



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà del Design

Corso di Laurea Magistrale in Disegno Industriale

Schienale personalizzato traspirante per carrozzina

Relatrice: Prof. Fiammetta Costa

Correlatore: Prof. Maximiliano Romero

Daniele Baratta

Matricola 739174

Anno accademico 2010/2011

Indice			
<i>Indice delle immagini</i>			
o. <i>Sommario</i>	6		
<i>Abstract</i>	7		
<i>Introduzione</i>	9		
1. <i>L'area di progetto_ Postura e schienale della carrozzina</i>			
1.1 <i>Il sistema di postura</i>	11		
1.1.1 <i>La postura</i>	11		
1.1.2 <i>I sistemi</i>	13		
1.1.3 <i>La postura in carrozzina</i>	14		
1.1.4 <i>Ricerca della postura ottimale</i>	17		
1.2 <i>L'ausilio carrozzina</i>	18		
1.2.1 <i>Cenni storici</i>	18		
1.2.2 <i>Le tipologie</i>	21		
1.2.3 <i>La struttura</i>	22		
1.2.4 <i>Gli utilizzatori</i>	26		
1.2.5 <i>La scelta</i>	27		
1.2.6 <i>Il mercato degli ausili nel SSN in Italia</i>	29		
1.2.7 <i>Visita all'area Ausili di Corte Roncati a Bologna</i>			
1.3 <i>Lo schienale</i>	37		
1.3.1 <i>Tipologie</i>	38		
1.3.2 <i>Regolazioni</i>	42		
		1.3.3 <i>Prodotti in commercio</i>	44
		1.3.4 <i>Il prodotto "su misura"</i>	54
		1.3.5 <i>Il problema della traspirazione</i>	55
		1.4 <i>Il caso studio</i>	55
		1.4.1 <i>L'utilizzatore</i>	56
		1.4.2 <i>La mielolesione</i>	57
		2. <i>Il brief_ Schienale personalizzato traspirante</i>	
		2.1 <i>Opportunità di progetto</i>	63
		2.1.1 <i>Personalizzazione artigianale</i>	63
		2.1.2 <i>Limiti degli schiumati</i>	64
		2.2 <i>Qualità desiderate</i>	64
		2.2.1 <i>Customizzato</i>	65
		2.2.2 <i>Traspirante</i>	66
		2.2.3 <i>Rigido e leggero</i>	67
		2.2.4 <i>Confortevole</i>	69
		2.2.5 <i>Igienico</i>	69
		3. <i>La tecnologia _Rapidl Manufacturing</i>	
		3.1 <i>Il rapid manufacturing</i>	71
		3.1.1 <i>Una nuova realtà produttiva</i>	71
		3.3.2 <i>Overview dei processi RM</i>	76
		3.2 <i>Selective Laser Sintering</i>	82
		3.2.1 <i>Descrizione del processo</i>	82
		3.2.2 <i>Comparazione con Injection moulding</i>	86
		3.3 <i>Casi studio</i>	88
		3.3.1 <i>Ortesi Custom-fit</i>	88

3.3.2	<i>Plantari funzionali</i>	91	6.4	<i>Manutenzione</i>	127
3.4	<i>Realtà commerciale: Materialize</i>	93	6.5	<i>Il sistema prodotto</i>	128
4.	<i>Il Progetto</i>		6.5.1	<i>Schienale modulare per test</i>	128
4.1	<i>RP: massima libertà progettuale</i>	97	6.5.2	<i>Modellazione parametrica</i>	129
4.2	<i>Concept</i>	98	7.	<i>Le conclusioni</i>	
4.2.1	<i>La "shell" personalizzata</i>	98	7.1	<i>Considerazioni finali</i>	131
4.2.2	<i>La struttura Honeycomb</i>	100	7.2	<i>Infografiche e foto</i>	133
4.2.3	<i>I micro moduli elastici</i>	101	7.7	<i>Ringraziamenti</i>	155
4.2.4	<i>Il rivestimento</i>	104		<i>Bibliografia</i>	156
4.3	<i>Provini funzionali</i>	106			
4.2.1	<i>Face A</i>	106			
4.2.2	<i>Face B</i>	110			
5.	<i>Il processo</i>				
5.1	<i>Calco schienale provvisorio</i>	113			
5.2	<i>Rilevazione matematiche</i>	116			
5.3	<i>Elaborazione modello rigido</i>	117			
5.3	<i>Posizionamento dei moduli</i>	118			
5.4	<i>Lavorazioni Accessorie</i>	119			
6.	<i>Il prodotto</i>				
6.1	<i>Prototipo</i>	121			
6.1.1	<i>Il corpo stampato</i>	121			
6.1.2	<i>I supporti in carbonio</i>	123			
6.1.3	<i>La fodera</i>	124			
6.2	<i>Implementazione</i>	125			
6.3	<i>Uso</i>	126			

Indice delle immagini

001 Una corretta postura seduta	12	030 Cuscino a camere d'aria anti decubito	41
002 Sedile standard	13	031 Pro-tech® Standard Backs	44
003 Sedile sagomato sull'utente	13	032 Excel Back System	44
004 Sedile flessibile	14	033 J3 Spine-Align	45
005 Zone a maggior rischio di insorgenza di piaghe da decubito	15	034 Netti Stabil	46
006 Cuscino antidecubito a camere d'aria indipendenti	16	035 K-Adjustable Back	46
007 Cuscino antidecubito con superficie in gel	16	036 Cushmaker	47
008 La varietà di prodotti all'interno di un centro ausili	17	037 Curved back	47
009 Carrozzina antica ottenuta da poltrona	18	038 Top End AVJTens Back	48
010 Soldati inglesi feriti celebrano la fine della guerra	19	039 Custom Foam in Place	48
011 Carrozzina in uso negli anni '70	20	040 MatrX	49
012 Carrozzina standard moderna	20	041 Fixed backrest	50
013 Modello B-Free, menzione d'onore Compasso d'Oro 2011	21	042 Procontour Back	50
014 Carrozzina elettrica moderna	21	043 Acta-Back	51
015 Handbike per percorso sterrato	22	044 Lohas	51
016 Telaio rigido con schienale collassabile	23	045 Retroback® Back Support System	52
017 Telaio pieghevole moderno	24	046 Icon Mid-back	52
018 Poggiatesta non integrato allo schienale	24	047 True Fit Back	53
019 Rotelline anteriori personalizzabili chiamati "caster"	25	048 Physipro	53
020 Valutazione clinica dell'ausilio	28	049 Pride Mobility	53
021 Sistema di postura customizzato	28	050 Adjust Air	54
022 Una foto del centro ausili tecnologici visitato	34	051 Schienale regolabile per posture asimmetriche	55
023 La prova di un ausilio pensile da cucina	35	052 Nomenclatura delle vertebre	57
024 Lordosi, scoliosi e cifosi della colonna	37	053 Smontaggio del supporto lombare dello schienale di Nicolò	64
025 Supporto lombare standard	38	054 Esempio di protesi dentale realizzata con tecnologia CAM	65
026 Carrozzina con classico schienale flessibile	38	055 Strato traspirante per sedile di auto	66
027 Schienale rigido di media altezza	39	056 Concetto di contatto puntiforme multiplo negli scanner per pianta del piede	67
028 Schienale rigido con sostegni laterali	39	057 Molla in gomma ottenuta in stereo litografia	68
029 Schema dello schienale progettato nello studio di Parent F.	41	058 Esempio di parte funzionale in RP	72
		059 Protesi ossea prodotta in sinterizzazione	73
		060 Lampada prodotta da MGX	73

061 Prototipatrice rapida Z Corp	74	091 Esempio di Honeycomb , portafrutta The Black_Honey di Arik Levy per MGX.	100
062 Macchina per stampa 3D da casa Fab@Home	75	092 Il disegno esagonale tassellato di un alveare	101
063 La copertina del Wohlers Report di quest'anno	76	093 Esempio di microstruttura con principi di molla flettente ripetuti su un tubolare	
064 Esempio di gioiello realizzato in acciaio	77	094 Strutture elastiche sinterizzata in SLS. Principio di molla flettente	103
065 Oggetti prodotti in SLA in macchina	78	095 Spacer Fabric (Air Mesh) della taiwanese Sing Bwo	104
066 Oggetti prodotti in Polyjet sul vassoio	79	096 3D Textile con spessore 8 mm	104
067 Parte prodotta in FDM con ABS bianco	80	097 Altri esempi di 3D textile	105
068 Prodotto in SLS con lega metallica	80	098 Ipotesi geometrica in fase preliminare di progetto	106
069 Parte multicolore da stampata unica in 3DP	81	099 Seconda ipotesi geometrica in fase preliminare di progetto	107
070 Campione realizzato in SLS con Poliammide	83	100 Terza ipotesi geometrica in fase preliminare di progetto	107
071 Sfera cava realizzata in un unico pezzo	83	101 Le due renderizzazioni 3D della prima geometria scelta per la prototipazione	109
072 Esempio di parte ottenuta in SLS	84	102 Le due renderizzazioni 3D della seconda geometria scelta per la prototipazione	
073 Esempio di parti ottenute in SLS	85	103 I due provini prototipati	110
074 Esempio di parte ottenuta in SLS, integrata con carbonio.	86	104 Face B con le tre conformazioni di molla	111
075 Occhiali realizzati in SLS	87	105 Fase di smontaggio dello schienale	114
076 Occhiali realizzati in SLS	87	106 La produzione del calco in sabbia	114
077 Socket prodotto manualmente e matematiche digitali	90	107 Il calco pronto per la solidificazione con colla	114
078 Ortesi plantari realizzate in FDM e SLS	92	108 Il gesso appena colato nel calco in sabbia	115
079 risultato di Matteo Moroni in FDM	92	109 Lo stampo estratto dal calco	115
080 Lampada Bloom di Patrick Jouin per MGX.	93	110 Rimozione della sabbia attaccata al gesso	115
081 Fractal coffee table di MGX	94	111 Rilevamento con scanner 3D del calco	116
082 Lampada Volume di Studio Dror per MGX	94	112 Screenshot di una delle viste rilevate	116
083 Parte disegnata da un utente , realizzata in titanio con la piattaforma i.materialize.	95	113 Fase di accoppiamento scansioni con software PolyWorks Align	117
084 Sgabello collassabile ottenuto in un unico processo di stampa	95	114 Rielaborazione della mesh in Rhinoceros 4	117
085 Lampada disegnata da un privata e realizzata con la piattaforma i.materialize.	96	115 Torsione della parte laterale per ricreare l'effetto contenimento	117
086 Geometria astratta realizzata con la piattaforma i.materialize.	96	116 Sviluppo della geometria Honeycomb partendo dalla superficie rilevata	118
087 Protesi per cranio in titanio realizzata in SLS	97	117 Moduli correttamente posizionati, con fronte parallelo alla superficie rilevata	119
088 Protesi di gamba ottenuta in rapid manufacturing	98	118 Alette laterali e supporti per ancoraggio al telaio	120
089 Esempio di scansione dei picchi di pressione su una seduta	99	119 Vista in tre quarti del modello completato	120
090 La pedana provvista di sensori pressori	100	120 Fotografia 1 del modello prodotto in poliammide	122
		121 Fotografia 2 del modello prodotto in poliammide	122

122	Fotografia 3 del modello prodotto in poliammide	122
123	Fotografia 4 del modello prodotto in poliammide	122
124	Fotografia 5 del modello prodotto in poliammide	123
125	I quattro supporti strutturali in carbonio	123
126	Il profilo del supporto	124
127	Il 3D textile di Sing Bwo sui moduli elastici	124
128	Il fissaggio della fodera provvisoria per la prova	124
129	Lo schienale fissato al telaio	125
130	L'applicazione dei supporti in carbonio	126
131	L'applicazione delle viti	126
132	Prova dello schienale	127
133	La risposta all'appoggio di Nicolò	127
134	Fase di montaggio dello schienale	128
135	Software di modellazione parametrica Grasshopper	129
136	Esempio di geometria ottenuta parametricamente	129

SOMMARIO

La ricerca indaga l'applicazione delle tecnologie di rapid manufacturing nell'ambito degli ausili per disabili. Le tecnologie di Direct Digital Manufacturing, come vengono ultimamente chiamate per enfatizzare l'immediatezza del processo, si stanno diffondendo velocemente, andando spesso a sostituire sistemi produttivi ormai obsoleti; il settore sanitario, insieme a pochi altri, è già largamente infiltrato da queste tecniche, a causa di una richiesta sempre più pressante di prodotti studiati *ad hoc* per ogni singolo utente. Nella sperimentazione specifica, si focalizza il problema sulla progettazione di schienali per carrozzine, sfruttando opportunamente i benefici derivati da queste tecnologie, per superare alcuni problemi tipici delle soluzioni attualmente impiegate. L'ipotesi è quella di ottenere un ottimo supporto anatomico, una risposta elastica controllata dello schienale e un'areazione della schiena, avvalendosi di una geometria di base adattabile alle necessità specifiche del fruitore. L'offerta attualmente esistente, nel campo degli schienali per carrozzina, si è riscontrato essere piuttosto scarsa per quanto riguarda il prodotto costruito su misura; questo non solo per l'effettiva mancanza di un procedimento sistematico, che produca in poche e definite fasi soluzioni soddisfacenti, ma anche e soprattutto per alcuni problemi insuperati che queste si portano dietro: adattamento grossolano alle necessità specifiche e bassa traspirazione.

Si è lavorato quindi in tal senso, cercando una risposta progettuale facilmente replicabile seguendo un modello, obiettivo tutt'altro che semplice se si tiene presente che il prodotto elaborato è customizzato per ogni individuo.

ABSTRACT

This research focuses on rapid manufacturing in relation to the aid for the disabled. Direct Digital Manufacturing, as it is referred to nowadays because of its rapid processes of production, is rapidly becoming widespread, in fact it has been substituting more obsolete manufacturing systems. Pressurized by a strong request of products studied *ad hoc* for every patient, the sanitary sector, with few others, has already been infiltrated by these technologies. In this study, these emerging systems are mainly treated in relation to wheelchair's back-rest, opportunely exploiting the benefits of these technologies; overcoming problems that derive from the current given solutions. The aim is to guarantee an excellent back anatomical support; elastic and controlled, while allowing back perspiration and adapting its' geometry to the users' specific needs. The wheelchairs currently offered on the market are inadequate in regards of the specific needs of a custom-made product. Not only they lack of a systematic procedure that allows us to generate the product in few and defined satisfactory procedures, but mainly they present unresolved problems caused by these processes of production: coarse custom answers to specific needs and low transpiration.

So the study is done baring in mind these problems, searching for a project model that is easily duplicable. A difficult assignment if we

bare in mind that this product must be custom-made for every individual.

