelle possibili sui materiali metallici. Ancor più simili sono quelle possibili su legno duro. Ci si riferisce, in questo caso, a tornitura, fresatura, taglio con dischi dentati, taglio laser, foratura, levigatura, incollaggio, termoformatura, imbutitura. In questa sezione verranno descritti i principali e quelli che sono stati maggiormente utilizzati per la realizzazione del progetto.

Taglio con sega circolare

Il plexiglas si adopera bene ad essere tagliato tramite seghe circolari, sia manuali che da banco. È necessario utilizzare seghe a denti multipli, molto ben affilate, che vengano utilizzate soltanto per questo tipo di materiale. La dentatura deve essere necessariamente dritta per evitare scheggiature. In alcuni casi, soprattutto se lo spessore del materiale da tagliare inizia ad essere elevato (superiore a 3mm), è necessario raffreddare la zona di taglio con acqua o con aria compressa per evitare la rifusione dei trucioli sul bordo.

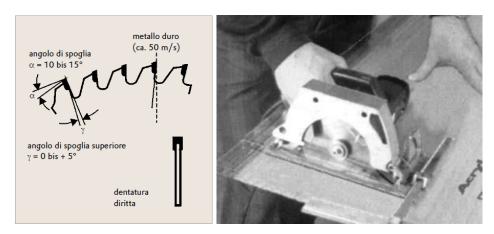


Figura 9 - Caratteristiche dentatura disco per taglio Plexiglas

Il taglio ottenuto con questa tipologia di lavorazione risulta essere opaco e non preciso (presenza di residui di trucioli fusi), per questo motivo, soprattutto negli ultimi anni, è stato accantonato parzialmente e viene utilizzato soltanto per operazioni propedeutiche ad altre lavorazioni: in Adeglas, il taglio con sega circolare, viene utilizzato per la sezionatura delle lastre intere che sono di grandi dimensioni (3050x2050mm) nel caso in cui

se ne necessiti soltanto una parte per una successiva lavorazione, ad esempio per il taglio laser.

Le stesse indicazioni presentate valgono anche per il taglio tramite seghe alternative anziché rotative.

Foratura e maschiatura

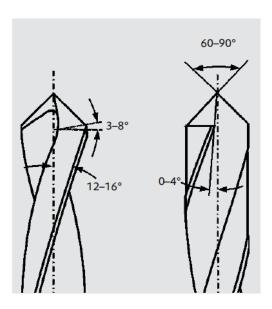


Figura 10 - Caratteristiche punte elicoidali per foratura Plexiglas

La foratura del plexiglas può essere effettuata tramite tutte le punte elicoidali comuni che abbiano un angolo di affilatura fra 60°-90°. Anche in questo caso la superficie risultante dalla lavorazione è opaca e se si effettuano forature su lastre più spesse è necessario il raffreddamento con aria o acqua. La velocità di rotazione corretta si può considerare raggiunta quando il truciolo risulta liscio e continuo.

Anche tale lavorazione è stata parzialmente accantonata in quanto si può ottenere contemporaneamente al taglio laser, con un risultato finale anche migliore.

Per quanto riguarda la maschiatura, risulta possibile sul PMMA con i comuni maschi per filettare materiali metallici, ma non è suggerita quando può essere sostituita con fori passanti o incollaggio. Questo perché è molto frequente la rottura del materiale a causa di questa lavorazione.

Tornitura

La tornitura è possibile su oggetti assialsimmetrici di Plexiglas; nel progetto, oggetto di questo elaborato, questo tipo lavorazione non è stato utilizzato, ma è comunque importante e molto simile a quella dei materiali metallici.

Gli utensili per una lavorazione corretta devono avere angolo di spoglia compreso fra 0° e -4° ed angolo di spoglia inferiore fra 5° e 10°. La velocità di taglio deve essere di circa 250 m/min e una finitura superficiale migliore si ottiene con velocità di rotazione elevate accompagnate da velocità di avanzamento moderate. Anche in questo caso, si può considerare raggiunta la velocità di rotazione corretta quando il truciolo è liscio e continuo.

Fresatura

Un altro tipo di lavorazione che non è stata utilizzata per la realizzazione del Pleximag, ma comunque molto importante fra quelle possibili sul PMMA è la fresatura, che può essere effettuata sia tramite frese manuali che con frese professionali anche a controllo numerico. Particolare attenzione si deve porre alla tipologia di attrezzatura: le frese deve essere a dentatura fine oppure a dentatura grossa ma con velocità di rotazione molto elevata, per evitare la fessurazione del materiale e per ottenere una finitura superficiale migliore.



Figura 11 - Fresa a pantografo dell'azienda Adeglas

Adeglas utilizza due fresatrici a controllo numerico come quella in Figura 11 della tipologia a pantografo. Nella realizzazione dell'espositore in oggetto non è stata utilizzata questa tipologia di tecnologia in quanto essa risulta molto più costosa del taglio laser e poiché l'oggetto deve risultare poco costoso, si è voluto evitarla. La differenza di costo risulta principalmente dalla differenza di velocità di lavorazione fra le due tecnologie: la fresatura, essendo una lavorazione ad asportazione di truciolo, risulterà sempre più lenta rispetto al laser che invece sfruttando differenti meccanismi chimico/fisici, è molto più veloce.

Taglio laser

Tale tipologia di lavorazione risulta essere quella maggiormente utilizzata per il lavoro in oggetto. Si rimanda la sua dissertazione al paragrafo dedicato.

Termoformatura

Tutte le lastre in Plexiglas possono essere termoformate. La termoformatura consiste nel riscaldamento del materiale ad una temperatura di circa 160 °C, con successiva formatura e raffreddamento.

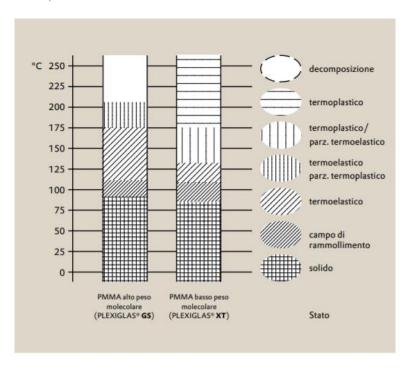


Figura 12 - Cambiamento stato fisico del Plexiglas in funzione della temperatura

Il riscaldamento può essere effettuato tramite fonti di calore puntuali se soltanto una piccola parte di materiale deve essere formato (ad esempio piegatura ad angolo della lastra) o che permettano il riscaldamento dell'intera lastra se è necessaria la formatura completa. Il tempo di riscaldamento dipende dallo spessore del materiale, una volta raggiunta la temperatura questo deve essere formato manualmente oppure tramite appositi stampi (eventualmente anche con positivo/negativo) e infine deve essere mantenuto nella forma voluta almeno fino al raggiungimento di 60°C circa.

Tale lavorazione è stata evitata nella realizzazione del Pleximag in quanto anch'essa risulta essere onerosa a causa della manodopera necessaria e della realizzazione degli stampi di formatura. Essa è stata sostituita dall'utilizzo di materiali molto più flessibili del Plexiglas come il PETG che non hanno necessitato di formatura a caldo.

Come si può notare dalla figura, la formatura a freddo del Plexiglas non risulta essere possibile in quanto essendo fragile a temperatura ambiente, l'allungamento a rottura è minimo.

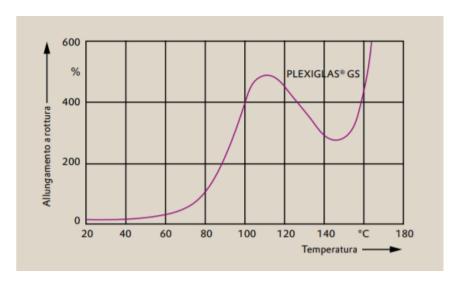


Figura 13 - Diagramma allungamento a rottura Plexiglas in funzione della temperatura

3.2 Policarbonato

Il policarbonato è un polimero termoplastico che deriva dalla condensazione di diossidifenilalcani con esteri dell'acido carbonico, che presenta come monomero, il gruppo -O-R-O-CO-, dove R è un radicale derivante dal diossidifenilalcano. [4]

Figura 14 - Struttura chimica del policarbonato

Il policarbonato più importante è quello ottenuto dal bisfenolo-A la cui struttura monomerica è riportata in Figura 14.

La scoperta del PC si deve a E. I. Carothers nel 1928, quando, durante ricerche per il settore tessile e dei filati, scoprì tale materiale. I tempi però non erano ancora maturi per un materiale così innovativo, infatti il suo utilizzo commerciale iniziò poi fra gli anni '60-'70, quando, sfruttando le sue ottime caratteristiche meccaniche, la trasparenza e la resistenza, il PC iniziò ad essere usato in sostituzione del vetro. La facilità di sterilizzazione e la sua resistenza lo hanno fatto diventare un materiale indispensabile nel settore medico, in quello alimentare ma anche nell'industria automotive e nella produzione di componenti per elettrodomestici.

Le caratteristiche principali di tale polimero sono:

- Trasparenza elevata (circa 0,89)
- Densità di 1,2 g/cm³, ovvero circa metà di quella del vetro
- Temperatura di transizione vetrosa intorno a 150 °C
- Facilità nella formatura a caldo e a freddo (a differenza del vetro), nelle lavorazioni meccaniche per asportazione di truciolo e nell'incollaggio
- Elevata tenacità

- Resistenza a acidi minerali, agli idrocarburi alifatici, alla benzina, ai grassi, agli oli, alle alcoli
- Resistenza alla tensione 60-70 N/mm²
- Modulo elastico 2300 N/mm²

3.2.1 Lavorazioni meccaniche

Per quanto riguarda le lavorazioni del policarbonato, esse si possono considerare del tutto simili a quelle considerate per il Plexiglas, a parte alcune eccezioni: per tale motivo, in questo paragrafo, vengono trattate soltanto queste lavorazioni differenti.

Taglio laser

Il taglio tramite laser del policarbonato non è consigliato, in quanto l'esito finale risulta assolutamente non di qualità.

In particolare, si ottengono i seguenti inconvenienti:

- Bordi di taglio irregolari
- Superficie di taglio con presenza di depositi carboniosi e quindi antiestetica
- Aumento delle tensioni delle lastre dopo la lavorazione, che possono deformarla e cambiarne le caratteristiche [5]

Curvatura e piegatura a freddo

A differenza del Plexiglas, il PC può essere curvato anche a freddo. Questa tipologia di lavorazione è molto semplice ed economica in quanto non prevede l'utilizzo di attrezzatura tecnica ma soltanto la previsione in fase di progetto della presenza di ancoraggi che mantengano il materiale in una certa posizione in flessione. Le curvature che è possibile applicare alle lastre dipendono dello spessore di quest'ultima e, come ordine di idee, il raggio minimo deve essere maggiore di 100 volte lo spessore in mm della lastra. Nella tabella sottostante sono riportati i raggi minimi raccomandati in funzione dello spessore.

Spessore [mm]	Raggio minimo di curvatura [mm]
2	600
3	900
4	1200
5	1500
6	1800
8	2400

Tabella 2 - Raggi minimi di curvatura in funzione dello spessore

Per quanto riguarda la piegatura a freddo, anch'essa risulta possibile sul policarbonato, grazie alla duttilità elevata di tale materiale. Si devono però precisare alcune regole da rispettare per ottenere un buon risultato:

- Utilizzare utensili a spigolo vivo
- Dopo la piegatura lasciare il tempo necessario alla lastra per rilasciare tutte le tensioni residue
- In fase di progetto è necessario considerare un aumento dell'angolo di piegatura poiché dopo l'operazione si ha un ritorno del materiale
- È indispensabile che i bordi delle lastre siano lisci e non presentino intagli per evitarne la propagazione durante la piegatura.

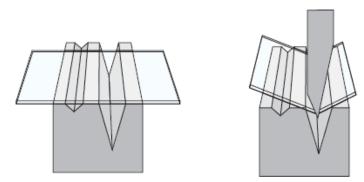


Figura 15 - Piegatura a freddo del policarbonato

Nonostante le ottime caratteristiche del policarbonato, dopo un'attenta analisi, si è stabilito di evitarne l'utilizzo: il fatto di non poterlo tagliare tramite laser risulta essere un grosso inconveniente, poiché tutte le altre lavorazioni possibili su questo materiale sono molto costose. Si è quindi

optato per l'utilizzo del PETG che possiede caratteristiche simili ma è laserabile.

3.3 PETG

Tale materiale deriva dal polietilene tereftalato (PET) con l'aggiunta di glicole. Il PET è un poliestere ottenuto per policondensazione di glicole etilico con acido tereftalico. Il PETG possiede la stessa composizione ma con l'aggiunta di glicole che ne migliora le caratteristiche e lo rende maggiormente deformabile e adatto alla termoformatura.

Possiede le caratteristiche seguenti:

- Densità 1,27 g/cm³ (di poco superiore rispetto a PMMA e PC)
- Trasmissione della luce pari a 0,88
- Resistenza alla trazione pari a 53 MPa
- Assenza di rottura alla prova Charpy senza intaglio
- Modulo elastico pari a 2200 MPa

3.3.1 Lavorazioni meccaniche

Le lavorazioni meccaniche possibili per il PETG sono le stesse che vengono effettuate sul Plexiglas. I risultati, in termini di finitura superficiale e di precisione del risultato finale sono ottimi. Come già accennato, a differenza del policarbonato esso può essere tagliato a laser.

Nel progetto oggetto di tale elaborato è stato sfruttato per le sue proprietà di duttilità: la copertura esterna del Pleximag prevedere una curvatura della lastra con degli appositi incastri, per questo motivo è stato utilizzato un PETG di spessore 2mm che permette la curvatura a freddo in modo semplice e di conseguenza un risparmio in termini di manodopera e di lavorazione.

3.4 Confronto caratteristiche meccaniche acciaio - PMMA

Nonostante normalmente acciaio e Plexiglas non vengono considerati alternative per la medesima applicazione, nel contesto di tale progetto si è giunti invece al bivio di scelta fra questi due materiali. Risulta quindi appropriato un confronto delle caratteristiche di questi, in quanto l'acciaio è il materiale maggiormente utilizzato nella progettazione meccanica e risulta quindi essere il termine di paragone più conosciuto in questo campo.

Stress-strain a temperatura ambiente

Come prima cosa si vogliono andare a confrontare i diagrammi di tensione-deformazione dei due materiali ottenuti con prove a temperatura ambiente di circa 23° C.

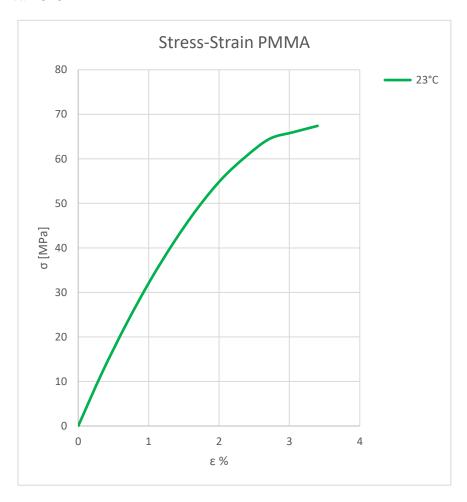


Figura 16 - Diagramma Stress-Strain PMMA

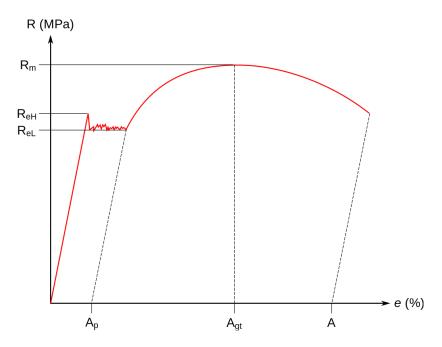
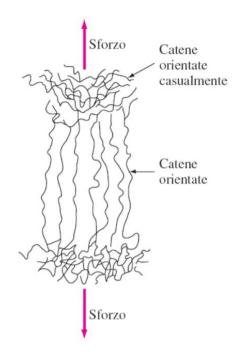


Figura 17 - Diagramma Stress-Strain acciaio

Come si può osservare, innanzitutto, la deformazione massima che il PMMA può raggiungere è di quasi un ordine di grandezza inferiore rispetto a quella dell'acciaio. Tale peculiarità deriva dalla natura stessa dei materiali: il Plexiglas è un polimero termoplastico ma ha una natura prevalentemente fragile a temperatura ambiente, mentre l'acciaio presenta un comportamento duttile. Questo porta alla possibilità da parte dell'acciaio di avere una deformazione a rottura anche molto elevata mentre il Plexiglas può al massimo raggiungere qualche punto percentuale (4-5%) prima di raggiungere la rottura.