INTRODUZIONE

Questo è il risultato finale di un percorso didattico multidisciplinare durato due anni, e per questo vuole rispecchiare anch'esso la capacità di approccio al progetto da più punti di vista. La ricerca stimola molto le curiosità personali ed evidenzia la volontà di affrontare una tesi di laurea fortemente improntata al progetto, supportata dai necessari approfondimenti verticali che ogni disciplina toccata merita. E' sicuramente presente una buona componente sperimentale, nella ricerca di una risposta tecnica adeguata, il che si allinea alle attitudini personali maturate nei cinque anni di formazione. Mette a frutto in modo proficuo le esperienze professionali recenti, nelle quali si è potuto lavorare con macchinari per prototipazione rapida, molto simili alle logiche di *e-manufacturing* prese in esame. E infine, aspetto rilevante, sfrutta alcune opportunità contingenti date dalla conoscenza di professionisti del settore dagli ausili per la disabilità, e dalla sincera e partecipata collaborazione di un potenziale fruitore del prodotto elaborato.

TAVOLA 01

CAPITOLO PRIMO

L'area di progetto

Lo sviluppo del testo è frutto di una elaborazione a posteriori del percorso di progetto, voluta fortemente per proporre una lettura fluida delle tematiche, con un avvicinamento progressivo alle questioni centrali dello stesso. In origine la scoperta di un terreno di progetto fertile è avvenuta trasversalmente: dall'analisi analitica delle tecnologie di prototipazione rapida si è passati alla presa coscienza dei mercati già accessibili a queste tecniche, per approdare in definitiva al settore degli ausili per disabili. Quello protesico è uno dei pochissimi mercati già contaminati dai processi produttivi presi in esame: la necessità di soluzioni specifiche personalizzate, l'uso di materiali tecnicamente performanti e l'interfacciamento con strumenti virtuali, rende le tecnologie di prototipazione rapida particolarmente adatte allo scopo.

Nel settore degli ausili si possono per lo più individuare esigenze tecnologiche simili a quelle appena descritte. Analogamente troviamo, però, gli stessi limiti: l'ottenimento di un risultato così tecnicamente performante si paga ancora caro. Le tecnologie di rapid prototyping e in particolare quella di Selective Laser Sintering (SLS) sono molto costose, anche se in progressivo calo. Per questo motivo ci si è indirizzati inizialmente verso un ausilio che, alla pari delle protesi, fosse in realtà un prodotto dal quale il fruitore si separa raramente nell'arco della sua vita. Abbiamo ritenuto che

l'importanza che tale bene ha conquistato nella vita di colui che lo possiede, ne rendesse giustificabile il prezzo. Lo schienale per carrozzina è esattamente uno di questi ausili.

Tra le patologie della colonna vertebrale si è scelto di sperimentare l'applicazione in un caso specifico: la mielolesione. ;

1.1 Il sistema di postura

Con posture si intendono *“gli atteggiamenti individuali assunti dai singoli soggetti, definiti dai rapporti che si stabiliscono tra i vari segmenti inseriti nello spazio e corredati delle forze relative, in particolare dei muscoli, cui presiede l'attività di controllo del sistema nervoso centrale”* (Boccardi, Lissoni, 1984).

In questo studio l'attenzione è focalizzata sulla particolare postura seduta che è da assumersi nell'uso della carrozzina.

1.1.1 La postura seduta

La postura seduta, come ogni altra postura, presenta elementi essenziali invarianti facilmente descrivibili ed elementi variabili da un individuo all'altro in rapporto alla conformazione fisica, alla eventuale presenza di menomazioni, al particolare sistema di postura adottato, allo stato psicologico e a fattori socio-culturali. Il mantenimento della posizione seduta e il qualsiasi gesto volontario eseguito in tale posizione si influenzano vicendevolmente e quindi

risulta evidente quanto sia importante una buona posizione seduta quale base fondamentale per l'esecuzione ottimale del compito motorio. Per chiarire meglio questo concetto, elenchiamo i principi ergonomici correlati. La posizione seduta per essere mantenuta deve richiedere il minor sforzo mentale e fisico possibile; deve essere comoda, il soggetto non deve avvertire dolori o sensazioni fastidiose di tensione o compressione o fatica; deve garantire la massima libertà d'azione della testa e delle braccia insieme alla massima efficienza delle prestazioni fisiche e mentali; Deve evitare effetti collaterali, cioè non provocare nel medio lungo termine danni secondari come ulcere e processi degenerativi da sovraccarico; deve essere stabile per permettere il corretto svolgimento di tutte le altre azioni; e infine deve essere estetica, contribuendo a dare un'immagine positiva di sé e ad aumentare l'autostima.

La postura seduta è sempre condizionata da due fattori fondamentali: da una parte i meccanismi interni automatici e di controllo neuromotorio e dall'altra gli elementi di appoggio e contenimento del soggetto. Questa non è mai da considerarsi statica, e da mantenersi immobile per il maggior tempo possibile, ma al contrario essa è una posizione dinamica, un riferimento attorno al quale il soggetto compie continui movimenti di aggiustamento. La posizione del bacino è un fattore che condiziona in modo determinante l'assetto della colonna vertebrale e la distribuzione degli sforzi sulle strutture portanti. Sul piano sagittale,

ovvero petto-schiena, esso è assai precario e viene per lo più determinato dall'inclinazione della seduta e dello schienale. Sul piano frontale la verticale del baricentro bacino-tronco-capo passa per la linea interglutea, per modificare l'assetto si agisce con sedute rigide non cedevoli e la sagomatura opportuna del cuscino. Sul piano orizzontale un'alterazione della posizione del bacino può essere determinata da un vizio posturale di natura muscolare o ossea. Nella posizione seduta le cosce sono flesse di circa 90° rispetto al bacino, in posizione neutra sui piani frontale e orizzontale e disposte in modo da appoggiare sul sedile fino quasi all'altezza del polpite, la zona posteriore al ginocchio. I piedi dovrebbero essere in posizione quasi orizzontale, le spalle dovrebbero essere orizzontali, i gomiti flessi di 90° , e gli avambracci orizzontali (eventualmente con l'ausilio di braccioli).



Fig.001 Una corretta postura seduta

1.1.2 I sistemi

Il sistema di postura può essere definito come l'insieme di elementi di appoggio e contenzione che producono forze in grado di bilanciare le forze generate dalla persona (le forze di gravità dovute al peso della persona stessa). Gli elementi essenziali sono sedile, schienale e pedane. In più possono essere presenti elementi accessori come cinture, braccioli, poggiatesta ecc. Vediamo quali caratteristiche e regolazioni è opportuno considerare per i primi tre elementi di base. Tralasciamo un approfondimento relativo ai rimanenti poiché di scarso interesse per questo studio.



Fig.002 Sedile standard

I sedili possono essere suddivisi in modelli a superficie piatta e presagomati anche sull'utente. Come è facile immaginare quelli presagomati sono più performanti e limitano danni secondari a fronte di una spesa maggiore di acquisto.



Fig.003 Sedile sagomato sull'utente

La prima caratteristica da prendersi in considerazione è la profondità della seduta: essa deve essere tale da lasciare uno spazio di 3-4 centimetri tra il polpite e il bordo anteriore del sedile. Questo per impedire al fascio vascolo nervoso situato dietro al ginocchio di essere compresso. La larghezza ottimale per la seduta è quella che lascia pressappoco un centimetro tra i fianchi del paziente e le spondine della carrozzina; è la giusta limitazione per avere un mezzo il meno ingombrante possibile, considerando che questa è la dimensione critica che maggiormente è coinvolta in questioni di accessibilità.

L'altezza del sedile condiziona invece la possibilità di avvicinamento a un tavolo e la postura di lavoro. Per alloggiare comodamente il

bacino e le cosce e distribuire gli sforzi su queste strutture in modo equilibrato è opportuno che il sedile sia leggermente più basso nella sua parte posteriore. Se il sedile è perfettamente orizzontale e la superficie d'appoggio rigida, le cosce tendono a scivolare verso l'avanti trascinando con se il bacino e incoraggiandone la rotazione all'indietro. L'inclinazione indietro del sedile si può ottenere applicando una base a inclinazione regolabile o appoggiando un cuscino a cuneo sul sedile stesso. I soggetti privi di qualsiasi controllo attivo del tronco necessitano sempre di un sistema di postura con sedile e schienale inclinati di parecchi gradi.

La miglior tipologia di sedile dal punto di vista posturale è quello rigido; quello cedevole al contrario destabilizza il bacino, modificando negativamente gli sforzi e l'equilibrio del corpo. Un sedile rigido equipaggiato con un cuscino adatto, consente invece di mantenere una posizione più corretta del corpo e di distribuire più equamente gli sforzi su tutte le zone d'appoggio. I sistemi attuali di postura prevedono sempre una seduta rigida equipaggiata con cuscino a cuneo.

Le pedane sono montate su tubi di supporto connessi anteriormente al telaio per lo più estraibili o ribaltabili, la loro altezza influenza notevolmente la postura; l'altezza ideale deve corrispondere alla distanza tra polpite e suola della scarpa, con uno scarto di circa un centimetro. Quelle montate troppo in alto concentrano gli sforzi di pressione sulle zone ischiatiche, mentre quelle montate in basso

favoriscono la compressione della fascia vascolo nervosa dietro al ginocchio.



Fig.004 Sedile flessibile

Anche lo schienale è da preferirsi rigido, perché è possibile caratterizzarlo con curvature particolari e spessori che assecondino una postura ottimale; quelli flessibili non supportano altrettanto adeguatamente il busto e tendono ad essere cedevoli, quindi peggiorano le loro caratteristiche con l'uso prolungato nel tempo. Comunque affronteremo nel capitolo successivo un discorso a parte relativo allo schienale, oggetto principale di questo studio e di conseguenza trattato in modo approfondito.

1.1.3 La postura in carrozzina

L'acquisizione autonoma della postura seduta è uno dei momenti più importanti nel recupero funzionale della persona mielolesa. Infatti,

oltre a essere il presupposto per lo svolgimento di numerose funzioni importanti nella vita di relazione, rappresenta anche il primo passaggio nella riconquista della propria identità. La posizione seduta, anche se statica al letto, consente di riprendere il contatto con lo spazio circostante e le persone che lo frequentano. E' la prima tappa per la conquista della carrozzina e, di conseguenza, per l'autonomia.

La posizione seduta, nelle persone con lesione midollare, è mantenuta per la maggior parte della giornata, con lievi cambiamenti di assetto dovuti alla sostituzione di sedile e schienale d'appoggio (sedile dell'auto, sedia da ufficio, carrozzina, ecc...). Talvolta anche queste piccole variazioni non si presentano, e per lo più la postura è mantenuta sulla stessa seduta per l'intero periodo di veglia, interrotta solamente da brevi periodi di riposo, svolti con tempi e modi diversi a seconda delle persone. Come è facile immaginare, a seguito di periodi prolungati di pressione sulle superfici d'appoggio, si producono sforzi di compressione e sforzi di taglio, più marcati sui lembi cutanei che ricoprono protuberanze ossee dove c'è una ristretta zona di contatto. Tali sforzi possono provocare ulcere da decubito (dette anche piaghe) se oltrepassano i limiti di resistenza dei tessuti sottoposti a carico.

Questi problemi sono evitati dalle persone sane, poiché ad un troppo lungo stazionamento sulla stessa zona, si auto generano risposte motorie volontarie o riflesse che producono cambiamenti posturali e

di conseguenza un alternarsi di pressioni più o meno marcate su zone diverse. Nella persona mielolesa, invece, sia l'intensità che gli sforzi prodotti sulle zone a rischio sono elevati; l'intensità a causa della ridotta superficie d'appoggio e alla presenza di un tessuto protettivo sottile; la durata a causa della difficoltà o impossibilità, di effettuare cambiamenti posturali di prevenzione del problema.

Anche la stessa resistenza dei tessuti agli sforzi è solitamente molto ridotta nella persona mielolesa: studi (Gant, 1998; Bader, 1990) hanno dimostrato che a seguito di una compressione cutanea la cute del soggetto sano si rivitalizza velocemente mentre quella del soggetto mieloleso rimane ipossigenata per più tempo, e peggiora se vengono applicati nuovi carichi a intervalli regolari. Le soluzioni da adottare per evitare problemi gravi sono principalmente tre.

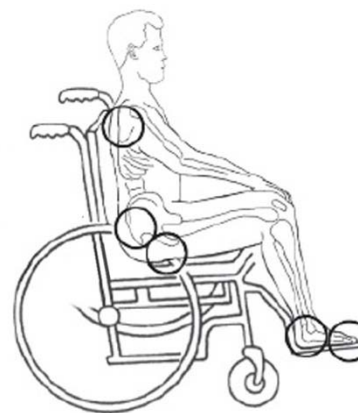


Fig.005 Zone a maggior rischio di insorgenza di piaghe da decubito

La prima e più naturale forma di prevenzione è quella di un frequente cambiamento di posizione. Nonostante sia assente la sensibilità che avvertirebbe di un normale fastidio dovuto a mantenimento prolungato della stessa posizione, l'individuo dovrebbe abituarsi a sollevare frequentemente le natiche e a spostare momentaneamente il peso in avanti o indietro per facilitare la riossigenazione dei tessuti più a rischio.

La seconda soluzione è un adeguato posizionamento di base che consenta di contenere l'intensità degli sforzi. Tale posizionamento è modificabile andando ad agire sugli angoli di inclinazione tra sedile schienale e altezza delle pedane della carrozzina, modificazioni diverse a seconda del tipo di disabilità del soggetto e sempre da considerarsi passibili di ulteriori aggiustamenti dovuti a situazioni personalizzate. Per un soggetto paraplegico si usa tipicamente una leggera inclinazione dello schienale e del sedile all'indietro, in modo da suddividere più equamente gli sforzi di compressione dovuti alla gravità.

Come terzo e ultimo, indispensabile accorgimento ricordiamo l'utilizzo di un cuscino antidecubito. Ne esistono di diversi tipi a seconda delle esigenze e delle sensazioni, che per quanto riguarda il comfort sono personali. Va detto comunque, che il cuscino è da scegliersi sempre insieme al sistema di postura. Esso deve poi sempre essere un buon compromesso tra un'efficace riduzione delle pressioni ischiatiche e le esigenze di stabilità/comfort.



Fig.006 Cuscino antidecubito a camere d'aria indipendenti

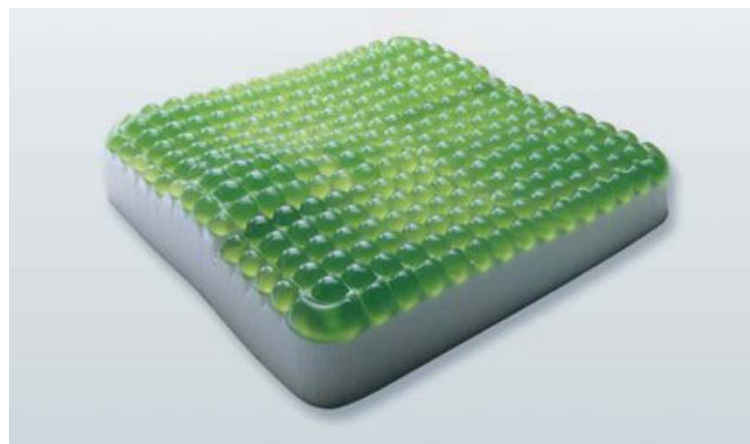


Fig.007 Cuscino antidecubito con superficie in gel

Deve essere fatto di un materiale dalle caratteristiche visco-elasto-plastiche, che consenta sotto carico una deformazione che distribuisca il peso su più superficie possibile, infine dovrebbe permettere la dispersione del calore e dell'umidità, fattori che possono aggravare il rischio di insorgenza di piaghe.