È da precisare anche il fatto che il carico di rottura che si legge dal diagramma è una tensione "nominale" in quanto, raggiunto il limite di elasticità dell'acciaio, la sezione non è più quella iniziale, ma avviene una strizione e per questo la tensione non è più reale. Il PMMA invece, presenta una caratteristica stess-strain che contiene soltanto il tratto elastico, che in tal caso non è lineare; il limite di snervamento coincide con il limite a rottura per questi tipi di materiale.



 $Figura\ 18-Rappresentazione\ della\ deformazione\ del \ PMMA\ sottoposto\ a\ sforzo$

In figura è rappresentato il fenomeno di deformazione dei polimeri: essa è dovuta alla rotazione e all'allungamento dei legami tra gli atomi delle macromolecole. Se lo sforzo viene rilasciato le catene tornano nella posizione precedente. Se invece lo sforzo supera il limite elastico si può riscontrare uno spostamento relativo delle macromolecole con una conseguente deformazione permanente del materiale. [6]

I carichi di rottura dei due materiali risultano essere di circa 70-80 MPa per il Plexiglas e di 500 MPa (in media) per l'acciaio. È evidente che i due materiali presentino grandi differenze sia in termini di resistenza che di deformazioni; è quindi confermato il fatto che, in generale, non possano essere considerati intercambiabili, ma per quanto riguarda la realizzazione del Pleximag, invece, il PMMA può andare a sostituire l'acciaio come materiale strutturale per l'esecuzione di particolari che nella "meccanica classica" sarebbero stati prodotti con materiali metallici, in quanto tale espositore non dovrà sopportare grandi sforzi ma è destinato a piccoli oggetti.

Stress-strain al variare della temperatura

I diagrammi di tensione-deformazione dei materiali è funzione della temperatura di prova a cui essa viene effettuata. In particolare, il

comportamento dei polimeri viene influenzato in modo evidente dalla temperatura e ne fa cambiare il comportamento. Anche il comportamento dell'acciaio viene modificato dalla temperatura a cui viene effettuata il test.

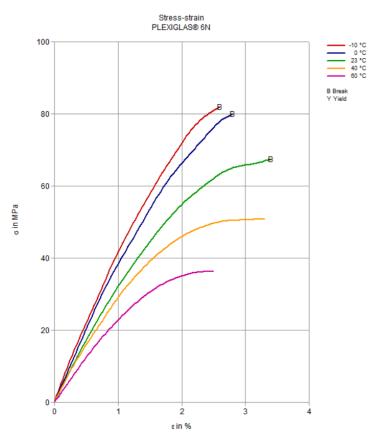
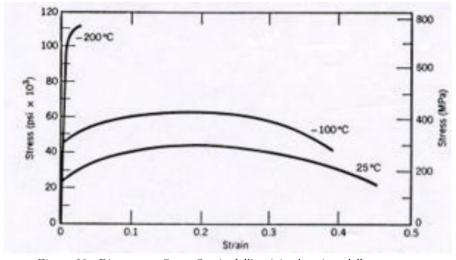


Figura 19 - Diagramma Stress-Strain PMMA al variare della temperatura



 $Figura\ 20 - Diagramma\ Stress-Strain\ dell'acciaio\ al\ variare\ della\ temperatura$

Nonostante le temperature di prova siano nettamente differenti fra PMMA e acciaio, si possono comunque fare alcune osservazioni. Al diminuire della temperatura la reazione di entrambe i materiali è la medesima: l'allungamento a rottura diminuisce e il comportamento risulta essere maggiormente fragile in tutti e due i casi. Per ottenere tale situazione però, basta una diminuzione di qualche decina di gradi per il PMMA mentre per l'acciaio è necessaria una diminuzione dell'ordine delle centinaia.

All'aumentare della temperatura, invece, il Plexiglas già a 40 °C non presenta più rottura ma soltanto strizione accompagnato dal raggiungimento di tensioni minori rispetto quelle possibili a temperature minori. Anche per i materiali metallici si ha la medesima influenza: per quanto riguarda le tensioni, esse diminuiscono all'aumentare della temperatura. Medesimo trend viene seguito dalle deformazioni.

Possiamo quindi concludere che l'influenza che hanno le condizioni termiche sui due differenti materiali è la stessa, però la differenza risiede nei gap che la temperatura deve sostenere affinché gli effetti possano essere visibili: il PMMA ed i polimeri in generale necessitano di una differenza molto minore rispetto a quella necessaria per ottenere gli stessi effetti sull'acciaio. Da qui si stabilisce, ovviamente, che l'acciaio è un materiale molto più stabile termicamente rispetto al Plexiglas.

Anche in questo caso si può asserire che il PMMA possa sostituire l'acciaio in quanto non è previsto l'utilizzo del Pleximag in condizioni di temperature differenti da quelle ambiente o che comunque possano variarne le caratteristiche meccaniche e strutturali.

Caratteristiche fisiche

Fra le caratteristiche fisiche dei due materiali, quella che maggiormente può spiccare per differenza è sicuramente la densità: il Plexiglas è circa 1,2 g/cm³ mentre l'acciaio è circa 7,8 g/cm³. Risulta evidente come l'acciaio sia più di 6 volte più pesante rispetto al materiale polimerico. Se il Pleximag finito, realizzato in Plexiglas, pesasse circa 10kg, lo stesso realizzato in materiale metallico risulterebbe circa 60kg! È evidente che la differenza di peso è elevata e per l'utilizzo che se ne vorrebbe fare di questo tipo di espositore, una massa troppo elevata potrebbe risultare un problema non superabile. Invece tramite l'utilizzo delle materie plastiche per la sua produzione, si è potuto realizzare un oggetto leggero e quindi di semplice installazione da parte anche di personale non specializzato.

Riciclo e sostenibilità

In questo periodo sempre di più, giustamente, si fa attenzione alla sostenibilità ed al riciclo al termine del ciclo di vita del prodotto che si progetta. A tal proposito, se si considera ancora una volta la realizzazione di Pleximag con materiali metallici, sicuramente essi sono riciclabili; è però rassicurante il fatto che anche il PMMA sia riciclabile.

Dopo la corretta separazione dei vari componenti, il Pexiglas può essere riciclato completamente. Esistono differenti tecniche per il suo recupero:

- Riciclo meccanico
- Riciclo chimico
- Riciclo termico

Per quanto riguarda il *riciclo meccanico*, esso consiste nella ripellettizazione del polimetilmetacrilato e nella sua reimmissione nel ciclo produttivo. I prodotti realizzati tramite tale materiale riciclato possiedono le stesse caratteristiche del materiale vergine.

Il riciclo chimico invece, prevede un trattamento che possa ricondurre il PMMA al suo monomero originale (metil-metacrilato) che successivamente può essere utilizzato per la produzione di nuovo polimero o emulsioni di metacrilato. In questo caso il prodotto ottenuto dal riciclo può presentare alcune impurità dovute alla non perfetta pulitura del materiale da riciclare, ma possiede comunque le medesime caratteristiche del materiale vergine e ottime caratteristiche estetiche.

Il riciclo termico del polimero consiste nella combustione del PMMA per ottenere energia. L'incenerimento corretto porta ad ottenere soltanto acqua e anidride carbonica e quindi non genera sostanze inquinanti per l'ambiente.

Inoltre, il Plexiglas risulta essere un materiale sostenibile in quanto è un materiale longevo, che resiste bene agli agenti atmosferici e che può durare anche fino 20 anni; se correttamente prodotto è anche un materiale che non rilascia sostanze inquinanti in ambiente in quanto è costituito principalmente da ossigeno, carbonio e idrogeno.

Oltre a questo, il Plexiglas permette, come già osservato nel paragrafo precedente, di realizzare oggetti resistenti e allo stesso tempo più leggeri: ad esempio particolari per auto, mezzi pesanti, aerei ecc che permettono a loro volta un risparmio in termini di emissioni di inquinanti. [7]

Capitolo 4

Progettazione e ottimizzazione

Come si era già accennato precedentemente il vero obiettivo del lavoro di tesi svolto è stato quello sì, di progettare il prototipo di espositore meccanizzato, ma principalmente quello di andare ad ottimizzare la produzione stessa del dispositivo.

Durante la fase di progettazione sono stati valutati gli ingombri, le dimensioni e le proporzioni, le tipologie di materiali da utilizzare ed i meccanismi di trasmissione impiegabili. Tale fase è stata eseguita realizzando disegni tridimensionali tramite in software Solidworks grazie ai quali si è potuti giungere ad un assieme totale dell'espositore. La modellazione 3D è stata utile per verificare tutti gli accoppiamenti e le eventuali interferenze fra componenti. Successivamente, i modelli sono stati trasferiti in file di disegno bidimensionali e con l'ausilio del software Autocad sono stati modifica per la preparazione dei file di taglio laser CNC.

Per quanto riguarda l'ottimizzazione invece, essa è stata il vero punto focale; con ottimizzazione in questo caso si intende lo studio del prodotto e del processo necessario alfine di ottenere una produzione snella, veloce e che quindi possa tradursi in costi di produzione contenuti. Come già accennato, costi di produzione ragionevoli sono una condizione necessaria affinché l'oggetto in questione possa ottenere una posizione sul mercato, e questo lo si è cercato di ottenere tramite il miglioramento sia dell'utilizzo dei materiali e delle lavorazioni annesse, sia (e soprattutto) della fase di assemblaggio manuale del prodotto.

Il fatto di aver suddiviso il lavoro svolto in queste due fasi, progettazione e ottimizzazione, è stato soltanto un modo per spiegare in maniera più chiara l'operato, ma nella realtà queste due fasi non sono state così ben separate, ma, anzi, esse sono state svolte insieme, compenetrandosi continuamente, in quanto l'una influenzava l'altra e si dovevano continuamente rivedere. Il risultato finale ottenuto dal lavoro è quindi, appunto, il frutto dell'interazione stretta di queste due operazioni.

In questo capitolo verranno analizzate le varie componenti del Pleximag presentando per ognuna di esse le operazioni di progettazione/ottimizzazione che sono state svolte, le eventuali evoluzioni che esse hanno subito, le motivazioni che hanno portato a queste ed il risultato finale ottenuto.

4.1 Incastri e ottimizzazione strutturale

Si può considerare come punto di partenza del lavoro il prototipo precedentemente sviluppato dall'azienda in Figura 21. Esso era costituito da un telaio in acciaio piegato, che sosteneva un meccanismo, anch'esso in acciaio, di trasmissione a catena necessario per il movimento dei cassetti portaoggetti in Plexiglas.



Figura 21 - Primo prototipo Pleximag di Adeglas

Il risultato di tale prototipo però non era soddisfacente in quanto l'espositore era molto pesante, difficilmente spostabile ed installabile senza l'ausilio di personale specializzato, ma soprattutto, molto costoso, a causa della necessità in fase di assemblaggio di un massiccio utilizzo di manodopera. Il lavoro è quindi iniziato da questo concept, sviluppandolo però in modo più analitico per ottenere un prodotto vendibile sul mercato.

Innanzitutto, sono state riviste le dimensioni dell'espositore: il prototipo iniziale era alto 2000mm per una larghezza di 1000 mm ed una profondità di 200mm. Tali dimensioni risultavano esagerate e rendevano troppo

ingombrante l'espositore ed allo stesso tempo poco capiente, in quanto la profondità era contenuta ed i cassetti piccoli di conseguenza.

Il nuovo Pleximag invece ha i seguenti ingombri:

- Lunghezza 490mm
- Altezza 458mm
- Profondità 295mm

Volutamente, l'espositore è stato pensato di piccole dimensioni, per poter essere installato facilmente, per poter esporre oggetti di piccole dimensioni e ovviamente per contenere i costi. Si è però pensato, come verrà esposto in un paragrafo successivo, alla possibilità di riprodurre lo stesso progetto in dimensioni differenti in modo da costituire una gamma di Pleximag in grado di andare incontro alle necessità differenti dei clienti.

Per poter diminuire al massimo la manodopera necessaria per la produzione del Pleximag, sono stati utilizzati, ovunque fosse possibile, degli *incastri* per il suo assemblaggio. Con incastri, in questo caso, si intende lo sfruttamento della forma e dell'elasticità di una parte di materiale che viene utilizzata per assemblare due parti differenti dell'oggetto. In questo modo è stato diminuito al minimo l'utilizzo di viti e di collegamenti filettati i quali comportano una spesa di manodopera di montaggio elevata. Gli incastri risultano invece veloci nel montaggio e, se ben studiati, anche robusti. Ovviamente non si è potuto utilizzare un solo tipo di incastro per tutti i componenti del Pleximag, ma sono stati studiati e differenziati in base al tipo di utilizzo.

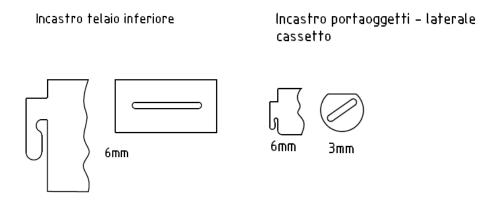


Figura 22 - Rappresentazione delle tipologie di incastri utilizzati

Nell'immagine precedente sono riportati i disegni dei due incastri principali utilizzati.

Il primo è l'incastro più importante, impiegato per l'assemblaggio della struttura portante del Pleximag, il telaio, come verrà chiamato in seguito. È l'incastro che permette di unire i due componenti laterali con il fondo e con la traversa di rinforzo come in Figura 23.



Figura 23 - Telaio assemblato del Pleximag

In questo caso è stato pensato volutamente ingombrante, ovvero il "becco" dell'incastro è di grandi dimensioni e di conseguenza anche l'asola che lo deve accogliere, per poter essere robusto, in quanto tale telaio deve sostenere tutti gli altri componenti.

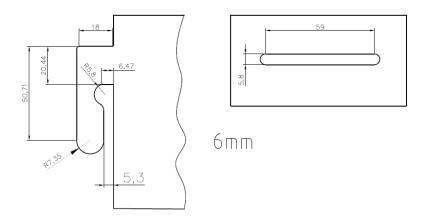


Figura 24 - Incastro utilizzato per il telaio

Tale incastro è da realizzarsi si Plexiglas di spessore 6mm. Le quote che dovrebbero essere dettate dallo spessore del materiale, in questo caso non risultano essere precisamente uguali ad esso e questo è dovuto a due motivazioni:

- Si è imposta una interferenza di accoppiamento di 0,3 mm. Questa è stata necessaria per dare rigidità all'incastro ed è stata possibile grazie all'elasticità del materiale, in particolare del Plexiglas antiurto che è più flessibile di quello standard e quindi permette una maggior flessione dell'incastro.
- Il disegno presentato è quello utilizzato per il taglio laser ed è quindi stato modificato di conseguenza come verrà spiegato nel capitolo sulla prototipazione.

Il secondo incastro presentato è quello invece che è stato utilizzato per l'assemblaggio dell' "elemento portaoggetti", in particolare per unire i laterali alla piastra di supporto oggetti. In questo caso l'incastro prevede l'utilizzo di due spessori differenti di materiale, ma questo va ad influenzare soltanto le quote riguardanti e non le caratteristiche dell'incastro stesso. Rispetto a quello precedente però, questo è di dimensioni minori, in quanto andrà a supportare solamente gli oggetti esposti su di un singolo cassetto, che per decisione progettuale, almeno per questo Pleximag, sono oggetti di piccole dimensioni.