1.1.4 Ricerca della postura ottimale

Prima di approdare all'approfondimento sull'ausilio carrozzina, alla descrizione delle componenti e delle caratteristiche dei sistemi di postura, dedichiamo un breve paragrafo di questo capitolo a sottolineare un aspetto chiave nel rapporto persona – ausilio. Stiamo parlando del momento esperienziale nel quale queste due entità si “conoscono”.

Il periodo della scelta e personalizzazione dell'ausilio, e implicitamente della postura idonea, è un momento molto delicato che richiede un atteggiamento positivo da parte del paziente, una scelta il più possibile vasta per quanto riguarda carrozzine e accessori, e soprattutto un operatore preparato che possa consigliare al meglio e valutare professionalmente le richieste del paziente stesso. Questo specialista si avvale di strumenti protocollari che servono a individuare più velocemente gli adattamenti macroscopici in relazioni alle condizioni del paziente, ma soprattutto della sua esperienza maturata e conoscenza dei molteplici ausili disponibili. Questi sono visionabili e in prova all'interno di ausilioteche, centri aperti a coloro che hanno bisogno di aiuto nella

scelta. Non si creda che questa sia un'attività facile e che sia possibile ottenere buoni risultati in pochi giorni: la scelta dell'ausilio ottimale passa spesso per la prova prolungata di diversi prodotti, nonché la messa a punto di sedute e schienali sempre più fatti su misura per le necessità individuali di ognuno. Questa è una scelta obbligata e necessaria se si pensa che si sta scegliendo un oggetto che accompagnerà il paziente per gran parte della sua vita.



Fig.008 La varietà di prodotti all'interno di un centro ausili

Un ulteriore aspetto importante da valutare è quello legato al costo, spesso piuttosto alto per le soluzioni più moderne e performanti, che quindi difficilmente può essere coperto totalmente dal Sistema Sanitario Nazionale; di conseguenza è necessaria la massima attenzione alla valutazione e scelta dell'ausilio ottimale in relazione alle proprie esigenze e possibilità.

1.2 L'ausilio carrozzina

La carrozzina è l'ausilio di riferimento per tutte le persone con problemi di locomozione gravi permanenti e per loro costituisce un aiuto fondamentale, un oggetto che li accompagna per la maggior parte della loro vita. Ne esistono svariati tipi, a loro volta modificabili con molteplici regolazioni, ma spesso ogni utente ha soltanto una combinazione da considerarsi ottimale per la sua condizione; pertanto è importantissimo che l'analisi e la ricerca a monte di questa soluzione siano il più efficaci possibili e si traducano con dei prodotti adeguati allo scopo. Vedremo di seguito come si è sviluppato il prodotto negli anni, sino a diventare quello che è oggi. Nei capitoli successivi vedremo chi sono gli utilizzatori, come affrontando la fase delicata di scelta e gli aspetti economici legati all'acquisto dell'ausilio.

1.2.1 Cenni storici

Per molto della sua storia, la carrozzina è stata motivo di segregazione piuttosto che di integrazione: in passato coloro che erano affetti da una disabilità erano anche caratterizzati dalla dipendenza, spesse volte imposta dagli altri più che obbligata dalla condizione in sé. Per questo motivo il progresso nel design delle carrozzine è stato sempre molto lento: la quasi totalità degli ausili tuttora in uso sono stati disegnati solo negli ultimi 20 - 25 anni,

mentre la carrozzina, intesa come oggetto che permette mobilità in posizione seduta, è stata sviluppata nei primi anni del XVIII secolo.



Fig.009 Carrozzina antica ottenuta da poltrona

Dapprima venivano costruite in modo simile alle poltrone, erano ornate e pesanti, difficili da manovrare e consentivano una minima indipendenza.

La Seconda Guerra mondiale ci ha lasciato intere legioni di uomini e donne con disabilità: ai reduci americani venivano consegnate carrozzine "moderne" del peso di circa 22 - 23 Kg, costruite quasi interamente in canne indiane, che praticamente negavano qualsiasi possibilità di indipendenza nel movimento.



Fig.010 Soldati inglesi feriti celebrano la fine della guerra

La nascita della carrozzina moderna viene attribuita a Herbert Everest, assieme al suo amico e collega ingegnere minerario Harry Jennings, che nel 1932 inventarono la carrozzina con telaio in acciaio aeronautico e sedile pieghevole, seguendo la richiesta di Everest di una migliore autonomia (Bartolucci, 1992). Solo alla fine della guerra ad alcuni reduci vennero consegnate delle carrozzine E&J standard (marchio messo in piedi dai già citati Everest e Jennings), ma non era ancora chiaro che fosse la carrozzina a doversi adattare al paziente e non viceversa.

In questo stesso periodo Sir Ludwig Guttmann si muoveva su un altro fronte, lui ed i suoi colleghi realizzarono la prima carrozzina per

attività sportive, che venne impiegata per riabilitare un gran numero di reduci, per mezzo di un esercizio terapeutico - riabilitativo eseguito durante un'attività divertente e motivante (Cooper, 1995). Le notizie dei successi ottenuti con questa pratica si diffusero rapidamente, e gli stessi cominciarono a essere largamente adottati. Nel 1948 vennero organizzati i "Giochi" per i reduci britannici con disabilità, e nel '52 questi vennero trasformati nella prima competizione sportiva internazionale per persona in carrozzina; vi parteciparono Olanda, Germania, Svezia, Norvegia e Israele.

La guerra del Vietnam ha prodotto cambiamenti notevoli: la grande quantità di reduci in rientro dal conflitto ha contribuito al miglioramento della pratica chirurgica, permettendo ad un gran numero di persone con paraplegia e tetraplegia di sopravvivere alle ferite riportate nei combattimenti e, in seguito, di vivere più a lungo con una vita più attiva. Parallelamente anche le carrozzine sportive aumentarono in popolarità, il neologismo "Paralympics" venne coniato in occasione dei giochi olimpici del 1964 a Tokio e da allora i giochi per persone con disabilità affiancano le Olimpiadi dei normodotati (Cooper, 1995).

Queste condizioni hanno portato nel corso del ventesimo secolo ad un graduale miglioramento tecnologico della carrozzina, sia manuale che elettrica; quelle manuali sono diventate più leggere, meno ingombranti e più funzionali, quelle motorizzate vengono attualmente realizzate con delle basi polifunzionali con motore, sulle quali applicare un sistema di postura.



Fig.011 Carrozzina in uso negli anni '70

Ad oggi la carrozzina è un ausilio di grande valore: può migliorare davvero moltissimo la vita delle persone con disabilità di locomozione gravi e permanenti, come ben sa chiunque conosca i

loro problemi. Per chi non riesce a camminare, e anche per chi è in grado di farlo per tempi e spazi inadeguati alle proprie esigenze, la carrozzina è oggi lo strumento più efficiente per dare, restituire o potenziare la possibilità di spostarsi su brevi distanze. E tale possibilità è un ingrediente fondamentale del benessere di ogni individuo.



Fig.012 Carrozzina standard moderna

Per sottolineare il continuo sviluppo tecnico e formale di un oggetto così importante per molti, mostriamo un prodotto che ha ottenuto una menzione d'onore dall'ADI (Associazione per il Disegno Industriale), per il premio Compasso d'oro 2011, uno dei massimi riconoscimenti ai quali si può aspirare come progettisti.



Fig.013 Modello B-Free, menzione d'onore Compasso d'Oro 2011

1.2.2 Tipologie

Tra le diverse tipologie di carrozzina è possibile individuare tre macrogruppi di appartenenza, che accomunano molti modelli diversi fra loro in base alla modalità di propulsione. Il primo e più diffuso gruppo è quello delle carrozzine manuali, mosse dall'occupante stesso attraverso le braccia. Il secondo gruppo è quello delle

carrozzine da trasposto: ausili sospinti e guidati da un accompagnatore, molto diffuse in passato quando ancora si dava per scontata la non autonomia dell'occupante. Oggi le possiamo ancora trovare in strutture ospedaliere e case di riposo. Il terzo grande gruppo, diversificato per modalità di propulsione, è quello delle carrozzine elettriche, anche queste in rapida diffusione, segno che anche disabilità motorie gravi non si traducono per forza in perdita di autonomia.



Fig.014 Carrozzina elettrica moderna

Al primo gruppo appartengono anche la grande varietà di carrozzine sportive, o più propriamente sistemi di locomozione, in quanto alcuni di essi condividano ben poco con la struttura di una carrozzina tradizionale. Dalle meno esasperate carrozzine con scampanatura delle ruote, per pallacanestro e tennis ad esempio, alle velocissime

handbike che possono considerarsi l'equivalente di una bicicletta da corsa per chi ha deficit o paralisi agli arti inferiori e arti superiori in buona condizione.



Fig.015 Handbike per percorso sterrato

Altri tipi di carrozzine appartenenti al primo gruppo sono la carrozzina a manovella, quella a mancorrente su ruote anteriori e quella a leva; si tratta di tipologie per lo più soppiantate delle nuove generazioni, esempi di ausili che offrono qualche vantaggio rispetto alla classica carrozzina ad auto spinta con mancorrente, ma contemporaneamente altri svantaggi, che il mercato e gli utenti stessi hanno considerato negli anni evidentemente inaccettabili. La prima è una carrozzina con singola ruota sterzante anteriore e un sistema a propulsione azionato da un'unica manovella rotante. La carrozzina con mancorrenti su ruote grandi anteriori anche se comoda nel limitare rischi di ribaltamento all'indietro, rende più rischioso qualsiasi discesa da ostacolo o piccolo gradino. Infine, la

carrozzina a leva: la forza basculante impressa ad una leva genera la propulsione del mezzo.

Nel prossimo paragrafo verrà esaminata la struttura della carrozzina ad auto spinta con mancorrenti su ruote grandi posteriori, largamente più diffusa e in sempre maggior espansione.

1.2.3 Struttura

La struttura della carrozzina è suddivisibile in tre sistemi funzionali: il telaio, il sistema di postura e il sistema di guida. Ognuno di questi gruppi conta al suo interno un apparato o accessorio, o meglio un insieme di essi, utile a svolgere una funzione specifica.

Il telaio è la struttura che sorregge e tiene insieme le altre componenti della carrozzina. Solitamente è possibile individuare due fiancate e due distanziali, gli elementi che collegano queste ultime, come elementi principali di un telaio. Ovvero due parti rigide laterali che possono essere regolate in distanza l'una dall'altra con una certa libertà, a seconda delle esigenze. Esiste, come si può facilmente immaginare, una innumerevole quantità di proposte, che differiscono in tipologia, materiale, tecnica di produzione e dimensioni. Esistono telai rigidi e telai pieghevoli. Sebbene questi ultimi avessero visto una buona diffusione fino a pochi anni fa, ora sono lentamente abbandonati in favore dei primi; ciò è dovuto alla rivalutazione delle qualità posturali che la carrozzina rigida offre rispetto a quella pieghevole.



Fig.016 Telaio rigido con schienale collassabile

Le parti della seduta e dello schienale in tessuto, prerogativa della carrozzina pieghevole, si sono dimostrate a lungo andare poco performanti per la qualità di seduta che si può ottenere e soprattutto mantenere nel tempo. Essi infatti tendono a essere cedevoli e possono causare l'aggravarsi di problemi posturali quasi sempre già presenti in coloro che la utilizzano, portando facilmente all'acutizzarsi di innaturali incurvamenti della colonna vertebrale. E'

evidente che le carrozzine pieghevoli siano più comode nel trasporto, anche se, messe a confronto con alcuni modelli rigidi con schienale collassabile, il *gap* si riduce; comunque a questo vantaggio è da preferire una migliore qualità della postura, della quale abbiamo visto i benefici nel capitolo dedicato ad essa.

Possiamo quindi sintetizzare con i seguenti punti i vantaggi di un telaio rigido rispetto a uno flessibile:

_ dal punto di vista statico è più robusto, grazie all'assenza di parti in movimentazione reciproca.

_ facilita la trasformazione dello sforzo della spinta in reale propulsione: in altre parole c'è una miglior efficienza e quindi un più alto rendimento.

_ meno parti pieghevoli significa meno possibilità di rotture da usura nell'impiego continuo del mezzo.

Non bisogna poi dimenticare che sebbene il telaio pieghevole sia collassabile in pochi secondi, anche quello rigido si riduce d'ingombro per essere comodamente caricato in auto senza aiuto da parte di terzi. Esso si piega in avanti una volta rimosso il cuscino, sino ad arrivare ad aderire alla base della seduta, è poi possibile rimuovere le ruote con la semplice pressione sul mozzo e infine, nella maggior parte delle carrozzine, è possibile la separazione delle

spondine del telaio, togliendo ancora alcuni centimetri all'ingombro totale in modalità piegata.



Fig.017 Telaio pieghevole moderno

Altri accessori facoltativi che solitamente non sono compresi in una dotazione base:

_ il cuscinetto è un piccolo elemento imbottito con la funzione di mantenere la distanza fra le cosce. Risulta molto utile per evitare

che le gambe sbandierino trascinando il bacino in rotazione e causando quindi una continua perdita di appoggio bilanciato.

_ le guide per bacino e cosce sono sponde da applicarsi lateralmente e impediscono al bacino uno spostamento trasversale. Sono anche disponibili spondine da fissarsi allo schienale che avvolgono la schiena e limitano spostamenti laterali della stessa.

_ l'appoggiatesta che contiene il capo in maniera più o meno avvolgente a seconda delle necessità, che si applica ovviamente allo schienale.



Fig.018 Poggiatesta non integrato allo schienale

Le carrozzine possono poi differenziarsi per dimensione. Ecco quali sono le misure della carrozzina che hanno rilievo per le proprie possibilità di accesso:

_ la larghezza totale è la distanza tra le parti più esterne, solitamente i mancorrenti della carrozzina;

_ la lunghezza totale è la distanza fra punto estremo anteriore (dell'appoggiapiedi) e punto estremo posteriore (differente da modello a modello, può trovarsi sulle ruote sullo schienale o sui sistemi antiribaltamento);

_ l'altezza totale si calcola da terra al punto più elevato dello schienale o, se presente, del poggiatesta;

_ l'altezza di minimo ingombro è la misura che va da terra alla parte più elevata delle spondine; è utile per determinare la possibilità di accesso sotto tavoli, lavandini ecc.;

_ il raggio di rotazione minimo è il raggio più piccolo entro il quale la carrozzina è capace di ruotare di 360°;

Il sistema di guida, infine, comprende tutti gli elementi implicati nella locomozione del mezzo:

_ le ruote, diversificate per diametro, tipo di copertura, intelaiatura e innesto al telaio, vengono dimensionate seguendo lo standard in pollici e sono tipicamente da 24", si trovano anche da 22" o 26";

_ le rotelle sono le ruote piccole pivotanti, ovvero libere di ruotare in qualunque direzione, disponibili da un minimo di 4" a 10";

_ i mancorrenti sono i tubi circolari applicati al cerchio della ruota sui quali si applica la forza di spinta per la locomozione, attualmente i migliori sono in titanio, per la leggerezza, resistenza e la facoltà di rimanere a temperature accettabili ove acciaio e alluminio si arroventerebbero;

_ i freni, contrariamente a quanto si possa pensare, sono soltanto per lo stazionamento: servono a impedire che la carrozzina cominci a spostarsi non volutamente, ma non possono essere utilizzati per decelerare il mezzo, operazione da effettuarsi esclusivamente manualmente sui mancorrenti;

_ le manopole di spinta, utili per facilitare alcuni spostamenti quando aiutati da un accompagnatore, che sono situati nella parte posteriore alta dello schienale.