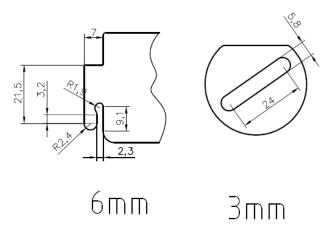


Figura 25 - Incastro utilizzato per gli elementi portaoggetti

Anche in questo caso si è imposto un accoppiamento con 0,3 mm di interferenza. Valgono anche qui le considerazioni precedenti sulla variazione delle quote a causa del taglio laser.

4.2 Trasmissione del moto

4.2.1 Scelta del tipo di trasmissione

Parte fondamentale dell'espositore in oggetto è proprio il movimento, per questo motivo gli è stata è stata riservata particolare attenzione.

Innanzitutto, si è partiti dall'idea che era stata sviluppata per il prototipo che Adeglas aveva già realizzato: un meccanismo costituito da ruote dentate e due trasmissioni flessibili a cui erano fissati i cassetti portaoggetti. Il problema principale di questa tipologia di meccanismo, però era l'utilizzo di una catena a perni standard a cui venivano asportati manualmente i perni in corrispondenza del fissaggio dei cassetti: quindi il perno standard veniva sostituito con uno differente che potesse essere utilizzato per rendere solidale un cassetto.



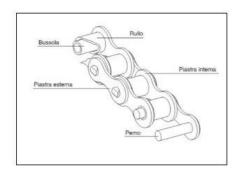


Figura 26 - Rappresentazione trasmissione a catena

Come si può osservare dall'immagine, essendo i perni della catena ribaditi, per ottenere il risultato voluto, era necessario smerigliare manualmente la testa e poi ribatterla via, altrettanto manualmente tramite l'utilizzo di un martello. Questo tipo di lavorazione si traduceva in un costo della manodopera esagerato, che, da solo, portava fuori budget l'espositore.

A tale proposito si sono andate a vagliare le diverse possibili trasmissioni flessibili utilizzabili, ovvero:

- Cinghia piana
- Cinghia trapezoidale
- Cinghia dentata
- Catena

Per quanto riguarda la cinghia piana essa risulterebbe essere un'ottima alternativa in termini di costo, in quanto è una trasmissione economica. Il primo problema incontrato durante l'analisi di tale scelta però, è stata la necessità di elaborare un sistema che renda possibile l'attacco degli elementi portaoggetti alla cinghia: tale dispositivo è stato pensato costituito da due componenti che si vadano a chiudere abbracciando fra loro la cinghia.

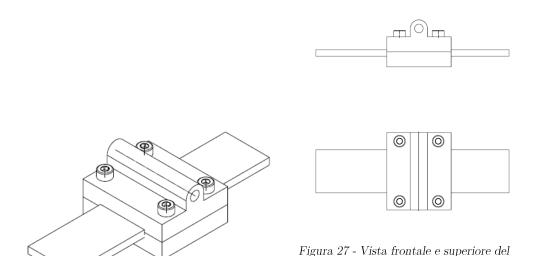
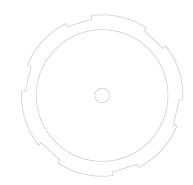


Figura 28 - Dispositivo per l'ancoraggio su cinghie piane



dispositivo per l'ancoraggio su cinghie piane

Figura 29 - Puleggia per l'utilizzo del dispositivo di ancoraggio

Il problema sorge dal fatto che tale tipologia di trasmissione necessiterebbe di pulegge apposite che avessero la superficie fresata in modo da poter ospitare i dispositivi descritti sopra, altrimenti, nel momento in cui il cassetto raggiungesse la puleggia, verrebbe meno il contatto cinghia-puleggia con un possibile slittamento conseguente. Inoltre, in questo modo si otterrebbe un sistema rigido, non facilmente modificabile, in quanto una variazione del numero di cassetti porterebbe alla necessità di nuove pulegge. Inoltre, una puleggia di questo genere, con una lavorazione così particolare, avrebbe un costo molto elevato che porterebbe fuori target-cost l'intero progetto.

Per tali motivi l'utilizzo della cinghia piana è stato accantonato.

È stato preso in considerazione anche l'utilizzo di *cinghie a sezione* trapezoidale in quanto questa tipologia è probabilmente quella più diffusa e

quindi la meno costosa. Anche in questo caso si è presentato il problema dell'elaborazione di un sistema di aggancio per i portaoggetti: è stato pensato un oggetto analogo a quello presentato per la cinghia piana, che però presentava esattamente gli stessi problemi citati precedentemente. È stato anche pensato un sistema ad asola che venisse fissato tramite due viti sulla faccia superficiale della cinghia (Figura 30).

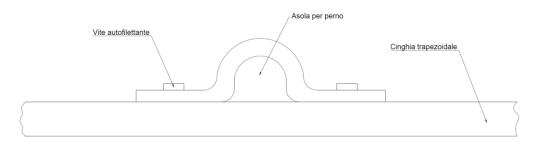


Figura 30 - Dispositivo di ancoraggio su cinghie trapezoidali

Anche per questo tipo di soluzione però il risultato sarebbe molto rigido, in termini di modificabilità ed allo stesso tempo oneroso economicamente: l'installazione di tali dispositivi dovrebbe essere effettuata manualmente, con un conseguente aumento cospicuo del costo di assemblaggio.

Oltre a queste, è stata anche presa in considerazione la *cinghia dentata*. Essa presentava subito un punto a favore, ovvero la presenza sul mercato di componenti commerciali che avessero come scopo il fissaggio su di essa di un carico, cioè esattamente quello che di cui si necessitava per l'applicazione sul Pleximag.



Figura 31 - Dispositivo per l'ancoraggio su cinghie dentate

Anche in questo caso risultava necessario l'utilizzo di pulegge dentate, ed anche queste potevano essere acquistate come componenti commerciali sul mercato. Il problema principale di questa applicazione, però, è stato il prezzo: le cinghie dentate risultano essere già quelle più costose, inoltre, non essendo standard, il costo lievitava ancora di più, rendendo il target-cost non più soddisfatto.

Infine, è stata rivista la tipologia di trasmissione a *catena*, ovvero quella già utilizzata nel primo prototipo di Adeglas, ma che comportava costi di manodopera esagerati. In particolare, si è andati ad analizzare la tipologia di *catena a perni forati*, una catena non standard, che ha la particolarità di avere appunto i perni forati nei quali si possono andare ad alloggiare viti o spine per il trascinamento di un carico.



Figura 32 - Catene a perni forati

Dall'analisi tecnica ed economica di questa tipologia di trasmissione è risultato che potesse essere la soluzione migliore per l'applicazione sul Pleximag: il costo è contenuto, di poco maggiore rispetto alle catene standard e tecnicamente corrisponde ai requisiti necessari. Viene, in questo modo, eliminata la manodopera di preparazione che era necessaria per l'utilizzo delle catene standard e rimane semplicemente quella per il montaggio vero e proprio degli elementi portaoggetti sulla catenaria.

In particolare, è stata scelta la tipologia di catena con le caratteristiche riportate in *Tabella 3*, ovvero quella con dimensioni minori presente sul mercato, in quanto, già questa, risulta essere di dimensioni più che sufficienti per il carico previsto sull'espositore ed anche il diametro del foro sui perni (4,4 mm) risulta essere adeguato all'utilizzo di una vite M4, anch'essa sufficiente al fine previsto.

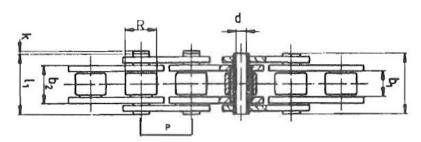


Figura 33 - Dimensioni catena a perni forati

Tipo	Carico di rottur a [kg]	Peso per metro [kg]	Passo P	b_1	R	φ diametro foro d	L_1
			[mm]				
206/SF	1080	0,60	12,7=1/2"	7,8	8,51	4,4	16,1

Tabella 3 - Caratteristiche catena 1/2" x 5/16"

4.2.2 Scelta disposizione

Un'altra scelta che si è presentata durante la progettazione è stata quella della disposizione delle ruote che, in fin dei conti, si traduce nella scelta della forma dell'espositore. Nel primo prototipo Adeglas la disposizione prevedeva semplicemente, considerando un solo lato, due ruote collineari. Tale disposizione è stata accantonata in quanto, per poter ospitare cassetti di dimensioni leggermente maggiori, sarebbe stato necessario l'utilizzo di ruote di diametro molto elevato ed oltre a questo, rendeva l'espositore semplice e non ricercato.

È stata presa poi in considerazione una sistemazione a 4 ruote di dimensioni uguali, disposte a formare un rettangolo. Questa avrebbe permesso di fornire una profondità adeguata all'espositore ma, come contro, avrebbe fornito ad esso una linea troppo regolare e squadrata, in opposizione al fine dell'oggetto stesso di attirare l'attenzione.

Infine, si è optato invece per una configurazione a 3 ruote a formare un triangolo che permette di dare una linea meno squadrata e regolare all'oggetto. Si è inoltre scelto di utilizzare nella parte superiore una ruota di dimensioni maggiori rispetto ai pignoni inferiori per ovviare al problema che

i cassetti avrebbero interferito con l'albero durante il passaggio sulla parte superiore della ruota, con il conseguente ribaltamento.

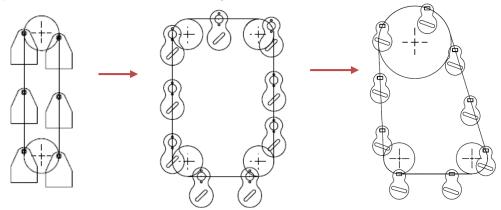


Figura 34 - Sequenza di modifiche successive sulla disposizione degli elementi portaoggetti

4.2.3 Scelta componenti

In questa sezione verranno analizzate e spiegate le motivazioni e le scelte finali dei componenti che corredano la trasmissione a catena, in particolare:

- Ruote
- Alberi e bloccaggi assiali
- Cuscinetti
- Motoriduttore

Ruote

Per quanto riguarda la scelta delle ruote dentate, si è innanzitutto posto il problema del materiale. Ci si è trovati davanti ad un bivio: ruote in acciaio da acquistare come componente commerciale oppure ruote in materiale plastico da produrre internamente all'azienda.

Le ruote in acciaio presentano sicuramente alcuni vantaggi, fra cui il fatto di essere robuste, di avere tolleranze di produzione piuttosto contenute e di essere componenti commerciali acquistabili senza la necessità di doverli produrre internamente. Il costo di tali componenti non sarebbe nemmeno elevato, in quanto è standard.

Il problema principale però di questa tipologia è il fatto di non essere esteticamente piacevoli. Questo non sarebbe nemmeno preso in considerazione nelle normali applicazioni meccaniche, però invece, in questo progetto, come già visto precedentemente, tale aspetto è molto importante.

Per questa motivazione la scelta del materiale è ricaduta sul materiale plastico: in particolare, è stato scelto il Plexiglas antiurto, che, come visto precedentemente, ha caratteristiche elastiche di duttilità migliorate rispetto a quello standard. In questo modo si sono potute ottenere ruote dentate dall'aspetto gradevole, essendo completamente trasparenti, ed allo stesso tempo funzionali, ovvero che abbiano quasi le medesime caratteristiche di quelle in materiale metallico.

Da questo punto in poi verranno utilizzati i termini *pignone*, per indicare le due ruote inferiori che formano la base del triangolo e *ruota*, per indicare la ruota superiore.

La scelta delle dimensioni delle tre ruote, che si traduce in numero di denti, è stata effettuata considerando un numero di denti esiguo per i pignoni, che non necessitano di una dimensione precisa e nemmeno elevata, mentre la dimensione della ruota è stata scelta in moda da rendere possibile il passaggio dei cassetti portaoggetti al di sopra dell'albero su cui è calettata la ruota stessa.

Le caratteristiche delle ruote, infine, risultano essere le seguenti. Esse sono state calcolate seguendo quanto previsto dalla norma UNI. [8]

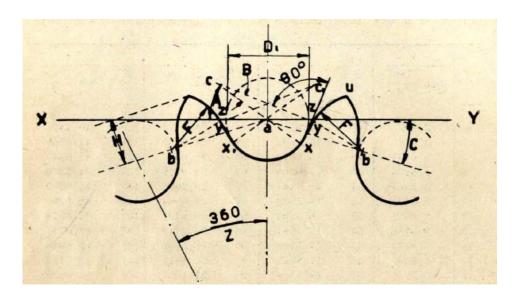


Figura 35 - Costruzione per la definizione del dente ad evolvente

Pignone Z20

Z=20	Numero di denti				
$p=12{,}70\;mm$	Passo (imposto dalle caratteristiche catena)				
$d_1=8{,}51\;mm$	Diametro rullo (imposto dalle caratteristiche catena)				
$D_p = \frac{p}{sen\frac{180}{Z}} =$	81,19 mm	Diametro primitivo			
$D_i = D_p - (1.0)$	05 d + 0.075) = 72.56 mm	Diametro di fondo			
$D_e = D_p + 0.8 \ d$	$= 87,99 \ mm$	Diametro esterno			

Ruota Z35

Z=35	Numero di denti				
$p=12{,}70\;mm$	Passo (imposto dalle caratteristiche catena)				
$d_1 = 8,51 \ mm$	Diametro rullo (imposto dalle caratteristiche catena)				
$D_p = \frac{p}{sen\frac{180}{Z}} =$	141,68 mm	Diametro primitivo			
$D_i = D_p - (1.0)$	05 d + 0.075) = 133.05 mm	Diametro di fondo			
$D_e = D_p + 0.8 \ d$	$t = 148,49 \ mm$	Diametro esterno			

Per effettuare il disegno vero e proprio delle ruote è stato realizzato un programma parametrico tramite il software Autocad che, avendo implementata la costruzione necessaria, permette il tracciamento del profilo

ad evolvente delle ruote semplicemente inserendo i dati identificativi di questa, ovvero passo, diametro del rullo e numero di denti. È necessario quindi soltanto inserire tali parametri ed effettuare una ripetizione circolare per ottenere ogni tipologia di ruota dentata per catene.

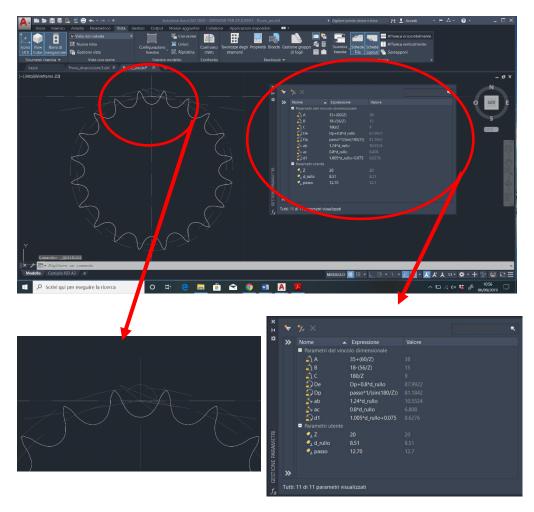


Figura 36 - Programma parametrico per il disegno delle ruote dentate per catene

Tale programma è stato realizzato sia per l'utilizzo in questo progetto che per rilasciarlo all'azienda che, se dovesse trovarsi a dover produrre ruote dentate di questo tipo, avrà un ausilio che permetterà loro un elevato risparmio in termini di tempo e quindi di costi.

Ovviamente tali disegni sono stati utilizzati per il taglio laser delle ruote, come verrà illustrato nel capitolo sulla prototipazione. Per la loro realizzazione è stato utilizzo Plexiglas antiurto di spessore 6mm in quanto la dimensione esatta di 7mm non può essere raggiunta, poiché l'antiurto non prevede lastre di tale spessore. Questo però non risulta essere un problema

ma, anzi, avere un gioco assiale maggiore, evita l'impiantamento della catena sulle ruote.

Per poter effettuare il bloccaggio delle ruote dentate sugli alberi, non potendo utilizzare i metodi tradizionali (linguetta, millerighe), è stata elaborata una boccola che assolva tale compito. Essa possiede due viti in direzione assiale che la vanno a rendere solidale con la ruota ed una vite in direzione trasversale che invece è necessaria per il bloccaggio sull'albero.