Fig. 019 Rotelline anteriori personalizzabili chiamati "caster"

1.2.4 Utilizzatori

Le persone che hanno a che fare con la carrozzina sono coloro che hanno subito traumi alla colonna o che sono affette da malattie degenerative, in ogni caso individui che sono obbligati a un rapporto strettissimo con questo prodotto se vogliono aumentare la propria autonomia. Si elencano brevemente le patologie principali che spesso richiedono l'uso della carrozzina a chi ne è affetto sintetizzando le informazioni disponibili dal portale *arms-spinersurgery.com*. Si propone questo elenco per mostrare come possano essere eterogenee le cause che costringono in questa particolare condizione. La più comune dipende dai traumi della colonna vertebrale, che portano alla lesione della stessa e saranno analizzate approfonditamente nel capitolo 1.4, in relazione al caso studio preso in esame.

Sclerosi multipla

La sclerosi multipla (SM), chiamata anche sclerosi a placche, è una malattia infiammatoria cronica demielinizzante, a patogenesi autoimmune, che colpisce il sistema nervoso centrale (cervello e midollo spinale).

La grande variabilità dei sintomi che la caratterizzano è conseguenza di un processo di degenerazione della mielina, da cui il termine *demyelinizzante*. La mielina costituisce la guaina che riveste parte del corpo dei neuroni permettendo la trasmissione rapida e integra degli

impulsi nervosi. Se in uno stato di normalità le informazioni nelle fibre nervose sono trasmesse a 100 m/s, in un individuo affetto dalla sclerosi multipla la velocità scende gradualmente a 5 m/s. Nel corso della malattia la distruzione delle guaine mieliniche causa il blocco o rallentamento degli impulsi che vanno dal sistema nervoso centrale verso le diverse parti del corpo e viceversa. Le aree in cui la mielina è stata danneggiata vengono anche dette placche; da ciò deriva l'appellativo *sclerosi a placche*.

Tubercolosi vertebrale

La tubercolosi è una malattia contagiosa che si trasmette per via aerea mediante un batterio. Il contagio può avvenire per trasmissione da un individuo malato, tramite saliva, starnuto o colpo di tosse. Per trasmettere l'infezione bastano pochissimi bacilli anche se non necessariamente tutte le persone contagiate dai batteri della Tb si ammalano subito. Il sistema immunitario, infatti, può far fronte all'infezione e il batterio può rimanere quiescente per anni, pronto a sviluppare la malattia al primo abbassamento delle difese. Si calcola che solo il 10-15% delle persone infettate dal batterio sviluppa la malattia nel corso della sua vita. Un individuo malato, però, se non è sottoposto a cure adeguate può infettare, nell'arco di un anno, una media di 10-15 persone.

La tubercolosi attacca comunemente i polmoni (la tubercolosi polmonare), ma può anche interessare l'intestino, il sistema nervoso centrale, il sistema linfatico, l'apparato circolatorio, l'apparato

genito-urinario, le ossa, le articolazioni e persino la pelle. Nonostante sia una malattia prevenibile e curabile, la tubercolosi costituisce oggi una delle emergenze sanitarie più drammatiche, tanto da essere stata dichiarata emergenza globale nel 1993 dall'Oms per l'enorme carico sanitario, economico e sociale che la accompagna. La Tb è infatti ancora trattata con strumenti diagnostici e farmaci di vecchia concezione, mentre una diagnosi precoce e l'uso di trattamenti adeguati e innovativi potrebbe incidere significativamente sulla riduzione della malattia.

Poliomelite

La poliomielite è una grave malattia infettiva a carico del sistema nervoso centrale che colpisce soprattutto i neuroni motori del midollo spinale. La malattia è causata da tre tipi di polio-virus, che invadono il sistema nervoso nel giro di poche ore, distruggendo le cellule neurali colpite e causando una paralisi che può diventare, nei casi più gravi, totale. In generale, la polio ha effetti più devastanti sui muscoli delle gambe che su quelli della braccia. Le gambe perdono tono muscolare e diventano flaccide, una condizione nota come paralisi flaccida. In casi di infezione estesa a tutti gli arti, il malato può diventare tetraplegico. Nella forma più grave, quella bulbare, il virus paralizza i muscoli innervati dai nervi craniali, riducendo la capacità respiratoria, di ingestione e di parola. In questo caso, è necessario supportare il malato con ausili nella respirazione.

Le malformazioni congenite

La spina bifida è una malformazione o difetto neonatale dovuto alla chiusura incompleta di una o più vertebre, risultante in una malformazione del midollo spinale. È la malformazione più frequente del sistema nervoso centrale.

La prevalenza della malattia è di circa uno su 8000 neonati, ma varia molto da paese a paese. Le abitudini alimentari possono influire sulla prevalenza: la somministrazione di acido folico alle donne prima del concepimento e per le prime 7 settimane di gravidanza riduce la prevalenza del 60%. La spina bifida aperta, è incompatibile con la vita ed è caratterizzata da assenza di cute, archi vertebrali, meningi ed esposizione del tubo neurale. Altrimenti si può avere, in ordine di gravità, il mielocelo (cisti dorsale mediana ricoperta di cute e contenente il midollo malformato mancante di dura madre e archi vertebrali), il meningocele (cisti dorsale mediana ricoperta di cute e meningi contenente liquor, il midollo è in sede, mancano gli archi vertebrali), spina bifida occulta (archi vertebrali fessurati con midollo e meningi normali, cute con ipertricosi, angiomi, alterazioni della pigmentazione).

1.2.5 Scelta

Sono diversi gli elementi da tenere in considerazione per la giusta scelta dell'ausilio carrozzina, tra i molti i più importanti sono: le qualità motorie dell'utente; l'andamento della patologia che ha reso

necessario l'ausilio; l'età del soggetto; le dimensioni ed eventuali deformità; lo stile di vita; gli ambienti in cui viene utilizzata la carrozzina; i gusti estetici. Queste considerazioni è importante siano fatte contemporaneamente alla prova pratica dell'ausilio, che è sempre il modo migliore per avvicinarsi alla scelta più adeguata.



Fig.020 Valutazione clinica dell'ausilio

La prima carrozzina fornita all'utente, al momento della dimissione dal reparto di riabilitazione, spesso non è lo strumento ideale per il paziente perché egli deve ancora imparare a rapportarsi con sé stesso e con le difficoltà dell'ambiente esterno all'ospedale. La seconda carrozzina che col tempo il paziente adotterà sarà sicuramente più rispondente alle sue necessità quotidiane e

presenterà caratteristiche diverse, anche in funzione del modificarsi del quadro patologico.

Quando le esigenze di posizionamento sono particolarmente complesse, soprattutto quando è necessario accomodare delle deformità fisse molto pronunciate, può essere opportuno scegliere di montare su una base di serie (telaio + sistema di guida) un sistema di postura modellabile, realizzato cioè su misura per lo specifico utente. Il limite di tali sistemi è quello di una non ottimale adattabilità nel tempo alle possibili variazioni di assetto eventualmente necessarie per rispondere alle mutabili condizioni del paziente.

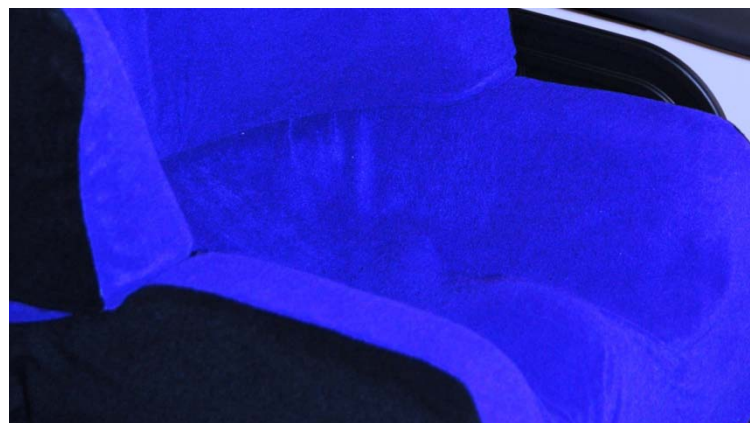


Fig.021 Sistema di postura customizzato

1.2.6 Gli ausili nel SSN italiano

La carrozzina, come tutti gli altri ausili, protesi e ortesi, nel nostro paese viene fornita dal Servizio sanitario nazionale, entro un certo valore economico, ma quali sono le modalità che regolano l'accesso a questo bene?

La legislazione vigente in merito è il Decreto Ministeriale n. 332 del 27 Agosto 1999, e regola i modi e i tempi di accesso ai beni, gli aventi diritto, le professionalità che hanno un ruolo nella procedura e i valori economici massimi di ogni prodotto. In particolare nelle modalità di erogazione leggiamo :

_ la prescrizione dei dispositivi protesici è redatta da un medico specialista del Ssn, dipendente o convenzionato, competente per tipologia di menomazione o disabilità.

_ la prescrizione costituisce parte integrante di un programma di prevenzione, cura e riabilitazione delle lesioni o loro esiti che, singolarmente, per concorso o coesistenza, determinano la menomazione o disabilità. A tal fine, la prima prescrizione di un dispositivo protesico deve comprendere:

_ una diagnosi circostanziata, che scaturisca da una completa valutazione clinica e strumentale dell'assistito;

_ l'indicazione del dispositivo protesico, ortesico o dell'ausilio prescritto, completa del codice identificativo riportato nel

nomenclatore, e l'indicazione degli eventuali adattamenti necessari per la sua personalizzazione;

_ un programma terapeutico di utilizzo del dispositivo comprendente: il significato terapeutico e riabilitativo; le modalità, i limiti e la prevedibile durata di impiego del dispositivo; le possibili controindicazioni; le modalità di verifica del dispositivo in relazione all'andamento del programma terapeutico.

_ la prescrizione è integrata da una esauriente informazione al paziente ed eventualmente a chi lo assiste, sulle caratteristiche funzionali e terapeutiche e sulle modalità di utilizzo del dispositivo stesso.

Il comma 2 risulta il punto focale di interesse per lo sviluppo che avrà questo studio. All'interno del testo di legge è possibile trovare un approfondimento sulle questioni relative alla personalizzazione dei prodotti:

Metodologia per la costruzione e applicazione delle prestazioni sanitarie protesiche e ortopediche.

Il D.M. 14-9-94 N. 665 individua la figura professionale del tecnico ortopedico con il seguente profilo: il tecnico ortopedico è l'operatore sanitario che, in possesso del diploma universitario abilitante, su prescrizione medica e successivo collaudo, opera la

costruzione e/o adattamento, applicazione e fornitura di protesi, ortesi e di ausili sostitutivi, correttivi e di sostegno dell'apparato locomotore, di natura funzionale ed estetica, di tipo meccanico o che utilizzano l'energia esterna o energia mista corporea ed esterna, mediante rilevamento diretto sul paziente di misure e modelli. I dispositivi ortopedici riportati nell'elenco n. 1 sono applicati e forniti alla persona disabile dal tecnico ortopedico. Con riferimento alla direttiva 93/42 CEE i dispositivi sono classificati in:

_ Dispositivi su misura: ovvero quelli costruiti singolarmente sulla base della prescrizione medica per essere applicati ed utilizzati solo da un determinato paziente, secondo metodi che prevedono sempre la rilevazione di grafici, misure e/o calchi anche quando nella lavorazione sono utilizzate parti o componenti di serie;

_ Dispositivi in serie predisposti: ovvero quelli con caratteristiche polifunzionali costruiti con metodi di fabbricazione continua o in serie, che comunque necessitano di essere individuati e personalizzati tramite modifiche, successivamente adattati secondo la prescrizione del medico, per soddisfare una esigenza specifica del paziente cui sono destinati.

Con riferimento alla norma ISO 8549-1, la costruzione di un dispositivo su misura o in serie predisposto avviene attraverso le seguenti fasi di lavorazione:

Fase 1

_ Valutazione esigenze funzionali dell'ausilio prescritto dallo specialista. Definizione delle condizioni generali di salute, professionali e sociali del paziente, da parte di coloro che saranno preposti alla cura e da parte del tecnico ortopedico in merito alla scelta dei componenti. Procedure in merito alla scelta dei componenti e loro applicazioni che si conformino al meglio alle condizioni reali del paziente.

_ Analisi di rischio di utilizzo. Sulla base delle esigenze funzionali e facendo riferimento alle caratteristiche tecniche dei materiali e dei componenti che andranno a costituire l'ausilio, il tecnico opera le scelte sulla base delle indicazioni della normativa 93/42 CEE.

Fase 2

_ Progettazione. Definizione delle caratteristiche costruttive di ogni singola parte dell'ausilio, stesura della scheda progetto, individuazione dei codici di riferimento al nomenclatore tariffario e compilazione del preventivo.

_ Rilevamento misure e calco negativo. Acquisizione e registrazione di tutte le informazioni necessarie alla realizzazione di protesi ed ortesi, quali la preparazione di diagrammi, grafici, misurazioni e calchi negativi delle parti del corpo interessate. In particolare per una migliore realizzazione delle ortesi dell'arto inferiore si procede con la valutazione strumentale delle forze meccaniche di carico agli appoggi in fase statica e dinamica. L'acquisizione delle misure può avvenire con sistema computerizzato, sistema "CAD" (Computer aided design).

Fase 3

_ Stilizzazione e correzione del calco positivo. Procedura di modifica di un positivo ottenuto per colata di gesso in un negativo, per ottenere la forma che determina completamente o parzialmente l'aspetto finale dell'ausilio. Il calco positivo può essere realizzato mediante l'elaborazione tridimensionale dei dati inseriti nel computer e la successiva realizzazione tramite fresatrice a controllo numerico / sistema "CAM" (Computer aided manufacture).

_ Correzione del grafico. Modifica del grafico per ottenere un profilo che determini completamente o parzialmente la forma finale della protesi o dell'ortesi.

Fase 4

_ Costruzione dei componenti prodotti individualmente su calco o in base alle misure.

_ Assemblaggio e allineamento provvisorio. Assemblaggio ed allineamento a banco dei componenti di una protesi o di una ortesi conformemente alle caratteristiche definite in base ai dati acquisiti sul paziente. NOTA: allineamento. Definizione della posizione nello spazio dei diversi componenti di una protesi o di una ortesi, gli uni rispetto agli altri e rispetto al paziente.