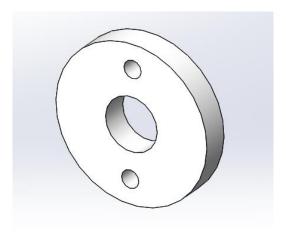


Figura 37 - Boccola per bloccaggio ruote dentate

Tendicatena

Risulta necessario, per la natura stessa delle trasmissioni a catena, un sistema per il tensionamento. Per questo motivo è stato previsto un tendicatena: esso è costituito da due componenti principali: una piastrina ed una ruota dentata.

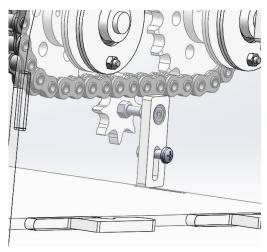


Figura 38 - Tendicatena montato

La piastrina di supporto presenta un'asola per il posizionamento dell'intero tendicatena in modo che abbia l'effetto voluto e un foro filettato e svasato (per permettere l'alloggiamento delle vite a testa svasata) in cui deve essere posizionata la vite che fa da supporto per la ruota dentata. Tale piastrina è fissata all'elemento laterale del telaio tramite collegamento filettato.

La ruota dentata è stata pensata da 8 denti, ovvero il minimo possibile, in quanto non è necessario che sia di dimensioni maggiori. Lo spostamento assiale della ruota è impedito dall'utilizzo di due dadi posizionati alle sue due estremità.

Una volta installato sul telaio, il tendicatena può essere spostato in modo da ottenere la tensione voluta della catena. Si era ipotizzato anche l'utilizzo di un tensionatore automatico (tramite l'utilizzo di un sistema a molla) che potesse riprendere i giochi che si fossero venuti a formare in un tempo successivo al montaggio, ma è stato poi abbandonato in quanto non necessario poiché il movimento della trasmissione è talmente lento che l'allungamento della catena potrà avvenire in tempi davvero lunghi.

Alberi e bloccaggi assiali

Successivamente alle ruote, sono stati presi in considerazione gli alberi di supporto e trascinamento. Ovviamente, anche in questo caso, si è presentata la scelta del materiale fra acciaio e Plexiglas, ma, avendo già deciso di produrre le ruote in materiale plastico, anche per questi componenti si è seguita la stessa linea.

A tale proposito, sono stati scelti alberi costituiti da barre tonde in acrilico colato di diametro 12 mm.

Per il bloccaggio assiale degli alberi rispetto ai cuscinetti, oltre al piantaggio, sono stati realizzati degli anelli in Plexiglas, tagliati a laser, che permetto di bloccare il movimento degli alberi e aiutano inoltre a rendere solidale gli alberi con l'anello interno del cuscinetto.

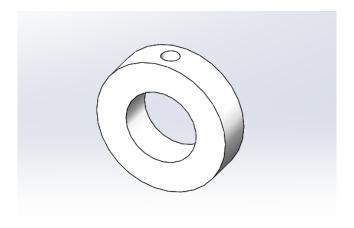


Figura 39 - Boccola per bloccaggio assiale degli alberi

Cuscinetti

Successivamente agli alberi, è stata necessaria la scelta dei cuscinetti. In realtà questa è stata fatta in concomitanza con la scelta del diametro degli alberi in modo da riuscire a far coesistere dimensioni degli alberi adeguate ed al contempo utilizzo di cuscinetti con dimensioni standard e che quindi abbiano prezzi contenuti. Considerando il fatto che sia le barre tonde acriliche, che i cuscinetti non prevedono la sequenza completa di diametri, ma ne vengono prodotti soltanto alcuni, come riportato nel paragrafo precedente, si è raggiunta la scelta di un albero di diametro 12 mm.

Tale decisione ha imposto innanzitutto l'utilizzo di un cuscinetto con diametro dell'anello interno di 12 mm. Le dimensioni dell'anello esterno sono state decise soltanto considerando il fattore economico. Lo spessore invece è stato scelto in modo da poter attuare la tipologia di bloccaggio assiale che verrà esposta a breve. La tipologia di cuscinetto è ricaduta sui radiali a sfere in quanto non vi erano necessità particolari che richiedessero l'utilizzo di varietà particolari. Inoltre, è necessario un cuscinetto con doppia schermatura, per evitare che il lubrificante fuoriesca e vada a sporcare le pareti dell'espositore.

Il cuscinetto che riesce a soddisfare le necessità sopra esposte è il SKF 6201-2RS le cui caratteristiche sono riportate di seguito.

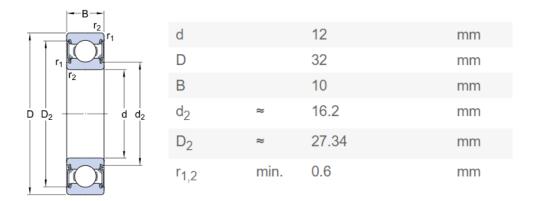


Figura 40 - Caratteristiche del cuscinetto SKF 6201-2RS

Per quanto rigurda l'installazione dei cuscinetti, prima di tutto si è scelto il piantaggio dell'anello esterno nel laterale del telaio, sul quale è stato predisposto un foro adeguatamente dimensionato. Il bloccaggio dell'anello interno sugli alberi è stato ottenuto anch'esso per piantaggio coadiuvato dagli anelli di bloccaggio esposti nel paragrafo precedente. Il movimento assiale però del cuscinetto non può essere assicurato soltanto con il piantaggio e per questo è stata pensata un'installazione tramite anelli assiali: sono necessari 4 anelli concentrici, 2 dei quali vengono utilizzati soltanto come spessore, poiché il cuscinetto è spesso 10mm mentre il laterale su cui è piantano soltano 6mm, mentre gli altri due interferiscono assialmente con l'anello esterno, bloccandone il movimento, poiché il tutto è chiuso "a pacchetto" tramite due viti in direzione assiale.

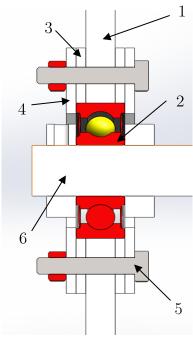


Figura 42 - Particolare del montaggio dei cuscinetti

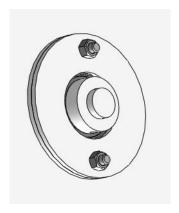


Figura 41 - Montaggio del cuscinetto

- 1- Telaio laterale
- 2- Cuscinetto 6201-2RS
- 3- Anello di spessoramento (2mm)
- 4- Anello di bloccaggio assiale (2mm)
- 5- Vite di bloccaggio
- 6- Albero

Per quanto riguarda le dimensioni di tali anelli, il diametro esterno è stato definito semplicemente in modo da poter avere spazio sufficiente per le viti di bloccaggio, mentre il diametro interno dell'anello di spessoramento è stato imposto dall'anello esterno del cuscinetti, mentre quello dell'anello di bloccaggio è stato definito seguendo le indicazioni sugli spallamenti che fornisce SKF come riportato nell'immagine.



Figura 43 - Caratteristiche spallamento per cuscinetto SKF 6201-2RS

Il diametro interno dell'anello di bloccaggio è stato definito quindi di 27mm, ovvero minore del diametro massimo di 27,8mm che suggerisce il manuale.

Motoriduttore

Innanzitutto, per poter arrivare a scegliere il motoriduttore adatto a far ruotare l'intero espositore, si è dovuta calcolare la velocità a cui esso avrebbe dovuto girare. Per fare ciò, si è imposto come ipotesi e come obiettivo, il fatto che il Pleximag compiesse un giro completo in un tempo di 1 minuto, che è stato considerato il tempo medio che un eventuale acquirente potrebbe sostare di fronte ad esso. Si sono svolti quindi i seguenti calcoli:

$$\begin{split} L_{catena} &= 935 \text{ mm} \\ t &= 60 \text{ s} \\ \Phi_{pignone} &= 81,19 \text{ mm} \end{split}$$

$$v_{tangenziale} = \frac{L_{catena}}{t} = 0,016 \frac{m}{s} \\ \omega &= \frac{v_{tangenziale}}{\Phi_{pignone}/2} = 0,38 \ \frac{rad}{s} \rightarrow 3,67 \text{ rpm} \end{split}$$

Si giunge così al numero minimo a cui il motoriduttore deve ruotare. Facendo una ricerca commerciale si è giunti però alla scelta di un motore che giri alla velocità di 5 rpm, in quanto quelli con velocità minori possiedono però coppie troppo basse.

Infatti, il secondo criterio di scelta risulta essere proprio la coppia che il motore deve poter sopportare. Anche a tal fine sono stati svolti alcuni calcoli ipotizzando l'esposizione di capsule di caffè su 9 cassetti portaoggetti, ognuno dei quali possa portare 6 capsule.

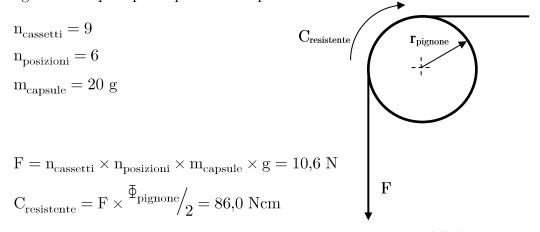


Figura 44 - Diagramma delle forze-coppie agenti sul pignone

Da tale operazione di calcolo si è quindi giunti alla necessità di scegliere un motoriduttore che abbia una coppia maggiore di quella calcolata. Inoltre è stato scelto un motore con tensione di alimentazione alternata a 220V, in questo modo è stato possibile evitare l'utilizzo di un trasformatore, ovvero, traducendo in termini economici, un costo in meno.

Facendo una ricerca sul mercato e confrontando proprietà, e soprattutto costi, è stato scelto il motoriduttore con le caratteristiche seguenti:



Figura 45 - Motoriduttore

Velocità di rotazione: 5 rpm

Coppia: 100 Ncm Potenza: 5 W

Diametro albero: 7 mm

Tensione di alimentazione: AC 220V

Per l'accoppiamento fra motore e albero è stata pensata una soluzione come in Figura 46, ovvero l'albero del motore va ad alloggirasi in un foro ottenuto in testa all'albero di trascinamento ed una vite trasversale va a bloccarne la rotazione su di esso sfruttando i fori già presenti sull'albero del motore.

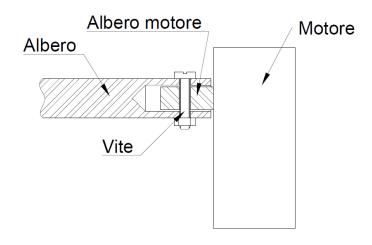


Figura 46 - Sezione dell'accoppiamento fra motoriduttore ed albero

4.3 Telaio

Con il termine *telaio* in questa trattazione si andrà a considerare quella componente del Pleximag formata da 4 parti principali che vanno a costituire il sostegno di tutto l'oggetto.

In prima battuta era stato ideato un telaio del tipo in Figura 47 a sinistra, ovvero un telaio costituito semplicemente da 4 componenti piani ed assemblati tramite l'utilizzo di angolari in plexiglas e viti. Tale soluzione è stata subito abbandonata in quanto poco innovativa e costosa in termini di manodopera di assemblaggio, in quanto il numero di viti elevato conduceva a tempi di montaggio prolungati.

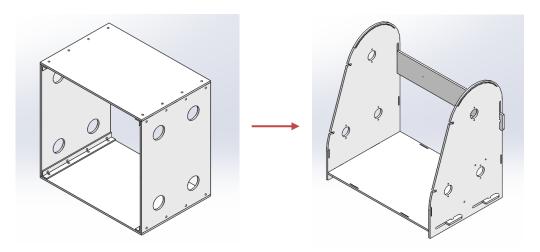


Figura 47 - Sequenza di modifiche effettuate sulla forma del telaio

È stato quindi elaborato un nuovo tipo di telaio la cui caratteristica principale è quella di non necessitare nemmeno di una vite o di altro tipo di fissaggio per il suo assemblaggio.

Si possono definire i 4 componenti differenti per descrivere il telaio:

- Laterale destro
- Laterale sinistro
- Telaio inferiore
- Rinforzo

I due componenti laterali sono quasi identici ad eccezione dei fori necessari per l'installazione del motore che sono presenti su quello destro e non su quello sinistro. Verrà quindi illustrato soltanto il primo dei due poiché le medesime osservazioni valgono anche per il secondo.

Per quanto riguarda la forma di tale componente, essa è stata definita seguendo la forma della disposizione delle ruote dentate. Sono stati raccordati gli angoli ed in questo modo è stata realizzata una forma arrotondata piacevole alla vista. Sono stati previsti i fori di sede dei cuscinetti e le asole per gli incastri, seguendo le indicazioni dimensionali già viste precedentemente.

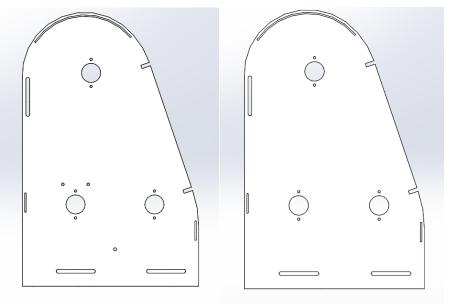


Figura 48 - Componente laterale destro

Figura 49 - Componente laterale sinistro

Il componente inferiore del telaio ha invece la semplice funzione di mantenere uniti i laterali e di chiudere inferiormente l'espositore. Presenta infatti gli incastri che vanno ad accoppiarsi sulle asole ricavate sui due laterali.

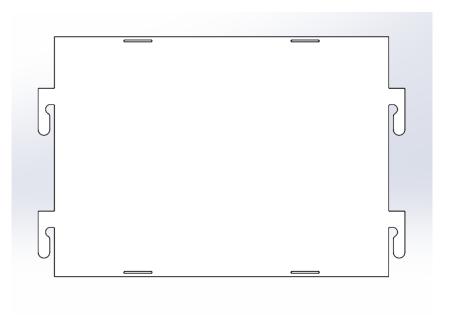
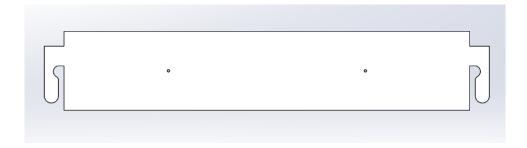


Figura 50 - Componente inferiore telaio

Il rinforzo, infine, ha come utilità quella di rendere più robusto il telaio, impendendo il movimento relativo dei due laterali. Anch'esso è incastrato tramite la stessa tipologia di incastri utilizzata per gli altri componenti del telaio.



 $Figura\ 51 - Componente\ di\ rinforzo\ telaio$

Come già accennato nel paragrafo 4.1, l'intero telaio è assemblato utilizzando degli incastri progettati ad hoc per questo obiettivo. Tale caratteristica permette un montaggio davvero veloce e semplice, senza la necessità di utilizzare alcuna attrezzatura ausiliaria (viti, colla ecc.) ed è effettuabile anche da manodopera non specializzata. Il risultato è davvero robusto e stabile ed allo stesso tempo, può essere eventualmente riparato semplicemente sostituendo uno solo dei componenti.

4.4 Elemento portaoggetti

Con elemento portaoggetti si vuole indicare quella parte dell'espositore che ha come finalità proprio quella di sostenere gli oggetti che si vogliono andare ad esporre.

Questo, prima di giungere alla configurazione finale, ha subito diverse modifiche/miglioramenti che vengono proposte di seguito in Figura 52.