Fase 5

_ Prove: allineamento statico. Procedura attraverso la quale l'allineamento a banco provvisorio è corretto dal tecnico ortopedico sul paziente immobile.

Fase 6

_ Prove allineamento dinamico. Procedura con la quale l'allineamento della protesi e dell'ortesi è ottimizzato tenendo conto delle osservazioni relative a tutti i movimenti del paziente.

Fase 7

_ Finitura. Operazione di produzione realizzata dopo l'allineamento dinamico per conferire all'ausilio la sua conformazione definitiva.

Fase 8

_ Redazione della fascicolazione tecnica in riferimento alla qualità del prodotto in conformità con la direttiva 93/42 CEE per i prodotti su misura vanno espletate le procedure dell'allegato VIII (a decorrere dal 15/6/98).

Fase 9

_ Verifica e consegna dell'ausilio. Procedura di verifica che conferma che l'ortesi o la protesi finita (inclusa la personalizzazione, funzionalità ed estetica) è soddisfacente. In particolare, per protesi e ortesi dell'arto

inferiore la verifica funzionale può essere integrata da strumenti di rilevazione elettronica che consentono di valutare meglio la funzionalità dell'ausilio.

_ Addestramento e spiegazione corretto utilizzo. Autonomamente o in collaborazione con altre figure professionali unite in "équipe multidisciplinare", il tecnico ortopedico addestra il disabile all'uso delle protesi, delle ortesi e altri ausili per quanto riguarda:

- 1. La tecnica per calzare l'ausilio.*
- 2. Le cautele nell'uso.*
- 3. La durata e l'alternanza dei periodi di uso nella fase iniziale per non incorrere in arrossamenti, piaghe, ecc.*
- 4. Le procedure per la pulizia.*
- 5. La periodicità degli interventi di regolazione o manutenzione ordinaria.*

Nota: L'addestramento per quanto riguarda gli obiettivi terapeutici e riabilitativi non sono a carico del tecnico ortopedico.

Come è evidente dalla descrizione delle voci, a tutt'oggi il protocollo si riferisce più che altro alla progettazione e produzione di ortesi, le procedure analoghe riguardo allo schienale sarebbero parzialmente diverse, ma in sostanza sarebbero costituite da un elenco di azioni da intraprendere affiancati dai professionisti di riferimento, che definiscano nel dettaglio le caratteristiche dell'ausilio, da un periodo di prova dello stesso, e da uno di addestramento al corretto uso, proprio come avviene qui.

Anche il valore economico dei beni forniti è classificato secondo una dettagliata tabella, si crede che sia indispensabile averle come riferimento per le successive valutazioni di costo approssimativo del prodotto. Le voci che interessano sono:

_ Carrozzina ad auto spinta con due mani sulle ruote posteriori pieghevole o a telaio rigido riducibile superleggera.

E' indicata per adulti invalidi e minori di anni 18 non deambulanti che svolgono una intensa attività esterna. Caratteristiche:

- struttura in materiali compositi (carbonio e/o kevlar) o leghe superleggere ad altissima resistenza;*
- schienale e braccioli estraibili o pieghevoli;*
- pedana unica o doppia estraibile;*
- due ruote grandi a gommatura pneumatica Ø massimo 650 mm. ad estrazione rapida con anello corrimano in alluminio o nylon e due ruote piroettanti Ø massimo 200 mm.;*
- forcelle anteriori con inclinazione regolabile;*
- sedile con larghezza tra 34 e 45 cm.;*
- peso massimo in assetto di uso kg. 13;*
- garanzia non inferiore a 24 mesi.*

valore max. 1475,05 €

_ Schienale in materiale lavabile

valore max. 35,53 €

_ Sistemi di postura modulari e su misura

Gli ausili di postura modulari personalizzabili si possono prescrivere a soggetti affetti da disabilità grave, secondaria a menomazioni motorie che determinano una importante insufficienza posturale. Gli ausili posturali sono composti da:

- base di sostegno*
- sistema posturale*

Le basi di sostegno sono strutture di supporto appositamente predisposte per sostenere il sistema posturale e gli aggiuntivi; si dividono in: base da interno o da esterno. I sistemi di postura possono essere applicati anche su un normale ausilio per la mobilità (carrozzina).

I sistemi posturali sono realizzati con elementi predisposti personalizzabili o con elementi su misura in materiale sintetico modellato su calco negativo/positivo. Si dividono in rapporto alla regione corporea:

- unità posturale per bacino*
- unità posturale per il tronco/bacino*
- unità posturale per il capo*
- unità posturale per arto superiore*
- unità posturale per arto inferiore*

_ Unità posturali

Unità posturale per bacino, costruita su misura in materiale sintetico modellato su calco negativo/positivo completo del sistema di fissaggio

alla base con elementi predisposti direttamente adattati sul paziente . I moduli e le regolazioni debbono consentire eventuali modifiche della configurazione della seduta e adeguare l'ausilio alla situazione evolutiva dell'utente.

valore max. 575,33 €

_ Unità posturale per il tronco/bacino

Composta da un sedile e uno schienale, è costruita su misura in materiale sintetico modellato su calco negativo/positivo, completo del sistema di fissaggio alla base.

c.s. con elementi predisposti direttamente adattati sul paziente. Il supporto dorsale può essere inclinabile per consentire la variazione dell'angolo di inclinazione.

valore max. 856,29 €

_ Dorso/Sacrale

I moduli e le regolazioni debbono consentire eventuali modifiche della configurazione posturale e adeguare l'ausilio alla situazione evolutiva dell'utente.

valore max. 1315,93 €

Ove il soggetto abbia bisogno di una tipologia di strumento diversa da quelle contenute nel nomenclatore può ottenere da parte dell'azienda sanitaria una contribuzione per l'acquisto, anche se è comunque necessario che lo strumento scelto sia riconducibile a quelli previsti nella lista.

Quello sulla riconducibilità è un giudizio di omogeneità funzionale compiuto dal medico specialista che effettua la prescrizione. In quest'ultimo caso l'azienda sanitaria copre la spesa di acquisto dell'ausilio fino al raggiungimento del tetto indicato dal nomenclatore tariffario in relazione allo strumento funzionalmente omogeneo.

Riconducibilità quindi non significa semplicemente richiesta di un ausilio più costoso degli altri, quanto di un prodotto diverso da quelli enunciati nel nomenclatore, che svolga comunque funzione analoga.

1.2.7 Visita all'Area ausili di Corte Roncati a Bologna

Nella ricerca delle informazioni indispensabili per una adeguata conoscenza dei problemi trattati è stata importantissima l'esperienza diretta della visita all'Area ausili di Corte Roncati a Bologna. Sono stato accompagnato dall'amico e fisioterapista Nicolò Bensi, che lavora in questo centro, alla scoperta dei servizi offerti, modalità di lavoro e prodotti disponibili.



Fig.022 Una foto del centro ausili tecnologici visitato

All'ingresso della struttura vengo accolto da Nicolò, che mi mostra la sua postazione all'interno degli uffici, un *open space* dove fisioterapisti e specialisti di ausili lavorano fianco a fianco. L'ambiente è informale e vengo subito accompagnato in un'altra stanza, un grande atrio polifunzionale; qui in un unico spazio troviamo una parte attrezzata ad auditorium per conferenze, affiancata dell'ausilioteca vera e propria, dove trovano posto, l'una accanto all'altra, numerose carrozzine, sistemi di postura, ausili per la vita quotidiana ecc.; l'esposizione è veramente molto varia, va dalle normali carrozzine manuali, a quelle motorizzate, dotate di differenti tipologie di controllo, ognuna assemblata a vari sistemi di postura e con molteplici configurazioni di assetto. In uno spazio

adiacente sono conservati un gran numero di accessori: schienali, cuscini, braccioli, spondine, poggipiedi ed elementi posturali.



Fig.023 La prova di un ausilio pensile da cucina

Nicolò mi spiega che tutto ciò è a beneficio di coloro che vengono qui proprio per trovare il tipo di ausilio più adatto a loro, non si tratta solo di ausili alla mobilità, ma anche di prodotti utili allo svolgimento di normali funzioni di vita quotidiana, sia a casa che sul posto di lavoro.

Ci accomodiamo nella zona conferenze, dove posso sistemare il mio computer e visualizzare la presentazione con il proiettore mentre attendiamo l'arrivo di tre colleghi di Nicolò: Devis Trioschi (fisioterapista, terapeuta occupazionale, laureato scienze motorie), Francesca loele (fisio) e Annalisa Zari (fisioterapista).

Una volta concluse le presentazioni procedo con l'esposizione del mio discorso, cercando di essere il più chiaro possibile nella spiegazione della mia idea di progetto, nonostante essa sia ancora in fase embrionale; per l'occasione ho preparato un prototipo molto rudimentale ma esplicito ed efficace a mostrare immediatamente il concetto di fondo. L'idea suscita interesse e le problematiche che sono alla base dell'innovazione, le carenze prestazioni in termini di traspirabilità degli schienali, soprattutto quelli personalizzati, vengono confermate; a dimostrazione di tali lacune mi vengono mostrati i prodotti più diffusi, effettivamente massicci e poco areati e altri che dovrebbero avere tra le caratteristiche quelle di buona traspirazione, di fatto poco adattabili a particolari condizioni posturali.

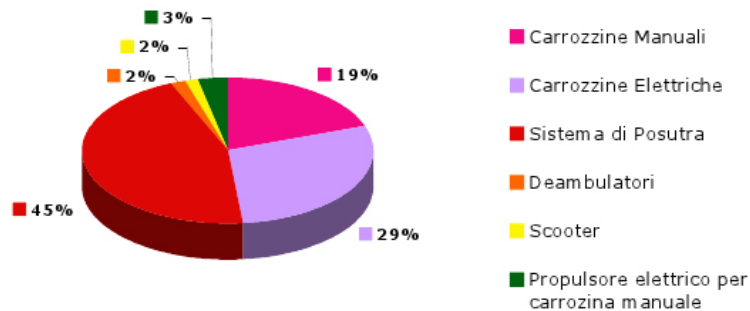
Segue un breve rito di congedo, mi spronano a proseguire con il progetto, sinceramente lieti della mia passione per problematiche spesso distanti da giovani alle prese con il progetto di tesi. Ci salutiamo e rimango nuovamente solo con Nicolò; ne approfitto per rivolgergli qualche domanda che, gli dico, mi piacerebbe inserire in modalità di intervista nella mia tesi.

Quante persone si rivolgono a questa struttura?

Solo nell'ultimo biennio abbiamo registrato quasi 700 accessi totali, circa 90 di questi erano persone con disabilità.

Di che tipo di servizio hanno bisogno?

Da uno studio recente su un campione di pazienti rivoltisi a noi, questi sono gli ausili richiesti con relative percentuali:



(Bellanti; *Aspetti della qualità di vita delle persone con disabilità: la soddisfazione rispetto ad ausili e servizi*; Tesi di laurea in fisioterapia; Facoltà di Ferrara, 2010)

Come vengono provati gli ausili?

I care giver o gli utenti contattano la segreteria che chiede loro di compilare una scheda con le informazioni preliminari. Poi gli utenti scelgono il tecnico ortopedico di riferimento. Successivamente si organizza l'incontro qui da noi nel quale si valuta l'utente e le sue

esigenze/necessità primarie e secondarie e nel quale il tecnico ortopedico porta i primi ausili da provare. Si effettuano prove e regolazioni in una o più volte, si trova la soluzione migliore e la si personalizza.

Riuscite sempre a soddisfare le esigenze?

Come risulta dallo stesso studio (Bellanti, 2010), in una scala di punteggio da 1 a 5 i risultati sono stati di 3,8 come soddisfazione media dell'ausilio e 3,9 come soddisfazione media del servizio.

Capitano spesso persone le cui condizioni richiedono una soluzione prodotta su misura?

Non sono mai state fatte indagini ad hoc a riguardo, comunque è la parte minore dei pazienti che si rivolgono a noi; solitamente si adottano soluzioni già presenti sul mercato e si personalizzano, nell'ultimo anno i casi ove fosse necessario un calco sono stati 3.

In che modo e con quali tempi si procede in questo caso?

Nel caso di un calco i tempi sono molto più lunghi rispetto a sistemi di post modulari: bisogna prendere il negativo e attendere i tempi di produzione del positivo che il tecnico ortopedico fa in officina. Dopo sono necessari almeno 5 incontri per definire il sistema di postura nei particolari.

Di tanto in tanto accade che qualcuno si lamenti delle scarse prestazioni di traspirabilità degli schienali?

Viene riferito spesso, è una delle problematiche principali degli utenti e dai care giver.

Nicolò si mostra molto disponibile, del resto io e lui siamo amici da tanti anni, e non nutro alcun dubbio a riguardo. Approfitto per parlare liberamente, come spesso faremo da qui per tutto il periodo di sviluppo del progetto, di accorgimenti su come affrontare alcune criticità specifiche, in questo caso la sua esperienza professionale maturata sul lavoro è arricchita da una esperienza personale nell'uso della carrozzina di ormai 7 anni.

Quasi immediata nasce spontanea la volontà, da parte di entrambi, di collaborare per la miglior riuscita del progetto: Nicolò accetta volentieri di essere il "caso studio" della mia tesi, quindi lo schienale verrà disegnato su misura per le sue specifiche necessità posturali e io potrò contare su un feedback valutativo autorevole, specifico e attento.

1.3 Lo schienale

Veniamo ora all'argomento centrale di questo studio, per conoscere a fondo le caratteristiche di un oggetto ai più sconosciuto, poiché ne siamo convinti, non molti hanno confidenza con la carrozzina in generale e a maggior ragione con gli schienali applicati ad esse. Prima e principale questione è quella di funzione.

Lo schienale serve per assicurare stabilità e comfort e consentire una equilibrata distribuzione degli sforzi; è opportuno utilizzare schienali che assecondino la forma dell'utente. Per le persone con scarso controllo del tronco si utilizzano in genere schienali che offrono un valido sostegno laterale, oltre che posteriore, ovviamente di

larghezza e altezza adeguate. In certi casi è anche opportuno applicare dei supporti laterali per prevenire, contenere, compensare, a volte correggere atteggiamenti viziati o deformità strutturate.



Fig.024 Lordosi, scoliosi e cifosi della colonna

Poiché l'avvolgimento offerto dallo schienale limita la mobilità, la scelta dello schienale deve tener conto delle necessità e priorità di ogni singolo utente. Per garantire il corretto posizionamento del tronco sul piano sagittale si possono utilizzare supporti sacrali o supporti lombari. I primi contrastando la rotazione del bacino all'indietro, contribuiscono a mantenere il corretto posizionamento incoraggiando la lordosi lombare; devono essere leggermente concavi per alloggiare comodamente il sacro evitando di provocare una compressione eccessiva sulla parte mediana di quest'osso e uno scivolamento avanti del bacino.



Fig.025 Supporto lombare standard

Un supporto lombare, invece, è frequentemente utilizzato per mantenere la lordosi lombare. Questo supporto non dovrebbe mai essere utilizzato da solo ma in aggiunta al supporto sacrale. Non deve essere troppo rigido e non deve esercitare una compressione eccessiva per evitare l'iperestensione del tronco e lo scivolamento in avanti del bacino. A livello dorsale, lo schienale dovrebbe avvolgere la parte posteriore e laterale del torace senza esercitare compressioni eccessive. La parte superiore non dovrebbe essere troppo rigida per consentire l'estensione del tronco e facilitare la mobilità di questo e degli arti superiori.



Fig.026 Carrozzina con classico schienale flessibile

1.3.1 Tipologie

Le carrozzine montano normalmente uno schienale flessibile, fatta eccezione per alcune carrozzine elettriche di buona qualità. Da diversi anni sono in commercio degli schienali rigidi imbottiti che si possono montare su tutte le carrozzine. Sono accessori interessanti perché molti utenti riferiscono di sentirsi meglio appoggiando la schiena ad un supporto rigido piuttosto che a un foglio di stoffa. Per questo motivo, per molte persone con lesione midollare è utile fare un confronto tra uno schienale rigido e uno flessibile, ovvero provarli

entrambi. Non è detto che l'inclinazione che va bene per quello flessibile vada bene anche per quello rigido, anzi solitamente il secondo va inclinato di più perché non patisce l'effetto cedimento proprio della stoffa.

A volte, quando la muscolatura del tronco è in gran parte paralizzata, con uno schienale rigido la persona si sente meno stabile lateralmente che con lo schienale di stoffa: manca l'abbraccio del tronco dato da uno schienale che si lascia deformare dall'appoggio del tronco. Con alcuni schienali rigidi il problema è risolvibile applicando dei sostegni laterali del tronco.



Fig.027 Schienale rigido di media altezza

Per alcuni utenti la prova non lascia dubbi, sentendosi decisamente a loro agio con uno piuttosto che con l'altro. Per altri la differenza non è granché. Secondo l'autorevole parere dell'unità spinale statunitense designata centro-guida della ricerca sugli effetti a lungo termine delle lesioni midollari (Craig Hospital di Englewood, Colorado):

"visto il notevole numero di deformità in cifosi e scoliosi che si sviluppano nel corso degli anni dopo una lesione midollare, gli operatori di diverse unità spinali pensano che sarebbe saggio cominciare ad abituare da subito a uno schienale rigido e a non risparmiare sulla quantità di sostegno posteriore o laterale fornito, nella speranza di prevenire, o almeno dilazionare e diminuire, problemi posturali futuri."



Fig.028 Schienale rigido con sostegni laterali

Questo parere è corroborato da uno studio apparso sul periodico *Physiotherapy* del Maggio 1990, del quale viene riportato un passo estrapolato dalle conclusioni post sperimentazione:

"The posture study has shown that it is difficult to maintain the lordosis necessary for good posture while seated in the conventional wheelchair. Subjects adopted acceptable postures in both the chamfered and hard-based seats and while it was felt that both were more comfortable than the unmodified seat, the hard-based seat was preferred." (Michele Harms, 1990).

Lo studio verteva sul sedile, ma può essere ugualmente di supporto al parere diffuso dei fisioterapisti che operano in questo campo. In maniera analoga alla seduta, infatti, lo schienale flessibile che equipaggia comunemente le carrozzine (soprattutto pieghevoli) provoca una forte flessione del rachide lombare, che arriva ad assumere una posizione cifotica. Dalla cifosi lombare derivano due conseguenze posturali negative:

_ il bacino si estende sulla coscia, ovvero ruota in retroversione, portando all'appoggio della zona del coccige (molto poco attrezzata a sopportare la pressione); all' aumentare sensibilmente la pressione sulle tuberosità ischiatiche; a facilitare il manifestarsi di sinergie estensorie.

_ la parte superiore del tronco si inclina in avanti obbligando la colonna cervicale a stare costantemente estesa per poter mantenere il capo eretto, e ostacolando la mobilità prossimale degli arti superiori. Infine la cifosi lombare di per sé comporta un aumento dei carichi sui dischi, un costante stiramento e sforzo in tensione delle formazioni muscolo-legamentose posteriori, condiziona negativamente la ventilazione, opponendosi all'espansione della gabbia toracica, e la digestione, provocando una compressione del contenuto addominale.

E' quindi evidente come la prima qualità dalla quale non si può prescindere nella progettazione di uno schienale sia la sua rigidità strutturale. Essa va parallelamente accompagnata da un comfort al contatto che negli ausili attuali è ottenuto mediante schiumati. Questo binomio, supporto dello schienale rigido e rivestimento imbottito, è prerogativa della quasi totalità dei prodotti presenti oggi sul mercato.

La presenza dello strato schiumato è importante non solo per il comfort che ne deriva (per gli individui provvisti di sensibilità a quel livello della schiena) ma anche per l'assorbimento delle vibrazioni e micro-vibrazioni create durante la mobilità. Questo aspetto è stato messo in luce da uno studio, ancora statunitense del 2008 (Di Giovine et al., 2008).

D'altra parte però queste soluzioni sono sì personalizzate, efficaci e confortevoli per quanto riguarda la postura, ma assai meno per quel che riguarda la traspirazione e la leggerezza dell'ausilio nella sua totalità. Gli schienali rigidi sono solitamente assai più pesanti di quelli in tessuto e sicuramente meno traspiranti a contatto con la schiena. Questo problema è tutt'altro che da considerarsi marginale, e seppur le qualità di base prerogative degli schienali rigidi non siano da mettere in discussione, c'è chi si è già impegnato nel tentativo di progettare uno schienale che accorpasse le qualità dell'uno e dell'altro:

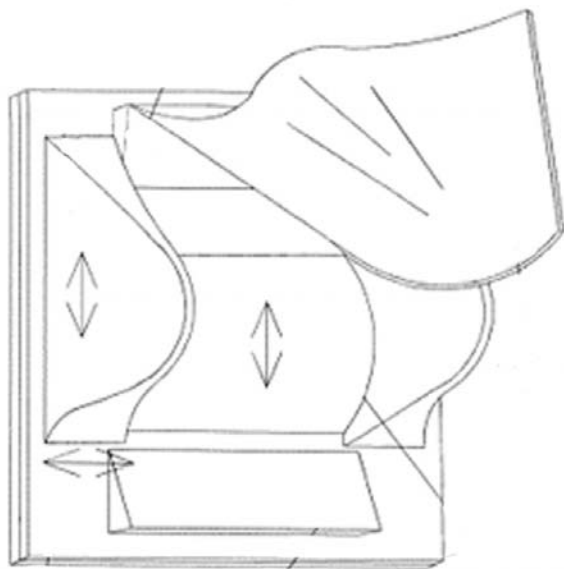


Fig.029 Schema dello schienale progettato nello studio di Parent F.

"A new flexible contour backrest for wheelchairs was designed with the objectives of offering adequate posture, uniform pressure distribution, and comfort to the users while keeping the advantages of conventional sling backrests, such as easy to fold, light weight, unobtrusive, and airy". (Parent F, 2000).

Per quanto riguarda la traspirazione cutanea, da sottovalutare sono la sudorazione e la frizione continuativa sui tessuti dell'epidermide che favoriscono l'insorgere di arrossamenti, infezioni o piaghe. Queste ultime, particolarmente pericolose, possono portare addirittura alla necrosi cutanea.



Fig.030 Cuscino a camere d'aria anti decubito

Le piaghe da decubito sono problematiche tipicamente legate alla seduta, poiché è quello il punto di maggior pressione che il corpo esercita sulla carrozzina, ma non si deve dimenticare che anche la schiena è la seconda parte del corpo più esposta a tale rischio. La soluzione universale per contrastare l'insorgere delle piaghe è la distribuzione di pressione sulla massima superficie disponibile, risultato ottenibile per lo più con l'utilizzo di materiali con caratteristiche visco-elasto-plastiche. Ad oggi essi possono essere impiegati in cuscini a camera d'aria, o cuscini composti da schiumati a memoria di forma o preformati, o ancora composti da sacche di gel. Tutte soluzioni che non consentono una buona dispersione di umidità e calore, fattori aggravanti il rischio di sviluppo di ulcere.

1.3.2 Regolazioni

Altezza

L'altezza dello schienale incide sulla stabilità e il comfort dell'utente e sulla libertà di movimento del tronco e degli arti superiori. Se il margine superiore dello schienale supera l'altezza dell'angolo inferiore della scapola (schienale alto), cosa peraltro scontata nei sistemi di postura adottati per pazienti con scarso controllo neuromuscolare, ne risentono la funzionalità degli arti superiori e del tronco; se non supera questo livello (schienale basso), ne risente la stabilità del tronco. L'altezza ideale è quella che permette di conciliare le esigenze di funzionalità con quelle di stabilità e comfort.

Larghezza

Uno schienale troppo largo limita i movimenti degli arti superiori e costringe l'utente in carrozzina a inclinarsi di lato o ad abdure le braccia per spingere sui mancorrenti; questo influisce negativamente sull'efficienza della spinta e provoca fatica e dolori mio articolari. La difficoltà a portare le braccia in estensione al di dietro del tronco può inoltre limitare l'escursione toracica e la ventilazione. Uno schienale troppo stretto offre scarso sostegno e contenimento.

Inclinazione

Una lieve inclinazione all'indietro (reclinazione) dello schienale (10° circa tra piano dello schienale e verticale) consente per lo più al soggetto di appoggiarvi comodamente la schiena senza sentirsi cadere in avanti, senza dover attivare i muscoli estensori delle anche e del rachide lombare per mantenere l'equilibrio di questi segmenti (in questa posizione la linea di gravità della massa gravante sopra le anche passa dietro l'asse trasverso di queste articolazioni) e senza dover piegare eccessivamente la colonna per poter guardare in avanti. Lo schienale verticale costringe spesso l'utente, specie se privo di muscoli estensori delle anche, a spostare in avanti il bacino per potersi appoggiare con sicurezza. Questo provoca una rotazione all'indietro del bacino con tutte le conseguenze che conosciamo. In alternativa, l'utente può lasciarsi cadere in avanti appoggiandosi con

gli arti superiori sulle cosce, sui braccioli o su un tavolino. Un'inclinazione all'indietro dello schienale superiore a 10° può generare affetti indesiderati quali:

- _ ostacolare la funzione degli arti superiori;
- _ costringe l'utente a ipercifotizzare il rachide dorsale e a flettere il capo per poter guardare avanti;
- _ scatenare vertigini e sensazione di cadere all'indietro;
- _ influire negativamente sullo stato attentivo.

L'inclinazione all'indietro dello schienale di una certa entità è comunque necessaria quando:

- _ il controllo muscolare del tronco è insufficiente;
- _ vi è una limitazione della flessione passiva delle anche;
- _ il soggetto presenta crisi ipotensive o disreflessiche a tronco eretto.

L'utilizzo di sistemi di postura con possibilità di regolare l'inclinazione dello schienale è in questi casi più che auspicabile.

Spesso l'inclinazione del solo schienale o del solo sedile può provocare effetti indesiderati sull'assetto posturale dell'utente. L'inclinazione all'indietro dello schienale senza una contemporanea

modificazione dell'orientamento del sedile, ad esempio, apre l'angolo sedile-schienale e tende a far scivolare il bacino verso l'avanti. L'inclinazione indietro basso del sedile, se lo schienale rimane verticale, può provocare una cifotizzazione della colonna. Per evitare questi effetti sedile e schienale devono essere regolati insieme. La modificazione dell'orientamento nello spazio di sedile e schienale senza variazione dell'angolo tra essi si può ottenere:

- _ agendo su appositi meccanismi di basculamento di cui sono provvisti alcuni sistemi di postura;
- _ regolando la posizione verticale delle ruote posteriori rispetto al telaio (nelle carrozzine ad assetto variabile la possibilità di innestare le ruote in diverse posizioni consente di regolare contemporaneamente l'angolazione di sedile e schienale. Lo spostamento in alto delle ruote ad esempio, determina una inclinazione indietro-basso del sedile e indietro-alto dello schienale.

Uno schienale troppo flessibile, come quello equipaggiato comunemente dalle carrozzine pieghevoli, favorisce l'inclinazione indietro del bacino e l'incurvamento a C del rachide. Le conseguenze di questo atteggiamento, oltre a quelle già citate, sono:

- _ riduzione della espansibilità della cassa toracica;
- _ compressione sui visceri;

- _ riduzione della mobilità sugli atri superiori;
- _ necessità di estendere la colonna cervicale per tenere il capo eretto;
- _ impossibilità di offrire una base stabile per l'applicazione di eventuali elementi accessori del sistema di postura.

Per regolare la rigidità dello schienale si può modificare la tensione dei tiranti applicati su di esso (se presenti). In alternativa, si possono montare schienali rigidi imbottiti di diversa conformazione e altezza, applicandovi eventualmente dei supporti di sostegno.

1.3.3 Prodotti in commercio

Le aziende presenti in questo mercato, per lo più americane, non hanno nei loro cataloghi molte proposte di modelli diversi, ma solo poche soluzioni conformate in due o tre dimensionamenti. Vediamo di seguito quali sono queste aziende e soprattutto quali sono i prodotti più interessanti. Si è sempre data la precedenza all'inserimento in elenco dei modelli considerati per qualche aspetto innovativi, tralasciando quelli più classici e obsoleti.

Adaptive Engineering Lab, Inc._USA
Pro-tech® Standard Backs



Excel Back System



La Adaptive Engineering Lab propone una serie di schienali, dai diversi profili ma fondamentalmente uguali dal punto di vista dei materiali. Per soddisfare le esigenze di supporto differente hanno misure di altezza diverse, sulle quali è possibile applicare "ali" laterali avvitate direttamente allo schienale. Le strisce di velcro sulla superficie permettono l'applicazione del cuscino; quest'ultimo è uno schiumato in gommapiuma piuttosto semplice, per il quale l'azienda non propone adattamenti di spessore particolari

Sunrise Medical (JAY) _USA

J3 Spine-Align



Sunrise Medical propone, attraverso il sottomarchio JAY una vasta gamma di possibilità. La più interessante risulta sicuramente lo "Spine Align System"; un supporto rigido in carbonio, in diverse misure, che fa da base per una vasta serie di spessori con forme differenti, ottenuti da materiali schiumati di diverse densità. E' possibile conformare l'appoggio a propria specifica necessità

assicurando gli spessori alla shell rigida e successivamente coprendo con la fodera.

Alu Rehab AS _Norvegia

Netti Stabil



L'azienda propone un modello di schienale in 3 diverse conformazioni che si differenziano principalmente per l'abbraccio laterale offerto: quello in foto è il modello con il supporto più ampio. Al di sotto della fodera, come visibile in foto, è possibile aggiustare il supporto lombare in altezza, permettendo una minima personalizzazione del prodotto. Il comfort in appoggio deriva in totale dalla gommapiuma largamente utilizzata. Le fodere di copertura sono in tessuto traspirante 3D.

BXL _Canada

K-Adjustable Back



Questa azienda propone come schienale customizzabile, un supporto flessibile caratterizzato dalla presenza di 5 cinghie a velcro posizionate in modo orizzontale tra i 2 tubolari. La personalizzazione avviene aggiustando il tiraggio di ogni cinghia, permettendo a diverse altezze un supporto della colonna diverso. E' ovvio come l'utilizzo di una soluzione di natura flessibile implichi l'impossibilità di creare zone più rigide verticali.