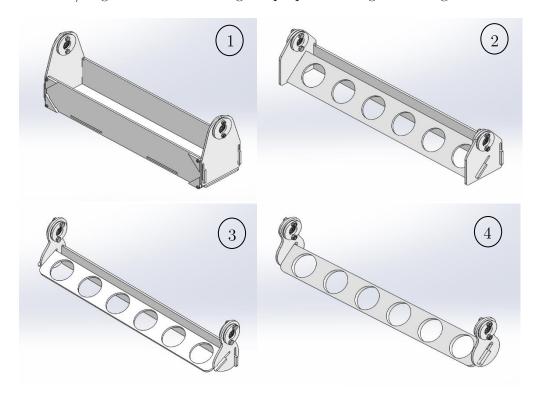


Figura 52 - Sequenza delle configurazioni successive dell'elemento portaoggetti

Come si può osservare dalle immagini precedenti, si è partiti subito immaginando un elemento portaoggetti che era più un "cassetto" ovvero un vero e proprio contenitore che potesse ospitare i materiali da esporre. Tecnicamente questo era costituito da incastri che univano laterali, fondo e spondine e inoltre esso era equipaggiato di due cuscinetti di piccole dimensioni che sarebbero serviti per ridurre al minimo l'attrito e far in modo che l'elemento rimanesse sempre in piano e non si ribaltasse. Essi erano installati seguendo la tecnica utilizzata anche per quelli del telaio.

La seconda revisione di tale elemento andava ad eliminare le spondine ed il fondo a favore di un elemento inclinato in grado di ospitare gli oggetti da esporre e di un elemento di rinforzo. Anche questo era assemblato tramite incastri ed erano ancora presenti i cuscinetti. Variava inoltre leggermente la forma dei componenti laterali.

La terza versione differiva soltanto per la forma dei componenti laterali che erano stati rivisti per migliorarne la percezione visiva.

Per quanto riguarda la quarta versione invece, la modifica più importante è stata quella di eliminare completamente il componente di rinforzo lasciando semplicemente quello di supporto degli oggetti, eliminando così una parte. Si è notato che in ogni caso rimane inalterata la robustezza dell'elemento. Ancora una volta è stata modificata la forma dei componenti laterali.

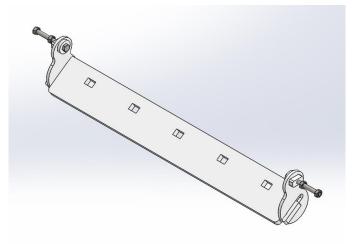


Figura 53 - Elemento portaoggetti

La Figura 53 presenta l'elemento portaoggetti nella versione definitiva. La modifica sostanziale risulta essere quella dell'eliminazione dei cuscinetti. Essi sono stati rimossi in quanto si è notato che non erano indispensabili. In sostituzione è stata applicata una boccola forata di Plexiglas in cui va ad alloggiare la vite di collegamento con la catena. Il componente portaoggetti è stato modificato ma soltanto nella forma dei fori di alloggiamento prodotti per poter essere utilizzato in una condizione particolare, ma questo non ne modifica sostanzialmente la natura. In definitiva, tale elemento, risulta essere costituito dai seguenti componenti:

- 1 componente portaoggetti
- 2 laterali
- 2 boccole forate
- 2 rosette
- 2 viti

In questo caso le viti sono state utilizzate ma non con finalità di elemento di assemblaggio, altresì come elemento funzionale: esse hanno proprio il compito di collegare l'elemento portaoggetti con la catena di trascinamento ma allo stesso tempo di permetterne la rotazione in modo da mantenerlo sempre in posizione piana. Le rosette in plexiglas hanno semplicemente la funzione di evitare l'impiantamento della testa della vite sull'elemento laterale.

I materiali utilizzati sono differenti: per il componente portaoggetti è stato sfruttato l'antiurto in quanto esso presenta i "becchi" degli incastri e quindi necessita di maggiore resistenza alla flessione; per i laterali invece è stato utilizzato plexiglas standard in quanto non necessitano di caratteristiche particolari; anche per le boccole forate è stato utilizzato plexiglas standard poiché l'antiurto avrebbe potuto dare maggiore attrito con la vite e quindi minore stabilità all'intero elemento.

Il montaggio è comunque effettuato tramite incastri e questo rende il Pleximag anche facilmente adattabile a differenti tipologie di prodotti da esporre: soltanto andando a cambiare il componente portaoggetti tramite un incastro, esso può essere modificato in modo da adattarsi ad ogni tipo di merce. Anche le boccole forate sono state assemblate tramite piantaggio; dopo alcune prove si è giunti al corretto dimensionamento degli elementi in modo da permettere tale tipologia di montaggio.

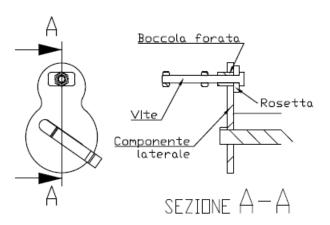


Figura 54 - Sezione componente laterale portaoggetti e sistema di fissaggio

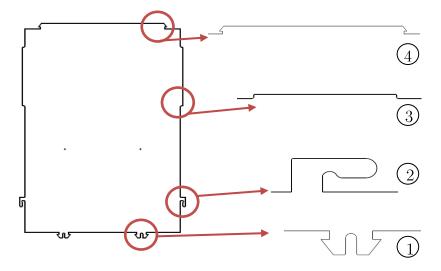
4.5 Copertura esterna

Con copertura esterna si vogliono andare ad indicare quei componenti del Pleximag che sono necessari a chiudere il dispositivo in modo da renderlo non accessibile durante il funzionamento. Esso quindi ha principalmente una funziona di sicurezza nei confronti degli infortuni all'uomo. È stata l'ultima componente studiata, in quanto doveva essere adattata alle caratteristiche del resto delle parti e per questo non presenta differenti revisioni. Si possono definire alcuni elementi distinti che la compongono:

- Copertura posteriore
- Copertura anteriore
- Cerniere
- Sportello

Per quanto riguarda la cosiddetta copertura posteriore essa è la componente che permette la chiusura del posteriore del Pleximag. È costituita da un foglio in PETG da 2mm tagliato a laser. La scelta di tale materiale è dovuta al fatto che questo componente deve essere curvato a freddo: il PETG, a maggior ragione di spessore esiguo, può essere curvato senza riscaldamento e necessita soltanto di agganci che lo mantengano nella posizione voluta.

Per tale componente sono stati ideati diversi incastri, ognuno dei quali appositamente studiato per l'obiettivo che deve perseguire. Vengono presentati di seguito le diverse tipologie.



 $Figura\ 55\ -\ Copertura\ esterna\ posteriore\ con\ particolare\ degli\ in castri\ utilizzati$

- Incastro inferiore (1): esso ha la finalità di mantenere la copertura posteriore solidale all'elemento inferiore del telaio. È stato studiato con questa forma per evitare il possibile smontaggio accidentale. L'asola interna ha lo scopo di permettere una piccola deformazione dei due denti e quindi di permettere all'incastro di entrare nell'asola apposita. Si è confermato, con la realizzazione del prototipo, che tale incastro non è smontabile accidentalmente, ma, anzi, è necessario l'utilizzo di attrezzi appositi per disinstallarlo. Il suo funzionamento si basa sul corretto dimensionamento delle asole in cui deve essere installato: esse devono avere una dimensione con gioco minimo nei confronti del loro complementare, in questo modo, una volta piantato, basta un piccolissimo movimento laterale della copertura per rendere molto difficile lo smontaggio se non voluto.
- Incastro laterale (2): esso riprende la forma degli incastri utilizzati per la costruzione del telaio. Ha la finalità di evitare il rientro della copertura all'interno del dispositivo con conseguente collisione con gli elementi in rotazione.
- Incastro superiore (3): tale incastro è quello che permette alla copertura di effettuare la curvatura. Questo bordo laterale va ad impegnarsi nelle asole lunghe della parte superiore dei componenti laterali del telaio. Esso deve essere incastrato durante la fase di curvatura manuale ed una volta installato, tiene in modo robusto la copertura posteriore nella posizione finale.
 - Come si può notare dall'immagine, sono stati raccordati in maniera evidente gli spigoli di taglio, in quanto essi risultano essere punti di intensificazione degli sforzi e quindi uno spigolo vivo porterebbe alla possibile criccatura della lastra.
- Incastro su cerniera (4): l'ultimo incastro ha lo scopo di mantenere in posizione l'ultima parte di copertura posteriore, ovvero quella che rimane libera dopo la curvatura. Essa infatti accumula molta energia e per questo è stato necessario prevedere un incastro di grandi dimensioni come questo, che vada ad impegnarsi in un'asola ottenuta sul componente cerniera. Il suo funzionamento è analogo a quello

dell'incastro numero (1) ed il disegno del dente è lo stesso, l'unica differenza risiede nelle dimensioni longitudinali.

Un altro componente della copertura esterna risulta essere la copertura anteriore, ovvero il corrispondente della copertura anteriore. Anch'esso è stato realizzato in PETG da 2mm per gli stessi motivi illustrati per quello precedente.

Anche in tale componente sono stati sfruttati gli stessi incastri utilizzati per quello posteriore.

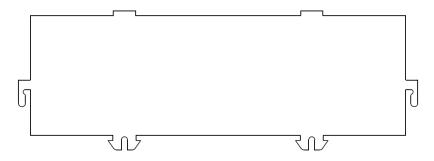


Figura 56 - Copertura esterna anteriore

L'unica differenza si riscontra negli incastri superiori che sono stati semplificati in quanto non devono contrastare alcuno sforzo ma semplicemente evitare il rientro della copertura all'interno del dispositivo.

Un ulteriore componente della copertura esterna è la cerniera ovvero quella parte che va a compiere due funzioni: viene utilizzata per chiudere trasversalmente il Pleximag, andando a fare da copri-bordo delle due coperture anteriore e posteriore ed allo stesso tempo viene sfruttata come polo per l'installazione ed il funzionamento dello sportello.

Tale componente è costituito da due parti, una superiore ed una inferiore. Esse sono esattamente identiche, ad eccezione delle asole che devono ospitare gli incastri in quanto quelli superiori e quelli inferiori sono differenti.



Figura 57 - Cerniera inferiore



Figura 58 - Cerniera superiore

Queste vengono installate tramite un incastro sui laterali del telaio, però è stato valutato che in questo caso fosse necessario l'utilizzo anche di viti: lo sforzo che la curvatura della lastra superiore crea è elevato e questo in parte viene anche scaricato sulla cerniera superiore. Per questo motivo si è ritenuto necessario l'utilizzo di viti che diano una sicurezza maggiore e che evitino il distaccamento della cerniera dal telaio. Queste risultano essere fra le poche viti utilizzate con funzione di fissaggio all'interno del Pleximag.

L'ultimo componente di questa sezione è lo *sportello* che come già detto va ad installarsi tramite le cerniere. Esso ha la funzione di permettere l'accesso all'espositore quando necessario, ovvero ad esempio, nel momento in cui si vogliano cambiare gli oggetti in esposizione.

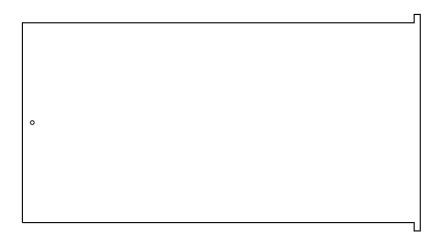


Figura 59 - Sportello

Inizialmente si era pensato di utilizzare una semplice lastra rettangolare ed andare ad installarla tramite due cerniere commerciali in acciaio. Successivamente, invece, è stata ideata tale soluzione: ovvero sfruttare la forma dello sportello come poli di rotazione ed evitare così l'utilizzo dell'acciaio e di componenti commerciali.

4.6 Dispositivi di sicurezza

Poiché la destinazione d'uso del dispositivo in oggetto prevede che esso venga installato in zone accessibili da chiunque, questo deve essere progettato in modo da salvaguardare i possibili infortuni dell'uomo.

Per tale motivo è stata prevista l'installazione di un microinterruttore di sicurezza che faccia sì che la macchina venga arrestata nel momento in cui si può accedere alla camera interna in cui vi sono gli organi in movimento, ovvero nel momento in cui lo sportello venga aperto. Questo interruttore interrompe l'alimentazione al motoriduttore bloccandone immediatamente il movimento.

Sempre per motivi di sicurezza, come si è visto, si è prestata molta attenzione alla chiusura del dispositivo: l'accesso all'interno di questo è possibile solamente tramite lo sportello frontale e questo è interbloccato.

4.7 Gamma Pleximag

Oltre al Pleximag che è stato presentato in questo elaborato, è stata pensata una possibile "gamma" di Pleximag, ovvero una serie di espositori di dimensioni differenti, ovviamente maggiori rispetto a questo, che risulterebbe quindi il più piccolo.

La gamma è stata pensata formata da 4 differenti misure, partendo da quello di dimensioni minori:

- Pleximag A
- Pleximag B
- Pleximag C
- Pleximag D

Per effettuare tale operazione, sono stati utilizzati i disegni già elaborati per il Pleximag A ma ingrandendoli con una scala di un fattore 1,5. In questo modo sono state recuperate tutte le relazioni già esistenti, apportando soltanto alcune modifiche dove necessario. Lo spessore dei materiali è stato modificato: i primi due, Pleximag A e B, sono stati sviluppati mantenendo l'utilizzo di Antiurto da 6mm per il telaio, mentre per il C e D è stato ipotizzato un Antiurto da 10mm di spessore, per resistere al peso maggiore dell'intera struttura.

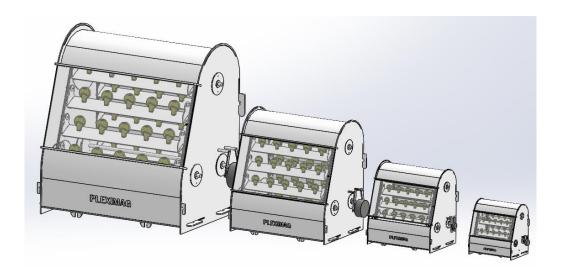


Figura 60 - Gamma Pleximag

Capitolo 5

Prototipazione

Il capitolo in oggetto ha come finalità principale quella di andare ad analizzare la fase del lavoro svolto in cui è stato realizzato il primo prototipo di Pleximag A. Si andranno a mostrare le tipologie di tecnologie utilizzate, con particolare attenzione al taglio laser che è quella maggiormente sfruttata nel progetto: verranno esposte le caratteristiche peculiari di tale lavorazione e gli accorgimenti che sono stati attuati per l'ottimizzazione del lavoro. Contestualmente saranno presentate le prove preventive che sono state effettuate prima della produzione vera e propria dei componenti definitivi.

Sarà poi anche presentata la Bill of Materials definitiva del prodotto accompagnata dal prospetto dei costi che è stato utilizzato per definire il costo del prodotto e per verificare che il target-cost fosse rispettato.

Infine, sarà data particolare importanza al montaggio, con la presentazione delle fasi del ciclo di montaggio che sono state realizzate per l'oggetto, ed alle attrezzature appositamente create per rendere più agevole e precisa tale fase.

Infine, verrà presentato il prototipo di Pleximag che è stato realizzato al termine del lavoro svolto per tale progetto.

5.1 Taglio laser

Il taglio laser può essere definito come una lavorazione non convenzionale, ovvero quelle tipologie di lavorazioni che sono comparse negli ultimi 40-50 anni che sfruttano nuove interazioni materia-processo e non più quelle classiche tipo asportazione di truciolo, stampaggio, fusione ecc.

LASER è l'acronimo di "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" ovvero in italiano "amplificazione luminosa tramite emissione stimolata di radiazioni"; con tale termine si vuole indicare quella tecnologia che sfrutta l'energia elettrica per rendere possibile l'emissione di fotoni che correttamente focalizzati vengono sfruttati per le lavorazioni meccaniche.

Un laser industriale può essere modellizzato utilizzando i seguenti componenti:

- Sorgente laser
- Sistema di trasporto del fascio

- Sistema per focalizzare il fascio
- Sistema per la movimentazione della testa laser

La sorgente laser è quel componente in grado di fornire in uscita un fascio di luce ad alta densità di energia. Essa può essere di diverse tipologie, allo stato solido (Nd-YAG), allo stato liquido o gassoso (CO₂) e queste possono essere stimolate tramite energia elettrica, luminosa, chimica o meccanica.

Il caso più frequente nelle applicazioni industriali, che coincide con quella utilizzata dalla Adeglas, è la sorgente CO₂ con pompaggio (eccitazione) a corrente elettrica. Tale tecnologia può essere schematizzata come in Figura 61, ovvero il pompaggio è costituito da due elettrodi collegati alla corrente elettrica, il gas transita nella camera chiusa fra di essi e a causa dell'interazione fra energia elettrica e gas in movimento vengono rilasciati fotoni tramite stimolazione elettronica.

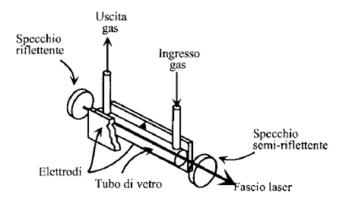


Figura 61 - Schema della tecnologia laser

I fotoni così ottenuti vanno a formare un fascio, ovvero il fascio laser che viene successivamente riflesso tramite uno specchio riflettente verso uno specchio semi-riflettente.

Da quest'ultimo il fascio viene indirizzato tramite il sistema di trasporto. Esso è costituito normalmente da una catena ottica, ovvero una serie di specchi che permettono al fascio di acquisire i gradi di libertà che necessita. Gli spostamenti permessi saranno quindi traslazione e rotazione.

Infine, una volta raggiunta la testa laser, il fascio deve essere appositamente focalizzato tramite un sistema solitamente costituito da lenti. In questo modo tutta l'energia del fascio viene focalizzata in un unico punto, ovvero il punto in cui si vuole effettuare la lavorazione.

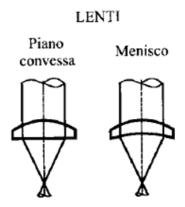


Figura 62 - Tipologia di lenti utilizzate nei laser

Ovviamente, per permettere le lavorazioni meccaniche è necessario un sistema di movimentazione, che nella maggior parte dei casi, su queste macchine, porta alla movimentazione della testa laser. Tramite una struttura cartesiana a 3 assi movimentata tramite controllo numerico, queste macchine permettono il taglio di materiali di diverso spessore. Più precisamente si dovrebbe definire struttura a 2+1 assi, ovvero x, y più z che viene però utilizzata solo per l'accostamento della testa alla superficie del materiale da tagliare.

Il fascio laser così formatosi, possiede alcune proprietà peculiari:

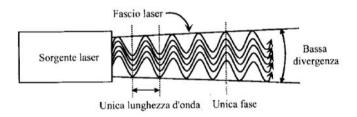


Figura 63 - Rappresentazione delle caratteristiche del fascio laser

- Monocromaticità, ovvero tutte le onde elettromagnetiche possiedono la stessa lunghezza d'onda.
- Unica fase, in quanto tutte le onde elettromagnetiche hanno la stessa fase. Questa e la proprietà precedente permettono di ottenere tramite il sistema di focalizzazione un fuoco di piccole dimensioni e questo si traduce in maggior potenza e precisione del laser.

- Bassa convergenza, ovvero le onde ottenute hanno una divergenza limitata a qualche mrad. Questo rende il fascio stesso più facilmente trasportabile.

A questo punto, visto il funzionamento della generazione del fascio laser, si può passare ad analizzare l'interazione fra laser e materiale. Si possono definire 3 tipologie diverse di meccanismi di taglio: fusione, vaporizzazione e degradazione chimica.

Il taglio per fusione prevede appunto che il fascio laser porti a fusione il materiale e poi che il gas di assistenza lo allontani dalla zona di taglio. Quello per vaporizzazione, come dice il termine stesso, prevede che il materiale venga portato allo stato fisico di vapore e che quindi si allontani in parte spontaneamente ed in parte tramite il gas di assistenza.

Perché avvenga tale tipo di taglio è necessario che il materiale abbia una temperatura di vaporizzazione non troppo elevata.

La degradazione chimica invece avviene ad esempio nei polimeri e nel legno e si ha quanto il fascio laser rompe i legami chimici presenti fra gli atomi del materiale da tagliare.

Come si può immaginare, la testa laser risulta essere la parte più vicina al materiale da tagliare ed è quindi anche uno dei componenti più importanti della macchina di taglio. Oltre alla lente e quindi al sistema di focalizzazione, all'interno di questa deve essere presente un sistema di convoglio per il gas di assistenza. Questo è parte fondamentale del processo, in quanto, come già visto, è necessario per l'allontanamento del materiale fuso dal solco di taglio. Oltre a questo, è utile anche per il raffreddamento del pezzo e per la protezione della lente da eventuali detriti che potrebbero rovinarne la superficie.

Il gas di assistenza può essere ad una pressione compresa fra 2 e 20 bar e si possono utilizzare sia gas inerti (ad esempio N₂, Ar, He) che ossigeno. A differenza dei primi, l'ossigeno viene sfruttato anche per il fatto che può attuare delle reazioni di ossidazione con il materiale che, essendo altamente esotermiche, aiutano ad aumentare la temperatura del materiale. In questo modo si aumenta la potenza del laser, ottenendo un'efficienza migliore. [9]

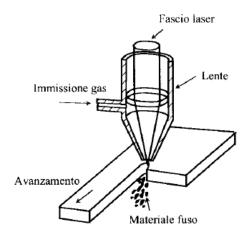
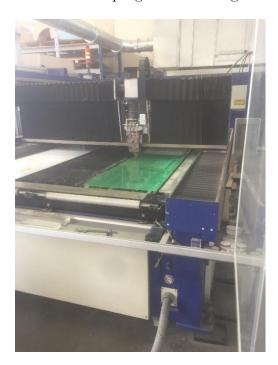


Figura 64 - Testa laser

Viene riportata in Figura~65 una foto del taglio laser che è stato utilizzato in Adeglas per la realizzazione del progetto Pleximag.



Figura~65 - Laser~dell'azienda~Adeglas

5.1.1 Caratteristiche di taglio

Nel progetto del Pleximag, come già visto precedentemente, il materiale maggiormente utilizzato è stato il Plexiglas. Questo va incontro a degradazione dei legami chimici durante il taglio laser e ha come caratteristica peculiare il fatto che i bordi di taglio risultino perfettamente

lucidi dopo la lavorazione. Tale proprietà è dovuta al fatto che il laser raggiungendo temperature molto elevate va a sublimare il polimetilmetacrilato, lasciando così i bordi perfettamente lucidi. Quando invece si vanno ad eseguire lavorazioni meccaniche ad asportazione di truciolo, ad esempio, i bordi risultanti sono totalmente opachi poiché il materiale è stato graffiato durante la lavorazione.

Durante la fase di prototipazione però, si è notato come i bordi del Plexiglas antiurto invece non rimangano lucidi ma, anzi, siano del tutto opachi: questa particolarità è dovuta proprio al fatto che l'antiurto non sia metacrilato puro, ma presenti anche percentuali di componenti differenti come visto nel capitolo dei materiali. Questi, essendo materiali tipo gomma, non riescono a sublimare come il metacrilato e si ha quindi tale effetto.

Tale caratteristica era già stata preventivata in fase di scelta dei materiali ed erano stati valutati i pro e i contro di tale scelta: le migliori caratteristiche meccaniche dell'antiurto hanno però sicuramente maggior peso rispetto all'aspetto estetico migliore del Plexiglas standard.

Un'altra caratteristica ancora più importante in campo ingegneristico è la forma di taglio risultante dal laser. Quello che è stato riscontrato, anche praticamente sui componenti del prototipo, è la conicità o meglio la non perpendicolarità del taglio.

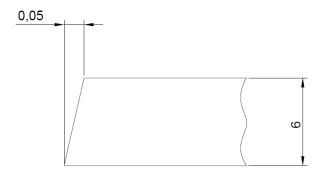


Figura 66 - Rappresentazione della non-perpendicolarità del taglio effettuato con laser

Vengono riportati di seguito sotto forma di disegno le quote ricavate sperimentalmente da un componente del Pleximag tagliato a laser. Per comodità di misurazione è stato preso in considerazione un foro in modo da poterlo misurare tramite un calibro.

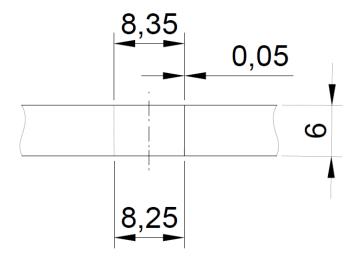
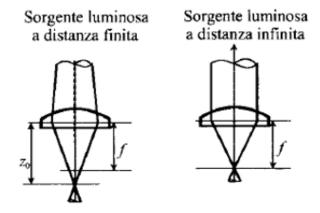


Figura 67 - Esempio di dimensioni dovute alle caratteristiche del laser

Il foro considerato era stato disegnato con diametro ϕ 8mm. Considerando il materiale eroso dal laser che è circa 0,1-0,12mm per parte (come verrà analizzato nella sezione successiva) si ottiene un foro da ϕ 8,25mm. Il foro dalla parte superiore della lastra però risulta essere di ϕ 8,35mm. Tale fatto è caratteristico del taglio laser ed è dovuto alla conformazione del fascio al di sotto del sistema di focalizzazione.

Si può definire lunghezza focale f la distanza fra il fuoco ed il piano della lente se i raggi incidenti fossero perfettamente paralleli all'asse del fascio stesso, ovvero se la sorgente fosse posta a distanza infinita.

Si definisce invece z_0 (con $z_0 > f$) la distanza che intercorre fra piano della lente e fuoco nel caso reale, ovvero quando la sorgente è posta ad una distanza finita.



 $Figura\ 68\ -\ Grandezze\ caratteristiche\ del\ laser$

Si definisce inoltre "spot" la superficie che si viene a formare nell'intersezione fra il fascio e la superficie di lavoro. Il diametro d_s dello spot è la dimensione di questo sulla superficie di lavorazione e dipende dall'altezza del fuoco rispetto ad esso.

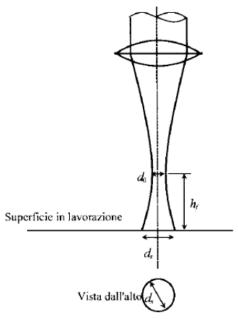


Figura 69 - Grandezze caratteristiche dello spot

Si può quindi notare come il fascio non sia perfettamente lineare, ma abbia un andamento conico che fa sì che anche il taglio effettuato non sia perfettamente perpendicolare alla superficie ma che abbia un certo angolo di inclinazione rispetto ad essa. L'entità dell'inclinazione del taglio dipende quindi dalla distanza del fuoco rispetto al materiale da tagliare e dipende anche dallo spessore di questo: materiale di spessore maggiore presenterà una inclinazione di taglio maggiore rispetto a quelli di spessore minore.

5.2.2 Ottimizzazione di taglio

In questa sezione verranno presentate le azioni di ottimizzazione che sono state attuate nella fase di produzione ed in particolar modo nella fase di taglio laser. Con ottimizzazione si vogliono indicare quelle accortezze pratiche che sono necessarie per rendere il processo più preciso, veloce e di conseguenza più sostenibile economicamente.

Compensazione taglio

Come prima cosa si deve considerare il fatto che la macchina di taglio laser sia una macchina a controllo numero e che quindi segue il percorso utensile generato dal disegno 2D del componente. Inoltre, però, si deve tenere conto che anche il laser, seppur in maniera contenuta, ha un certo spessore di taglio. Considerando i due aspetti contemporaneamente si giunge alla conclusione che è necessaria una sorta di "compensazione dell'utensile" ovvero si deve tenere conto in fase di preparazione dei file di taglio del materiale asportato dal fascio laser.

Tramite alcune prove che erano già state effettuate da Adeglas ed altre svolte in questa sede, si è giunti alla conclusione che mediamente il materiale asportato dal fascio laser è intorno a 0,1-0,12mm. Per questo motivo, prima di procedere alla preparazione dei file di taglio, i disegni bidimensionali sono stati modificati per tenere conto di tale effetto: è stato eseguito un off-set di 0,1 mm rispetto alle quote originarie. In particolare, è stato necessario eseguire un off-set verso l'esterno quando si trattava di bordi esterni, mentre per fori, asole e linee interne al componente è stato necessario un offset interno.

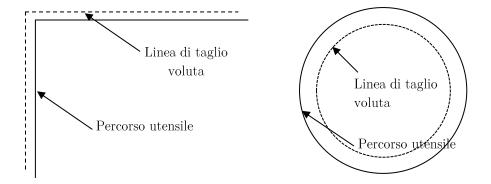


Figura 70 - Rappresentazione percorso utensile

Oltre a questo, è anche buona norma unire tutte le linee utilizzate per realizzare il disegno in modo che il laser non incontri sul suo percorso tratti separati e che quindi non necessiti di stoppare il movimento e poi ripartire con conseguente usura del macchinario e risultato non perfetto del taglio.

Tagli circolari

Per quanto riguarda la realizzazione di forme circolari e di fori, è necessario avere particolare accortezza per quanto riguarda il punto di ingresso e quello di uscita dal percorso che definisce il cerchio stesso.

Se si lascia che il fascio laser entri ed esca dal percorso del foro senza alcun accorgimento, la geometria finale ottenuta sarà quella illustrata in Figura 71.

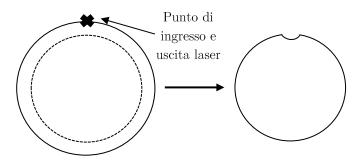


Figura 71 - Rappresentazione problema tagli circolari

Il risultato è quello di andare a rovinare il materiale nel punto di ingresso e uscita, in quanto sarà maggiormente riscaldato e quindi sottoposto a maggior asportazione di materiale. Per porre rimedio a tale problema è buona norma porre i punti di ingresso e di uscita al di fuori del percorso che definisce la forma da tagliare ed inoltre che il primo ed il secondo siano in punti differenti, come mostrato in Figura 72.

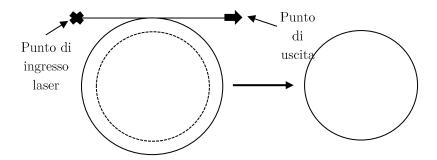


Figura 72 - Soluzione per tagli circolari

In questo modo la geometria finale è quella voluta, senza andare a rovinare il pezzo finito. Ovviamente se anziché un pezzo di forma circolare, il pezzo finito dovesse essere il foro varrebbero comunque le stesse indicazioni, con l'accortezza di aggiungere i punti di inizio e fine all'interno di questo.

Raccordi

Un'altra accortezza assolutamente importante nella progettazione/prototipazione del Pleximag è stata quella di evitare o sostituire ogni tipo di spigolo vivo. Con spigolo vivo si vogliono indicare gli spigoli che non presentino dei raccordi. È di assoluta importanza, soprattutto quando si lavora con Plexiglas standard, il fatto di effettuare dei raccordi in quanto gli spigoli rappresentano punti di intensificazione degli sforzi e di conseguenza punti in cui possono nascere cricche che portano alla rottura del materiale.

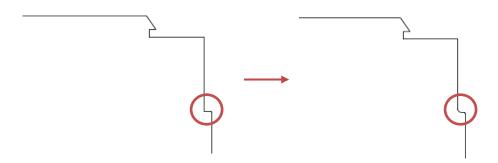


Figura 73 - Raccordo degli spigoli vivi

Nella Figura 73 è stato riportato l'esempio riguardante la copertura esterna posteriore, nella quale lo spigolo vivo dell'incastro laterale è stato raccordato, con un raccordo anche di ampio raggio, in quanto tale punto è molto sovraccaricato in termini di tensione poiché oltre alle tensioni dovute all'incastro si sommano quelle dovute alla curvatura della lastra.

In generale, il fatto di raccordare gli spigoli è stato anche un modo per rendere più sicuro l'oggetto, in quanto gli spigoli vivi sul Plexiglas possono risultare anche molto taglienti.

Spessore materiale

Per quanto riguarda gli spessori delle lastre di materiale è stata seguita una linea guida, sia in fase di progettazione che in fase di prototipazione, che portasse ad un risparmio in termini economici.

Ovvero per ottimizzare la fase di taglio, si è cercato di utilizzare il minor numero di spessori di lastre per minimizzare la manodopera necessaria al cambio lastra sulla macchina. Infatti, tale operazione di posizionamento della lastra vergine sul piano di taglio deve essere necessariamente effettuata manualmente e se la lastra è di grandi dimensioni può anche essere necessario l'utilizzo di due persone.