Cushmaker _USA



La Cushmaker è un'azienda che fa del prodotto su misura il proprio cavallo di battaglia. E' specializzata nella produzione di sistemi di postura (cuscino più schienale) realizzati su misura da calco. Il cuscino viene conformato adagiando il paziente su di un materiale cedevole che ne copia i volumi e le superfici della parte vengono rilevate con uno scanner laser. Successivamente il cuscino viene ricostruito con CAD e infine prodotto in poliuretano espanso.

Heart Mobility _USA

Curved back



Una azienda relativamente modesta che offre una serie di schienali dal design datato. I materiali di copertura sono curati, la parte posteriore non a contatto con la schiena del paziente è in pelle.

Invacare _USA

Top End AVJTens Back



L'azienda propone una fornita collezione di schienali e altri accessori per carrozzina connotati fortemente all'uso sportivo della stessa. Proprio per questo motivo la maggior parte degli appoggi è di tipo flessibile: nell'uso sportivo, dove la carrozzina è sottoposta a stress e

la schiena è in continua movimentazione viene meno l'aspetto della postura a profitto di quello della versatilità e robustezza. Le cinghie poste sul retro permettono comunque una minima personalizzazione nel regolare l'entità dell'affondo nello schienale.

Metalcraft Industries, Inc. _USA

Custom Foam in Place



La Metalcraft è una azienda proiettata alla customizzazione. Provvede alla fornitura dei materiali per la realizzazione di sistemi di postura in schiumati, che vengono poi assicurati ad un supporto rigido in lamiera piegata d'acciaio, traforata e fornita del corredo indispensabile per essere assicurata al telaio. Tra le altre proposte sono presenti schienali standard dalle diverse misure: il più interessante è sicuramente il deep contoured back per le generose sporgenze avvolgenti laterali in relazione alla misura ridotta dello schienale.

Motion Concepts _USA

Matrx



La Motion Concepts si caratterizza per la buona qualità formale dei suoi prodotti. Nonostante una possibilità di personalizzazione piuttosto scarsa rispetto ad altri concorrenti, cerca di colmare la carenza con una offerta varia di prodotti standard.



Come è possibile valutare dalle immagini (riferite a uno dei prodotti di miglior riuscita estetica) il profilo curvato e la linea, nel complesso, slanciata dello schienale, ne fanno un prodotto indirizzato ai giovani; l'uso di materiali tecnologicamente performanti come il carbonio ne aumentano ulteriormente la sportività, oltre che , ovviamente, garantirne miglior prestazioni rigidità/peso.

Ottobock _Germania

Fixed backrest



Il Fixed Backrest della Ottobock, azienda tedesca leader in europa, e tra le prime al mondo, fa della robustezza la sua caratteristica principale.

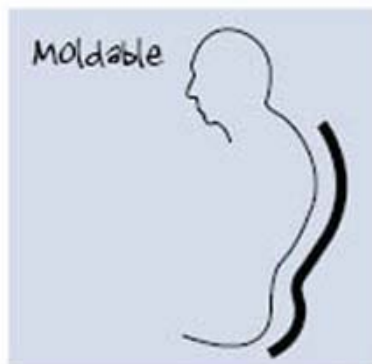
Procontour Back



Tra le proposte più sperimentali, troviamo un prodotto di qualche anno fa pensato per poter essere efficacemente adattato alle necessità del paziente. All'interno della fodera dello schienale è possibile alloggiare una serie di celle configurabili liberamente, contenenti schiumati e gel di diversa natura e densità.

The Comfort Company _USA

Acta-Back



La società propone una media varietà di prodotti, dalle caratteristiche per lo più standard. Uno di questi però, si basa su di un concept innovativo: un'anima in alluminio permette allo schienale di essere incurvato secondo le necessità del paziente. Questa soluzione dovrebbe permettere di ottenere un supporto rigido che mimò perfettamente la curvatura della colonna desiderata per la buona postura in carrozzina.

Well run technology _China

Lohas



La Well Run Technology è un'azienda cinese specializzata in supporti per la schiena da usarsi sulle sedute classiche. Tra gli altri propone anche un modello adattabile al telaio delle carrozzine. Nonostante l'azienda non sia specializzata nel settore ausili, il prodotto ha alcune caratteristiche interessanti: la scelta di separare verticalmente lo schienale in due pezzi e la totale traforatura dello stesso.

Tha ROHO Group _USA
Retroback® Back Support System



La Roho Group propone uno schienale rigido inconsueto, composto da un normale cuscino in schiumato a forma di parallelepipedo assicurato a un supporto rigido ottenuto da tondino piegato: le ali di farfalla ottenute sono sicuramente una proposta originale anche se lasciano parecchi dubbi sulla qualità posturale del prodotto. Questo modello può anche essere smontato facilmente con un semplice gesto: lo schienale viene liberato dai suoi binari e la carrozzina può essere collassata per una migliore manovrabilità.

Varilite _USA
Icon Mid-back



Icon Deep-back

La Varilite è un'altra azienda molto apprezzata sul mercato. Le proposte di schienale del suo catalogo sono formalmente accattivanti. Dettagli apprezzabili, oltre l'estetica, sono alcune soluzioni tecniche: l'uso di materiali tecnicamente performanti nelle fodere e la modalità di aggancio delle stesse alla maniglia dello schienale, ottenuta mediante foro dello stesso.

Future Mobility _USA

True Fit Back



True Fit è un prodotto che nasce per la customizzazione, sullo schienale sono presenti 56 alloggiamenti ai quali è possibile applicare cubetti di gommapiuma di diverse altezze. In pratica permette di mimare le curvature della postura ottimale desiderata.

Physipro _Francia



L'azienda propone oltre a una buona offerta di prodotti standard, il servizio di fabbricazione schienali su misura. Il processo prevede una costruzione fianco a fianco con il paziente, da parte di un tecnico specializzato dell'azienda, sino a ottenere i risultati desiderati.

Pride Mobility _USA



La soluzione più interessante dalla pride Mobility consiste in uno schienale di ampie dimensioni strutturato con doppio layer di schiuma Sensus, per un comfort eccellente e mimesi delle forme della schiena ottimali. E' possibile aggiustare lo schienale mentre l'utente è in carrozzina.

Camp_USA
Adjust Air



Come è intuibile dall'immagine, si tratta di uno schienale che al proprio interno integra un sistema di supporto lombare regolabile. Lo spessore viene aumentato agendo su di una pompetta che gonfia la camera d'aria presente all'interno dello schienale, a livello dei lombi.

1.3.4 Il prodotto "su misura"

Come abbiamo visto è possibile trovare sul mercato aziende che offrono servizi di realizzazione di schienali su misura. Per lo più vengono utilizzate schiume poliuretatiche che si adattano bene allo stampaggio da calco. Ad oggi però, ancora nessuno offre la possibilità di realizzare uno schienale partendo dai dati personali di

postura dell'individuo, utilizzando tecniche di prototipazione rapida, già in uso, invece, per altri prodotti nello stesso settore sanitario.

Le cause sono da ricercare sicuramente nella maturità non ancora piena di queste tecnologie, con costi come si è già ricordato ancora alti, soprattutto relativamente a prodotti di media/grande dimensione come può essere uno schienale per carrozzina. Aspetto ugualmente importante è quello della disponibilità dei materiali: i materiali gommosi e leggermente viscosi possono essere lavorati con tecnologie di Rapid Manufacturing ma presentano caratteristiche tecnico / prestazionali assai inferiori, con limiti di temperatura d'impiego non trascurabili quando si considerano prodotti destinati a un uso anche esterno.

Si è notato che esistono anche una serie di sistemi, messi a punto da aziende concorrenti, per cercare di standardizzare la customizzazione. In altre parole vengono resi disponibili una gran quantità di piccoli accessori che modificano a zone l'appoggio della schiena sullo schienale, sia spazialmente che dal punto di vista della risposta elastica al contatto (con schiumati più o meno rigidi, gel, e altri materiali fluido / viscosi).

Si ritiene molto stimolante, alla luce di questa ricerca di mercato, la possibilità di approcciarsi alle problematiche incontrate avvalendosi di tecnologie che ancora non hanno approdato questo settore, aprendo prospettive diverse e sicuramente interessanti.



Fig.051 Schienale regolabile per posture asimmetriche

1.3.5 Il problema della traspirazione

Alla luce della ricerca intrapresa sui prodotti disponibili ad oggi e parallelamente alle considerazioni sulle modalità di personalizzazione degli schienali, è stato constatato un fattore comune a tutti i prodotti esaminati, e in particolari a quelli più customizzabili: il problema della traspirazione. Le necessità di comfort in appoggio e soprattutto quelle di buon assetto posturale fanno passare in secondo piano i problemi di traspirazione attraverso lo schienale, tanto più se si tratta di soluzioni personalizzate dove spesso intervengono schiumati più densi o materiali fluido/viscosi. Questi problemi vengono trattati sempre successivamente, per lo più con tessuti traspiranti usati come fodera, non preliminarmente alla base, cercando una risposta soddisfacente all'interno della parte

strutturale dello schienale. E' evidente come anche il tessuto più traspirante applicato a uno schiumato ad alta densità non possa fare più di tanto per assicurare una buona areazione della schiena.

Il problema della traspirazione, d'altra parte, non è nient'affatto da sottovalutare: una delle prime cause di insorgenza di arrossamenti, e addirittura piaghe, è proprio la mancanza di una corretta e continua ventilazione della pelle, unita chiaramente ad una continua pressione dei tessuti. Questo aspetto non è marginale, dato che una persona in carrozzina può passare anche 2/3 della giornata sul suo ausilio, e in alcuni mesi dell'anno le condizioni climatiche aggravano il problema. Infine va fatto presente che molte persone in carrozzina hanno una limitata o totalmente assente sensibilità della zona dorsale, dipendentemente dal tipo di lesione. Per queste persone non è possibile avvertire fastidi dati da problematiche di poca traspirazione e sudorazione nelle aree specifiche, quindi adottare cambiamenti di posizione e sollevamento da schienale per limitarne i possibili danni.

1.4 Il caso studio

Per cimentarsi progettualmente nel disegno di un prodotto customizzato, non si può ovviamente prescindere dall'individuare un utente e ragionare sin dai primi passi rispetto le sue necessità specifiche.

In alcune sperimentazioni si adottano criteri di scelta che privilegiano un individuo con caratteristiche simili alla maggior parte dei casi, per poter estendere i risultati a un buon gruppo di fruitori potenziali. In altri casi, per ragionamento opposto, la specificità delle condizioni di un particolare paziente può essere il motivo alla base della scelta, proprio per testare un caso limite.

In questo caso il principale motivo di scelta è stata la contingenza di voler addentrarsi in questo percorso e la personale conoscenza di un potenziale fruitore dei frutti dello stesso. A rendere ancora più motivata la scelta, sono le competenze possedute dal paziente stesso in ambito medico e degli ausili.

1.4.1 L'utilizzatore

Nicolò ha 26 anni, e convive con una disabilità motoria da 7. A 19 anni è stato vittima di un incidente in moto, ormai ha imparato a convivere, se non a dominare, la paraplegia. La sua lesione midollare è a livello toracico piuttosto alto, il che non gli permette l'utilizzo dei muscoli addominali e ovviamente delle gambe.

La volontà di spirito particolarmente tenace gli ha fatto affrontare la sua condizione in modo sorprendentemente attivo, e lui può essere considerato esempio lampante di quanto in realtà questa disabilità non sia da considerarsi ostacolo invalicabile al raggiungimento dei successi personali.

In seguito all'incidente ha completato il corso di laurea in Fisioterapia presso l'Università di Bologna coi massimi voti, mentre parallelamente ha trovato nel nuoto la sua nuova vocazione sportiva.

Oggi è impiegato nell'ausilioteca regionale dell'Emilia Romagna, e il suo compito è quello di indirizzare i pazienti che necessitano di ausilio verso il prodotto più adatto a loro, attingendo sia alle competenze professionali che a quelle personali maturate da fruitore.

La sua passione per il nuoto lo ha portato negli ultimi anni sino ai livelli più alti della disciplina: Nicolò ha partecipato a molti meeting sportivi nazionali e internazionali, collezionando record, e addirittura una medaglia di bronzo agli europei del 2009 in Islanda.

Il suo stile di vita è molto attivo, tra i vari impegni professionali e sportivi e i momenti di svago, spesso rimane in casa giusto il tempo di dormire.

Si presta molto bene come paziente per il caso studio, poiché la sua necessità è quella di uno schienale personalizzato, che offra un supporto lombare più marcato rispetto agli schienali standard. Tuttavia non è un caso limite, che avrebbe potuto portare la complessità del progetto a un livello tale da essere poco gestibile per una prima sperimentazione pratica. La modifica sul suo attuale schienale consiste nell'aggiunta di uno spessore in polistirolo nella zona lombare. Le sue abitudini dinamiche rendono particolarmente

sentito il problema della traspirazione dello schienale, soprattutto durante la stagione estiva; in più il suo continuo entrare e uscire dalla piscina richiederebbe un prodotto poco sensibile a questa costante esposizione all'umidità.

Infine, cosa forse ancora più importante, la sua conoscenza tecnica e professionale degli ausili produce osservazioni progettuali mirate e rende più semplice il percorso, già ricco di insidie, di chi realizza questo studio.

1.4.2 La mielolesione

La mielolesione è una condizione clinica dovuta ad una lesione del midollo spinale che comporta una grave disabilità fisica permanente nelle persone affette, aggravata spesso dalla giovane età: sono molti i ragazzi che rimangono paralizzati a seguito di incidenti durante attività sportive più o meno estreme. Conseguenze ineluttabili sono lo sconvolgimento emotivo, finanziario, della qualità della vita dell'interessato e della propria famiglia. Esistono ovviamente diversi esiti a questo trauma che si traducono in differenti lesioni midollari e quindi anche disabilità fisiche (Bonavita, 2004). A seconda dell'altezza spinale di danneggiamento dei nervi, l'individuo può perdere progressivamente il controllo e la sensibilità delle aree corporee partendo dagli arti inferiori e salendo verso la base del collo. Questa disabilità progressiva si identifica con il codice

convenzionalmente adottato per indicare le vertebre della colonna con C 1-7 per le cervicali, T 1-12 per le toraciche, L 1-5 per le lombari e S 1-5 per le sacrali.

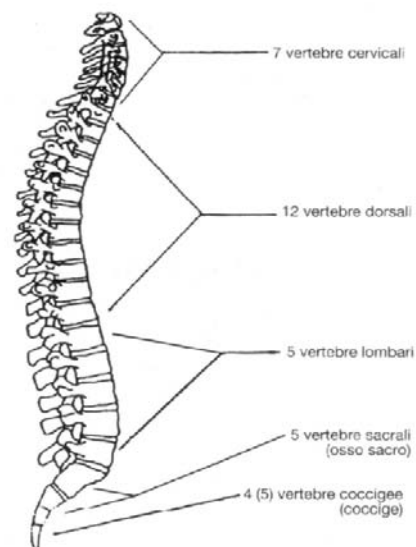


Fig.052 Nomenclatura delle vertebre

Le lesioni spinali determinano quattro gruppi eterogenei di quadri clinici:

- _ paraplegia;
- _ tetraplegia;
- _ paraparesi;
- _ tetra paresi.