Per tale motivo si è cercato, per quanto possibile, di utilizzare lo stesso spessore per tutti i componenti per i quali si potesse. Grazie a questa accortezza si può così giungere ad un risparmio in termini di costi di manodopera. In definitiva, per il progetto sono necessari le seguenti lastre differenti:

Materiale	Spessore
A t :	6 mm
Antiurto	3 mm
Plexiglas	8 mm
PETG	2 mm

Tabella 4 - Tipologie lastre utilizzate per la produzione del Pleximag

Nesting

Con il termine nesting si vuole indicare quella operazione che viene effettuata prima del caricamento dei file sulla macchina a laser per poter riorganizzare al meglio i vari componenti da tagliare in termini di posizionamento sulla lastra, per poter permettere il minor consumo e spreco di materiale. A tale scopo è stato utilizzato un software dedicato che tramite l'elaborazione dei file .dxf delle parti ne effettua la rielaborazione ed il conseguente nesting.

Si riporta a titolo di esempio il nesting effettuato sui particolari che dovevano essere realizzati su lastra di antiurto da 6mm.

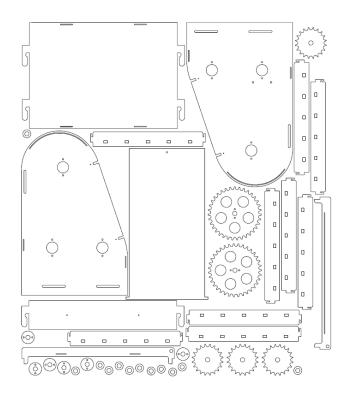


Figura 74 - Risultato del nesting sui componenti da 6mm

Come si può osservare dalla Figura 74 che è il risultato del nesting, il materiale che sarà sprecato è minimo. Oltre a questo aspetto, è da considerarsi anche il fatto che posizionando i particolari il più vicino possibile, il percorso che la testa laser deve compiere sarà minimo, con conseguente risparmio in termini di tempo e di usura dell'attrezzatura.

5.2 Prove incastri ed accoppiamenti

Prima di effettuare la realizzazione vera e propria delle parti necessarie all'assemblaggio del dispositivo, sono state effettuate alcune prove per verificare il funzionamento degli incastri e degli accoppiamenti per poter eventualmente apportarne delle modifiche.

In particolare, sono stati realizzati dei provini degli incastri, ovvero soltanto delle porzioni di componente che comprendessero le parti "funzionali" e tramite queste sono state effettuate alcune prove per verificarne le tolleranze e la funzionalità.



Figura 75 - Prove effettuate

Ulteriori prove sono state effettuate per verificare il piantaggio dei cuscinetti; si è semplicemente proceduto con l'esecuzione di fori su piccoli pezzi di antiurto con diametri leggermente differenti e si è successivamente provata l'installazione dei cuscinetti.

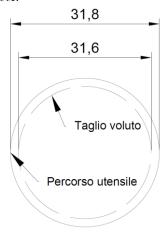


Figura 76 - Dimensioni fori di alloggiamento cuscinetti

Il diametro del foro che è necessario imporre sul disegno è di $\phi 31,6$ mm, che considerando lo spessore di taglio porterà ad un foro di $\phi 31,8$ mm. Poiché l'anello esterno del cuscinetto è $\phi 32,0$ mm risulta un'interferenza di 0,1mm per parte. Ovviamente ricordando la caratteristica del taglio laser di avere una leggera non perpendicolarità, si avrà un'interferenza che può variare di circa 0,05mm in questo particolare caso.

Infine, sono anche state effettuate alcune prove sulle ruote dentate per verificare gli accoppiamenti fra i denti e le catene.

5.3 Bill Of Materials

Di seguito è riportata la Bill Of Material del Pleximag, in cui vengono riportati tutti i componenti, i codici identificativi, una breve descrizione, le quantità, il tipo di materiale utilizzato e se il componente risulta essere commerciale oppure se è costruito internamente.

La lista è stata divisa in 5 sottogruppi che rispecchiano i componenti principali dell'oggetto: componente portaoggetti, telaio, chiusura esterna, trasmissione e componenti elettrici. Anche i codici dei prodotti rispecchiano tale suddivisione e presentano la seguente struttura: 00x/y dove x è il sottogruppo principale, mentre y è un numero consecutivo che indica i diversi componenti.

Le quantità in corrispondenza dei componenti principali si riferiscono al numero di componenti completi (ad esempio Cassetto, Q.tà 9 sta ad indicare che saranno presenti 9 cassetti, ognuno dei quali a sua volta è composto delle quantità di sotto-parti riportate).

Codice	Nome prodotto	Descrizione	Materiale	Q.tà	Componente commerciale
001	Componente portaoggett			9	NO
001/1	Lat cassetto	Componente laterale cassetto	Plexiglas 3mm	2	NO
001/2	Supporto oggetti	Supporto oggetti in esposizione	Antiurto 6mm	1	NO
001/3	Boccola	Boccola per rotazione	Plexiglas 8mm	2	NO
001/4	Vite M4x40	Vite per fissaggio cassetti	Acciaio	2	Sì
001/5	Rondella	Rondella per vite di bloccaggio sulla catena	Plexiglas 3mm	2	NO
001/6	Dado M4	Dado autobloccante per fissaggio cassetti	Acciaio	2	Sì
002	Telaio			1	NO
002/1	Telaio lato motore	Componente laterale telaio lato motore	Antiurto 6mm	1	NO
002/2	Telaio lato sx	Componente laterale telaio lato sinistro	Antiurto 6mm	1	NO
002/3	Telaio inf	Componente inferiore del telaio	Antiurto 6mm	1	NO
002/4	Bloc. Ass. 1	Bloccaggio assiale anello esterno-foro interno maggiore	PETG 2mm	12	NO
002/5	Bloc. Ass. 2	Bloccaggio assiale anello esterno-foro interno minore	PETG 2mm	12	NO
002/6	Vite M4x20	Vite per fissaggio dei bloccaggi assiali	Acciaio	12	Sì
002/7	Dado M4	Dado M4	Acciaio	12	Sì
002/8	Rinforzo	Rinforzo telaio	Antiurto 6mm	1	NO
002/9	Distanziale motore	Distanziale per supporto motore	Antiurto 6mm	6	NO
002/10	Supporto motore	Supporto del motore	Antiurto 6mm	2	NO

003	Chiusura esterna			1	NO
003/1	Sportello	Componente sportello	Antiurto 6mm	1	NO
003/2	Cerniera	Componente cerniera per sportello	Antiurto 6mm	1	NO
003/3	Cerniera superiore	Componente cerniera per sportello parte superiore	Antiurto 6mm	1	NO
003/3	Chiusura posteriore	Componente di chiusura posteriore	PETG 2mm	1	NO
003/4	Chiusura anteriore	Componente di chiusura anteriore	PETG 2mm	1	NO
004	Trasmissione			1	NO
004/1	Cuscinetto 6201 2RS	Cuscinetto per supporto ruota dentata	Acciaio	6	Sì
004/2	Albero supp ruota	Albero di supporto della ruota dentata	Plexiglas Φ12 mm	2	NO
004/3	Albero supp ruota mot	Albero di supporto della ruota dentata giunto motore	Plexiglas Φ12 mm	1	NO
004/4	Boccola blocc ass	Boccola di bloccaggio assiale dell'anello interno del cuscinetto	Antiurto 6mm	12	NO
004/5	Pignone Z18	Pignone Z20 1/2"x5/16"	Antiurto 6mm	4	NO
004/6	Corona Z35	Corona Z35 1/2"x5/16"	Antiurto 6mm	2	NO
004/7	Boccola ruote	Boccola di calettamento delle ruote dentate	Antiurto 6mm	6	NO
004/8	Motoriduttore	Motoriduttore per movimento cassetti TYC50 - 5rpm $4/5$ W 220V 4kg	Acciaio	1	Sì
004/9	Catena 1/2"x5/16"	Catena specifiche 1/2"x5/16"	Acciaio	2	Sì

004/10	Tendicatena piastrina	Piastrina di supporto per rullo	Plexiglas 6mm	2	NO
004/11	Ruota Z8 tendicatena	Ruota per il tensionamento della catena	Plexiglas 6mm	6	NO
004/12	Vite M5x15	Viti per posizionamento piastrina	Acciaio	2	Sì
004/13	Viti M5x40	Viti per posizionamento tendicatena	Acciaio	2	Sì
004/14	Dado M5	Dado	Acciaio	8	Sì
004/15	Falsamaglia	Falsamaglia per giunta delle catene	Acciaio	2	Sì
Componen	ti elettrici				
005	Microswitch	Microinterruttore per spegnimento di sicurezza		1	Sì
006	Interruttore	Interruttore elettrico generale		1	Sì

Tabella 5 - Bill Of Materials del Pleximag A

5.3.1 Prospetto dei costi

Oltre alla Bill Of Materials è stato stilato un prospetto dei costi per giungere poi al costo finale del prodotto. Per realizzare questa sono stati analizzati i diversi aspetti che concorrono alla produzione dei componenti. Si può riassumere il percorso seguito tramite i passaggi qui riportati:

- Misurazione superficie componente
- Consultazione listino materiali
- Calcolo del costo della materia prima
- Misurazione del perimetro di taglio
- Calcolo del costo di taglio

Ovviamente per quanto riguarda i componenti che risultavano essere commerciali ci si è limitati a sommarne il costo di acquisto. Infine, si è anche andato a sommare il costo della manodopera necessaria all'assemblaggio.

Si è quindi giunti alla determinazione del costo totale del Pleximag: il target-cost di 200 € che ci si era imposti all'inizio del progetto, come si può notare, è stato rispettato, anche se con un margine minimo. Questo porterebbe a pensare che il mercato potrebbe ben accogliere l'oggetto, ma è da specificare che il rispetto del target-cost non è comunque una assicurazione in questi termini.

Codice	Nome prodotto	Superficie [m²] o lunghezza [m]	Prezzo al m² [€/m²] o al pezzo	$ \begin{array}{c} \text{Costo} \\ \text{materiale} \\ [\mathfrak{E}] \end{array} $	Perimetro di taglio [mm]	Costo di taglio [€]	Costo taglio totale $[\in]$	Costo [€]
001	Componente portaogge							11,55
001/1	Lat cassetto	0,00039404	14,52	0,011	255,12	0,070	0,14	0,15
001/2	Supporto oggetti	0,0128	36,00	0,461	922,3	0,370	0,37	0,83
001/3	Boccola	0,000104	38,00	0,008	53,24	0,030	0,06	0,07
001/4	Vite M4x40	-	0,0528		ı	-		0,11
001/5	Rondella	0,00007854	14,52	0,002	43,98	0,010	0,02	0,02
001/6	Dado M4	-	0,0528		-	-		0,11
002	Telaio							22,35
002/1	Telaio lato motore	0,1249	36,00	4,496	2662,19	1,060	1,06	5,56
002/2	Telaio lato sx	0,1249	36,00	4,496	2638,19	1,060	1,06	5,56
002/3	Telaio inf	0,12656	36,00	4,556	2068,64	0,830	0,83	5,39
002/4	Bloc. Ass. 1	0,002642079	8,38	0,266	307,86	0,090	1,08	1,35
002/5	Bloc. Ass. 2	0,002642079	8,38	0,266	292,15	0,080	0,96	1,23
002/6	Vite M4x20	-	0,05		ı	-		0,60
002/7	Dado M4	-	0,05		-	-		0,60
002/8	Rinforzo	0,03617	36,00	1,302	1211,81	0,480	0,48	1,78
002/9	Distanziale motore	0,0001	36,00	0,022	47,13	0,020	0,12	0,14

002/10	Supporto motore	0,0005	36,00	0,036	151,42	0,060	0,12	0,16
003	Chiusura esterna							10,41
003/1	Sportello	0,095532	36,00	3,439	1290	0,520	0,52	3,96
003/2	Cerniera	0,01908	36,00	0,687	1147,44	0,460	0,46	1,15
003/3	Cerniera superiore	0,01908	36,00	0,687	1147,44	0,460	0,46	1,15
003/3	Chiusura posteriore	0,263	8,38	2,204	2487,85	1,000	1,00	3,20
003/4	Chiusura anteriore	0,0673	8,38	0,564	1370,5	0,390	0,39	0,95
	<u> </u>							
004	Trasmissione							97,88
004/1	Cuscinetto 6201 2RS	-	2,00		-	-		12,00
004/2	Albero supp ruota	0,446	3,29	2,935			0	2,93
004/3	Albero supp ruota mot	0,466	3,29	1,533			0	1,53
004/4	Boccola blocc ass	0,000484	36,00	0,209	106,81	0,040	0,48	0,69
004/5	Pignone Z18	0,006084	36,00	0,876	443,34	4,940	19,76	20,64
004/6	Corona Z35	0,0225	36,00	1,620	1382,84	11,520	23,04	24,66
004/7	Boccola ruote	0,001225	36,00	0,265	172,84	0,070	0,42	0,68
004/8	Motoriduttore	-	9,00					9,00
004/9	Catena 1/2"x5/16"	0,94	11,00	20,680	-	-		20,68
004/10	Tendicatena piastrina	0,00085	36,00	0,061	182	0,070	0,14	0,20
004/11	Ruota Z8 tendicatena	0,0012	36,00	0,259	203,43	0,100	0,60	0,86
004/12	Vite M5x15	-	0,05					0,10

004/13	Viti M5x40	_	0,05		_	_		0,10
004/14	Dado M5	-	0,05		_	_		0,40
004/15	Falsamaglia	-	1,70		_	_		3,40
			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	<u> </u>				,
Componenti elettrici								
005	Microswitch	-	1,50		-	-		1,50
006	Interruttore	-	1,28		-	_		1,28
	Manodopera	-	25,00		-	-		50,00
						ı		
							TOTALE	194,97 €

Tabella 6 - Prospetto dei costi per Pleximag A

5.4 Assemblaggio

La fase di assemblaggio risulta essere l'ultima della lavorazione del Pleximag e ne costituisce una parte importante, sia in termini quantitativi che ai fini della funzionalità. In questo caso, con assemblaggio, si vuole andare ad indicare l'insieme di quelle operazioni che devono essere effettuate manualmente e che permettono il montaggio dell'oggetto.

Le varie fasi dell'assemblaggio verranno elencate e descritte nel paragrafo successivo, mentre qui vengono riportati i tempi che sono stati rilevati durante l'assemblaggio del prototipo.

Operazioni	Tempi [min]
Telaio	
Montaggio incastri (laterali-inferiore-rinforzo)	2
Preparazione ruote	
Foratura + svasatura + vite (boccole ruota)	11
Svasatura + montaggio boccole + pellicola	16
Ruote	
Foratura + svasatura + vite (boccole blocc. assiale)	10
Piantaggio cuscinetti	10
Montaggio blocc. assiali	20
Montaggio ruote + centratura	20
Catene	
Taglio + montaggio	20
Cassetti	
Montaggio boccole + incastri (laterali-portaoggetti)	25
Montaggio su catena	8
Tempo totale	142

Tabella 7 - Tempi di assemblaggio Pleximag A

Come si può notare dal totale dei minuti che sono stati rilevati, il tempo di montaggio è stato di più di 2 ore. Tale risultato non è del tutto soddisfacente in quanto risulta essere comunque elevato, però si devono fare alcune precisazioni. Innanzitutto, se confrontato con quello relativo al primo prototipo di Pleximag della Adeglas, è nettamente inferiore, in quanto questo necessitava di un forte contributo in termini di manodopera ed il

tempo di montaggio risultava molto più elevato rispetto a quello del nuovo prototipo di Pleximag A.

Oltre a questo, è da notare il fatto che durante tale fase sono stati studiati dei nuovi attrezzi per coadiuvare il lavoro del personale, e quindi questa procedura è stata in ogni caso rallentata. Tali attrezzature verranno presentate successivamente in un paragrafo apposito.

Una ulteriore precisazione prende in considerazione la cosiddetta "Curva di Wright" o "Curva di apprendimento". Tale curva è un modello matematico che serve per esprimere il seguente concetto: aumentando la produzione cumulata di un bene, l'esperienza che acquisisce l'operatore porta ad un aumento della produttività e di conseguenza ad una diminuzione del costo unitario del bene.

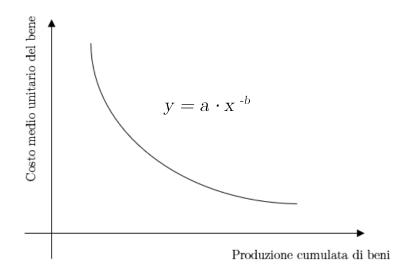


Figura 77 - Curva di Wright

Come si può notare dalla rappresentazione grafica quindi, il costo unitario del bene preso in considerazione, che in questo caso potrebbe essere l'espositore meccanizzato, diminuisce all'aumentare della produzione stessa del prodotto. Questo è spiegabile considerando che l'operatore aumenta il proprio apprendimento all'aumentare del numero di beni prodotti, grazie alla propria esperienza ed alle migliorie che vengono fatte al processo di produzione o di assemblaggio.

Quindi, senza andare a fare un'analisi matematica del processo che prevederebbe la determinazione dei valori dei fattori a e b, si può comunque stabilire che un aumento della quantità di beni assemblati, porterebbe ad

una diminuzione dei tempi di assemblaggio con un conseguente risparmio in termini di costi. [10]

5.4.1 Attrezzatture per ottimizzazione del montaggio

Per ottimizzare il montaggio, ovvero velocizzarlo, renderlo più semplice e ottimizzare il funzionamento del Pleximag, sono stati ideati alcuni strumenti da utilizzarsi in tale fase. Questi strumenti verranno descritti qui di seguito e verranno denominati con la sequenza delle lettere soltanto per semplicità e facilità di comprensione.

Attrezzo A

Questo attrezzo è stato pensato per facilitare la fase di piantaggio dei cuscinetti. Ovvero, essendo realizzato con una lastra di spessore definito di 2mm, questo permette di avere un riscontro per stabilire di quanto si deve far fuoriuscire il cuscinetto dal laterale del telaio.

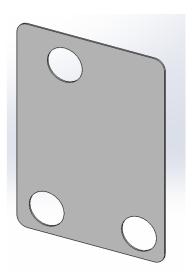


Figura 78 - Attrezzo A

Si è semplicemente utilizzata una lastra con i fori nelle medesime posizioni di quelli presenti sui laterali, però con dimensioni maggiorate in modo da non avere problemi durante l'operazione. È sufficiente appoggiare l'attrezzo su di una superficie piana e poggiare su di esso il laterale su cui si vogliono installare i cuscinetti. Tramite un martello in materiale plastico che non rovini i cuscinetti sarà sufficiente procedere al piantaggio fino a quando la superficie del cuscinetto andrà a contatto con la superficie piana.

Attrezzo B

L'attrezzo in oggetto in questa sezione invece, è stato ideato con l'obiettivo di coadiuvare il montatore nella fase di installazione delle ruote sugli alberi. In particolare, risulta necessario che le tre ruote collegate alla stessa catena siano perfettamente allineate; il non perfetto allineamento porterebbe invece la catena a lavorare in maniera sbagliata e addirittura potrebbe portare ad un consumo prematuro delle ruote.

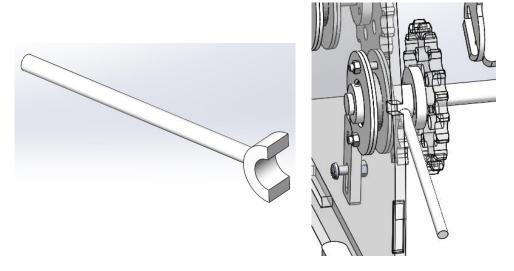


Figura 79 - Attrezzo B e suo utilizzo

L'obiettivo di questo attrezzo è proprio quello di fornire un riscontro durante tale fase: la porzione di tubo posta alla sua estremità permette di andare ad appoggiare questa sull'albero e con la superficie laterale sul bloccaggio assiale corrispondente. Sarà sufficiente quindi andare ad appoggiare la ruota sull'altra superficie laterale dell'attrezzo B per assicurare un corretto posizionamento ed allineamento delle ruote dentate.

Attrezzo C

Tale attrezzo è stato pensato con l'obiettivo di andare a sincronizzare la catenaria di destra con quella di sinistra. Se questa proprietà non fosse rispettata, il risultato porterebbe ad avere gli elementi portaoggetti che si muovono non in piano e questo, oltre ad essere poco piacevole alla vista, potrebbe portare ad un malfunzionamento del meccanismo.

L'attrezzo è costituito da due parti che hanno forma complementare rispetto alle ruote dentate e da una barra che li unisce: in fase di sincronizzazione, queste due parti devono essere accoppiate con i due pignoni dello stesso albero e la barra deve essere poggiata parallelamente al telaio inferiore. Il risultato è che in questo modo le due ruote dentate presenteranno i denti e le gole in corrispondenza.

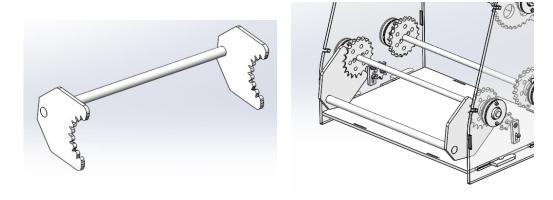


Figura 80 - Attrezzo C e suo utilizzo

5.4.2 Ciclo di assemblaggio

N. opera- zione	Descrizione
1	Piantaggio cuscinetti 004/1 su laterali 002/1 e 002/2. Posizionare i due componenti laterali su un piano, utilizzare l'attrezzo A come spessore, infilare manualmente i cuscinetti nella sede e terminare il piantaggio con un martello in materiale plastico.
2	Attraverso gli incastri montare i due laterali 002/1 e 002/2 con il componente inferiore del telaio 002/3. Verificare che gli incastri siano arrivati fino in fondo all'asola.
3	Incastrare il componente di rinforzo 002/8 nelle asole presenti sui due componenti laterali (002/1 e 002/2).
4	Posizionare i componenti di spessoramento 002/4 su ogni cuscinetto.
5	Posizionare i componenti di bloccaggio 002/5 su ogni cuscinetto e tramite le viti 002/6 e i dadi 002/7 stringere tutti i bloccaggi assiali.
6	Innestare gli alberi 004/2 e 004/3 nei cuscinetti 004/1 di un solo componente laterale, destro oppure sinistro.

7	Tramite le viti $002/6$ e i dadi $002/7$, fissare i componenti $004/7$ sulle ruote $(004/5 \text{ e } 004/6)$
8	Infilare su ogni albero in sequenza i seguenti componenti: blocc. ass. 004/4, ruota dentata, ruota dentata, blocc. ass. 004/4. Le ruote 004/6 andranno sull'albero superiore mentre i pignoni 004/5 sui due inferiori.
9	Procedere all'innesto degli alberi (004/2 e 004/3) anche sui cuscinetti dell'altro componenti laterale.
10	Inserire i bloccaggi assiali 004/4 anche sui lati esterni dei cuscinetti.
11	Imporre la distanza di 25mm fra l'estremità sinistra di ogni albero e la superficie sinistra del bloccaggio assiale $004/4$.
12	Procedere con l'installazione delle viti autofilettanti \$\phi\$3mm per il fissaggio dei bloccaggi assiali 004/4.
13	Utilizzare l'attrezzo B per posizionare alla corretta distanza le ruote 004/5 e 004/6.
14	Fissare le ruote dentate tramite l'utilizzo delle viti presenti sui bloccaggi assiali delle ruote 004/7.
15	Sezionare alla lunghezza adeguata di 935mm le catene 004/9. Molare la testa del perno della catena e ribatterlo tramite un punzone.
16	Installare le catene 004/9 sulle ruote dentate e chiuderne lo sviluppo tramite le false-maglie 004/15
16	Preparare le piastrine supporto tendicatena 004/10 installando su di esse le viti 004/13.
17	Installare le piastre di supporto del tendicatena 004/10 tramite le viti 004/12 ed i dadi 004/14.
18	Posizionare un dado 004/14 sulla vite 004/13. Inserire la ruota tendicatena 004/11. Posizionare un altro dado in modo da bloccare il movimento assiale della ruota, ma lasciando che essa possa ruotare.
19	Posizionare l'intero elemento tendicatena in modo da eliminare il gioco delle catene.
20	Procedere con la preparazione di tutti gli elementi portaoggetti 001.

21	Posizionare i componenti laterali 001/1 su un piano e procedere al piantaggio delle boccole 001/3 su di essi.
22	Tramite gli incastri, unire due laterali 001/1 con un elemento supporto oggetti 001/2.
23	Mettere in fase i due trascinamenti tramite l'attrezzo C.
20	Procedere con il montaggio di tutti i cassetti portaoggetti
24	001 sulle catene 004/9. Utilizzare le viti 001/4 ed i dadi 001/6, posizionando la rondella 001/5 fra la testa della vite ed il laterale del cassetto. Distanziare i cassetti di 8 maglie.
25	Montare il motore 004/8 tramite i componenti 002/9 e 002/10.
26	Collegare l'albero del motore 004/8 con l'albero 004/3 tramite l'utilizzo di una vite M3x25.
27	Montare il microswitch 005 tramite delle viti M3 negli appositi fori.
28	Collegare il microswitch 005 in modo da interrompere l'alimentazione del motore 004/8 e procedere con il cablaggio in modo da permetterne l'alimentazione.
29	Procedere con l'installazione del componente posteriore 003/3 della chiusura esterna, tramite gli incastri. Prima installare quelli con il fondo del telaio 002/3 e poi quelli con i laterali 002/1 e 002/2.
30	Iniziare a centinare il componente 003/3.
31	Utilizzare gli incastri con la cerniera superiore 003/2 e fissare quest'ultima nell'apposita posizione tramite 2 viti autofilettanti φ3mm.
32	Preparare lo sportello $003/1$ piantandolo nella cerniera superiore $003/2$.
33	Installare il componente copertura anteriore 003/4 tramite gli incastri con il fondo e con i laterali.
34	Terminare il posizionamento della cerniera inferiore 003/2 nell'apposita scanalatura, contemporaneamente all'infilaggio del cardine dello sportello 003/1. Installare le 2 viti di fissaggio della cerniera 003/2.
35	Lubrificare le catene con lubrificante spray trasparente.

 $Tabella\ 8 - Ciclo\ di\ assemblaggio$

5.5 Prototipo

Il risultato finale della fase di prototipazione e del lavoro in generale è quello riportato nelle figure successive.

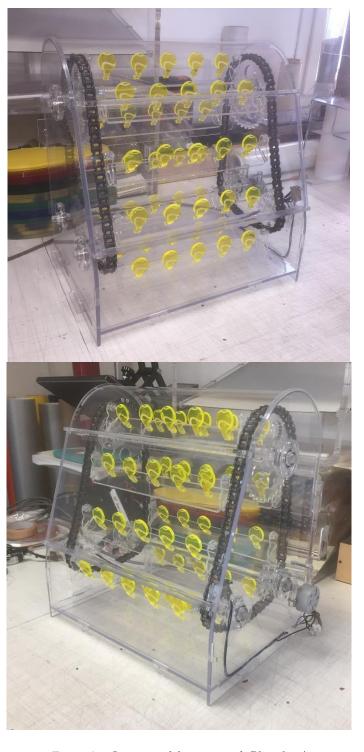


Figura 81 - Immagini del prototipo di Plexiglas ${\cal A}$

Capitolo 6

Conclusioni

Questo capitolo ha come obiettivo quello di andare a tirare le fila del lavoro svolto, pensando alla validità delle scelte fatte e a possibili miglioramenti.

Al termine del lavoro svolto si può concludere che una buona parte degli obiettivi che ci si era imposti nella fase preliminare, sono stati raggiunti.

Per quanto riguarda la progettazione, si può asserire di aver centrato l'obiettivo. Nonostante ci siano margini di miglioramento, l'espositore risulta di dimensioni adeguate, facilmente installabile senza l'utilizzo di personale specializzato e facilmente trasportabile. La forma non risulta più essere squadrata e spigolosa come quella del primo prototipo, ma piacevole alla vista e con spigoli arrotondati che, oltre all'aspetto estetico, hanno anche una grande importanza in termini di sicurezza. A tal proposito, si può stabilire che l'oggetto risulta sicuro, poiché è stata prevista la sua fermata nel caso in cui esso venga aperto e quindi non è possibile accedere agli organi in movimento.

L'ottimizzazione di taglio e delle lavorazioni è stata svolta con cura ed il risultato è soddisfacente, con una minimizzazione degli scarti e della manodopera necessaria in questa fase.

Per quanto riguarda di montabilità e la riduzione della manodopera sono stati raggiunti gli obiettivi imposti, ovvero il Pleximag richiede un tempo di montaggio discreto, che rimane sotto i 140 minuti, quando invece il prototipo precedente ne richiedeva molto di più. Ricordando inoltre la curva di Wright, se la sua commercializzazione dovesse espandersi ed i numeri di produzione aumentassero, queste tempistiche potrebbero diminuire grazie all'esperienza che man mano acquisirebbe il personale addetto all'assemblaggio.

Si è notate, grazie alla prototipazione, che la fase di installazione delle ruote dentate è probabilmente quella più difficoltosa e gravosa in termini di tempi: nonostante l'utilizzo degli attrezzi specificatamente pensati per questo fine, il loro montaggio risulta un po' scomodo ed allo stesso tempo però è assolutamente necessario che venga effettuato con precisione in quanto un non corretto posizionamento di queste compromette il buon funzionamento dell'espositore. Per questo motivo si erano anche pensati differenti tipi di collegamento, ad esempio con chiavetta o profili scanalati, che bloccano

almeno un grado di libertà, ma essi risulterebbero un costo non sostenibile in tale progetto e quindi sono stati accantonati. Quindi, nonostante la soluzione utilizzata sembri in definitiva la migliore in questo caso, sarebbe un buon investimento concentrare ancora un po' di sforzi su questo argomento, in modo da stabilire se esistano soluzioni migliori oppure no, mantenendo sempre presente il problema dei costi.

A tal proposito, si può asserire che il target-cost imposto in fase preliminare è stato soddisfatto. Questo è molto importante, in quanto l'azienda lo ha definito pensando a quanto sarebbe dovuto costare l'oggetto perché potesse essere acquistato e quindi un non rispetto di questa misura avrebbe automaticamente messo fuori gioco l'oggetto.

Come si è illustrato nel paragrafo dedicato, è stata elaborata un'intera gamma di espositori Pleximag. In questa le caratteristiche rimangono le stesse ma variano le dimensioni. Nonostante si sia prestata attenzione a modificare quei particolari che necessitavano caratteristiche diverse a causa della modifica delle dimensioni, sarebbe comunque necessaria una prototipazione degli altri Pleximag B, C e D per verificare la rispondenza di tutti i particolari.

7 Bibliografia

- [1] M. Alesandro, Comunicando, p. 46, Gen-Feb 2013.
- [2] s. Cemab, «Che cos'è il Visual Merchandising».
- [3] O. &. L. J. Frank, «Determination of various deformation processes in impact-modified PMMA at strain rates up to 105%/min,» Colloid and Polymer Science, 1986.
- [4] I. d. Italiana, Treccani.it, Enciclopedia Online, 2011.
- [5] GE Structured Products, «Lexan-Guida per la Lavorazione».
- [6] P. Andreini, Manuale dell'Ingegnere Meccanico, Milano: Ulrico Hoepli Editore, 2018.
- [7] https://lustrinnovation.com/it/ambiente-e-sostenibilita.
- [8] C. Negri, Catene e loro applicazioni, Milano: Ulrico Hoepli, 1945.
- [9] E. Capello, Le lavorazioni industriali mediante laser di potenza, Maggioli editore, 2008.
- [10] G. Marbach, Ricerche per il marketing, UTET, 2006.