Il midollo spinale è un organo segmentario e di conduzione che trasporta ai centri soprastanti informazioni somestetiche afferenti e da questi trasporta ordini motori efferenti. Pertanto, per paraplegia si intende una sindrome sensitivo-motoria con paralisi degli arti inferiori e disturbi sfinterici, mentre nella tetraplegia si aggiungono anche paralisi degli arti superiori e disturbi neurovegetativi; la paraparesi e la tetraparesi sono rispettivamente la paralisi incompleta degli arti inferiori e la paralisi incompleta dei quattro arti. Solitamente si considera tetraplegico anche chi presenta una motricità residua relativamente valida degli arti superiori ma comunque compromessa.

La tetraplegia e la tetraparesi sono conseguenze di una lesione del tratto cervicale del midollo spinale, la paraplegia e la paraparesi sono conseguenze di una lesione localizzata nel tratto dorsale o lombare. Le lesioni midollari possono quindi essere complete o incomplete.

Sindrome midollare da sezione trasversa completa

Nella fase acuta non è presente nessuna attività volontaria o riflessa sottolesionale: si tratta della fase di shock spinale. Durante questo periodo i muscoli innervati dai segmenti midollari sottostanti alla lesione sono completamente flaccidi.

Il primo segno di superamento della fase di shock spinale è dato dalla ricomparsa del riflesso bulbo-cavernoso. Fino a questo evento non si può affermare con certezza l'esistenza di una sindrome da sezione

trasversa completa. Infatti lo shock spinale che accompagna le sindromi da interruzione parziale del midollo può mascherare nella fase acuta il risparmio sacrale il quale è indice della parzialità della lesione.

Sindrome midollare da sezione trasversa incompleta

Esistono vari tipi di sindrome midollare incompleta; il quadro clinico varia in funzione dell'estensione della lesione, sia in senso trasversale che rostrale e caudale.

_ *Sindrome dei 2/3 anteriori.* Consiste in una paralisi spastica sotto il livello della lesione in quanto i fasci corticospinali che portano il controllo motorio ai motoneuroni delle corna anteriori transitano nei cordoni laterali. Risultano compromessi i fasci che veicolano la sensibilità tattile, termica e dolorifica nei cordoni antero-laterali, mentre è conservata la sensibilità vibratoria e quella stato-cinestetica, le cui vie transitano nei cordoni posteriori.

_ *Sindrome del cordone posteriore.* Consiste in una compromissione della sensibilità profonda, per cui il soggetto non è in grado di percepire la posizione dei segmenti corporei (atassia sensitiva).

_ *Sindrome di Brown-Séquard da emisezione midollare.* Consiste in una paralisi spastica distale e omilaterale che si accompagna a deficit della sensibilità profonda e ad anestesia tatto-termo-

dolorifica contro laterale.

_ *Sindrome centro midollare di Schneider.* È quasi esclusivamente localizzata in sede cervicale ed è caratterizzata da un risparmio sacrale sensitivo e da una paresi importante agli arti superiori.

È fondamentale la conoscenza del livello lesionale in quanto attraverso di essa si comprende quali metameri e mielomeri saranno compromessi dall'inattivazione anatomico-funzionale.

La determinazione del livello della lesione spinale è resa possibile dalla disposizione metamero-segmentale. Il livello lesionale motorio si ottiene stabilendo quale è il segmento midollare più caudale al quale appartengono i muscoli ancora sotto il controllo volontario.

Il livello sensitivo si ottiene testando la sensibilità dolorifica e tattile superficiale con la punta di uno spillo ed un batuffolo di ovatta.

A tutt'oggi non esistono soluzioni che consentano la guarigione da una lesione midollare. La ricerca ha tuttavia raggiunto negli ultimi anni risultati incoraggianti nel campo della rigenerazione del midollo spinale. In letteratura sono citate varie molecole che avrebbero dato qualche risultato se somministrate nelle prime ore dal trauma: tripsina, elastasi, ialuronidasi, clonidina, naloxone, TRH, monosialogangliosidi, metilprednisolone, cefalosporina. La terapia sperimentale di tipo chirurgico mirata all'ottenimento della

ricostruzione o comunque della rigenerazione del midollo si basa essenzialmente su tre tipologie di intervento:

- _ il trapianto autologo di cellule di Schwann;
- _ il trapianto di neuroblasti (con i relativi problemi di natura etica);
- _ la trasposizione dell'omento (metodica praticamente abbandonata).

I fattori conosciuti che impediscono al midollo spinale e più in generale a tutto il sistema nervoso centrale di rigenerarsi sono: la presenza di un fattore di inibizione, la presenza delle cellule gliali.

L'Unità Spinale Unipolare è il luogo dove il mieloleso viene curato durante tutto il lungo e difficile periodo della riabilitazione; è quindi una divisione ospedaliera ad altissima specializzazione la quale deve possedere caratteristiche di multidisciplinarietà in quanto il paziente spinale necessita di una équipe costituita da sanitari di varie aree:

- _ anestesiology e rianimazione;
- _ chirurgia plastica e ricostruttiva;
- _ fisioterapia;
- _ ginecologia ed ostetricia;
- _ medicina fisica e riabilitazione;
- _ medicina interna;
- _ neurochirurgia;
- _ neuro fisiopatologia;
- _ ortopedia e traumatologia;

- _ psicologia clinica e psichiatria;
- _ radiodiagnostica;
- _ terapia occupazionale;
- _ urologia, urodinamica ed andrologia.

Il percorso verso una progressiva riappropriazione delle capacità funzionali e l'accettazione della propria condizione è tutt'altro che facile e passa per diverse fasi. Non ultima quella dell'adattamento all'uso di strumenti di supporto alle diverse attività, che diventano strumenti indispensabili ad uno stile di vita il più possibile autonomo.

1.4.3 Qualche dato

Non è possibile avere dati attendibili a livello globale sulle lesioni midollari: in molti paesi censimenti di questo tipo non sono mai neanche stati tentati, e i dati che a questi si riferiscono scaturiscono da approssimazioni statistiche. Ha quindi poco senso cercare di estendere su scala mondiale i dati relativi ai paesi occidentali, in quanto le variabili intorno alla condizione di disabilità sono specifiche e differenti da paesi in via di sviluppo.

E' utile riportare, invece, dati sulla situazione statunitense, che negli anni sono sempre stati aggiornati e che hanno quindi permesso di fare valutazioni sulle tendenze del fenomeno. Al 2001 (dati esaustivi più recenti) l'incidenza annuale si aggirava intorno ai 40 casi per milione con circa 11.000 nuovi casi l'anno, e un totale approssimativo di 200.000 su tutto il territorio nazionale, per un 80% maschi. La

prima causa sono gli incidenti stradali (38,5%), seguiti da atti di violenza (24,5%) e cadute (21,8%), lesioni sportive (7,2%) e altre cause (7,9%). Questi dati sono simili alle statistiche internazionali con solo lievi variazioni. Secondo l'NSCISC (Spinal Cord Injury Statistical Center) le lesioni cervicali costituiscono il 51,6%, quello dorso-lombo-sacrali il 46,3%; recentemente il gruppo neurologico più frequente è quello dei tetraplegici incompleti (29,6%), seguito dai paraplegici completi (27,3%), dai paraplegici incompleti (20,6%) e dai tetraplegici completi (18,6%). Inoltre si constata che dopo la dimissione dai centri di cura, l'88,7% dei mielolesi rientra autonomamente nella propria casa e solo il 4,8% necessita di nursing domiciliare. Un dato interessante del 2006 riporta come l'età di infortunio sia cresciuta dal '76 di 10 anni. L'aspettativa di vita post trauma continua ad aumentare negli ultimi anni: 92% per un soggetto di 20 anni con lesione parziale rispetto a un coetaneo sano; è da considerare che la mortalità è significativamente maggiore durante il primo anno dall'infortunio. (Pilati et al.,2004)

In Italia si stima siano circa 75.000 le persone con lesione al midollo spinale, e che si verifichino più di 2000 nuovi casi ogni anno, con una percentuale che va dai 18 ai 25 casi per milione di abitanti. L'80% di queste persone sono giovani, avendo un'età compresa fra i 10 e i 40anni.

Facendo riferimento ad uno studio promosso nel 2009 dalla Faip (Federazione delle Associazioni Italiane Para-Tetraplegici), e che conferma una tendenza già riscontrata, la maggior parte delle lesioni

ha origine traumatica (65% circa). Per quanto riguarda queste ultime, la prima causa di trauma sono gli incidenti stradali al 48%, seguiti dagli infortuni sul lavoro.

Sono in aumento anche le cause non traumatiche (35% circa), fra le più frequenti: le patologie di origine neoplastica (28%) e vascolare (27%), come le neoplasie intramidollari, vertebrali o delle meningi, le malformazioni vascolari midollari.

Per ciò che riguarda il rapporto tra sessi in materia di lesioni al midollo spinale vediamo che nelle forme non traumatiche il rapporto uomo donna è molto differente rispetto alle forme traumatiche, nel primo caso è di 1 a 0,8, nel secondo si conferma quello di 4 a 1.

I dati evidenziano come la diffusione sia egualmente estesa nei due paesi, da ricordare che l'Italia è in linea con le medie europee, e che il trend principale porti verso un miglioramento netto per quanto riguarda i dati di mortalità, insorgenza di complicazioni, aspettativa di vita e condizioni generali

TAVOLA 02

CAPITOLO SECONDO

Il brief_ Schienale personalizzato traspirante

2.1 Opportunità di progetto

Come abbiamo visto i numeri sono rilevanti, andare a progettare per la disabilità, nonostante possa considerarsi una nicchia, è un esercizio orientato al beneficio di molti. Dalla raccolta di informazione, documentata nei capitoli precedenti, sono risultate più chiare, le criticità comuni a tutte le proposte di prodotto disponibili sul mercato, e due fattori più di tutti, costituiscono terreno fertile per sviluppi possibili: essi sono il livello di customizzazione e la traspirazione degli schienali.

2.1.1 Personalizzazione artigianale

L'esplorazione delle proposte di prodotto disponibili sul mercato ha evidenziato, per quanto riguarda la personalizzazione, due principali possibilità operative.

La prima e più semplice operazione è quella di appoggiarsi a soluzioni di parziale adattamento alle esigenze, sfruttando la modularità delle parti imbottite che già le aziende offrono come corredo allo schienale. Questa soluzione ha un' implicazione negativa: la maggior parte degli schienali con possibilità di adattamento offre solo alcuni elementi configurabili in poche conformazioni, mentre altri più ricchi possono essere composti in

modo complesso ma formano sempre una superficie d'appoggio discontinua. Di fatto è sempre l'utente ad adattarsi alla forma che si avvicina di più a quella ideale per le sue necessità e non viceversa.

La seconda possibilità, oggi utilizzata solo per condizioni di particolari necessità posturali, è quella di produrre un calco della postura desiderata e utilizzarlo per la realizzazione di una seduta intera (schienale e cuscino insieme) in poliuretano o materiali visco-elastici. In questo caso la riflessione è differente: assodato che la qualità posturale raggiungibile con questo sistema sia potenzialmente massima, come risolvere il problema della traspirazione che tali soluzioni impongono? E ancora: perché non ipotizzare la possibilità di una postura ottimale anche in assenza di condizioni particolarmente aggravanti, ma in qualsiasi caso, considerando che ognuno solitamente apporta parziali modifiche allo schienale standard per adattarlo alle proprie esigenze?

Nel caso particolare di Nicolò, la sua personalizzazione è costituita da una fettuccia in polistirene, nettamente troncata sui lati, posizionata sulla "shell" rigida in carbonio dello schienale, sotto l'imbottitura in gommapiuma. La speranza è quella di migliorare anche solo parzialmente la postura offrendo un appoggio totalmente fatto su misura, caratterizzato da una continuità di curvatura su tutta la superficie di contatto con la schiena.

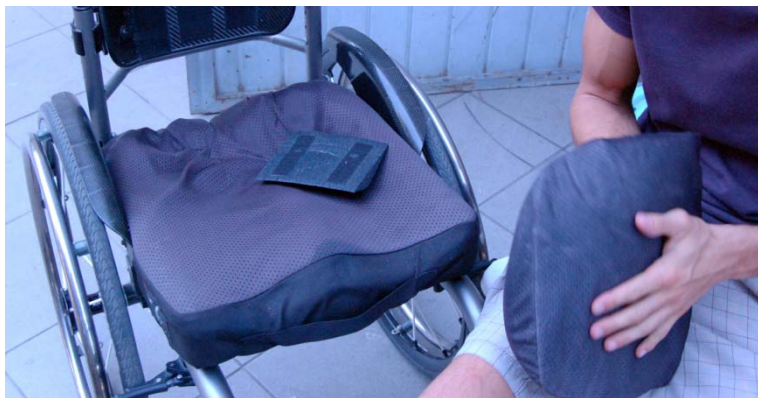


Fig.053 smontaggio del supporto lombare dello schienale di Nicolò

La postura è il fattore determinante per gli schienali da carrozzina; essa è il punto di partenza dell'esplorazione progettuale che si vuole intraprendere, ripensando a possibili soluzioni al problema soprattutto in chiave tecnologica, ipotizzando l'utilizzo di tecnologie mai sfruttate in questo settore prima d'ora.

2.1.2 Limiti degli schiumati

Alcune aziende offrono soluzioni ad hoc modellate su calchi personali conformati a partire dalla fisionomia del paziente, come abbiamo appena osservato però queste soluzioni, per la natura dei materiali impiegati, hanno sempre il punto debole di non consentire una corretta traspirazione ai tessuti cutanei.

Nei casi in cui il paziente sieda su di una unità posturale costruita dal suo calco, l'insorgenza di problemi di infiammazione, oltre che alla mancata corretta ossigenazione, può essere provocata da un

irroramento capillare cutaneo minimizzato, a causa dello schiacciamento continuo dei tessuti stessi, in questo caso più che mai immobilizzati nella posizione data.

Si sottolinea come anche questo fattore sarà considerato migliorabile, costituendo di per sé un obiettivo parallelo a quello della traspirazione. In pratica si considera la possibilità di produrre un oggetto ottimale per la propria postura, ma che allo stesso tempo stimoli in qualche modo la buona circolazione sulle aree cutanee in continuo appoggio.

2.2 Qualità desiderate

Fino ad ora abbiamo compiuto un percorso di approfondimento per capire come è attualmente composto il sistema di prodotti legato alla disabilità, la grande varietà che lo caratterizza e le regolamentazioni che rendono gli ausili accessibili. Per arrivare a questo punto è stato indispensabile partire ancora più indietro, approfondendo il significato della parola stessa "disabile": abbiamo fatto uno sforzo in più, cercando di comprendere cosa possa significare essere parzialmente dipendenti da un prodotto per ottenere l'autonomia desiderata. E' ora il momento di fissare alcuni punti cardine, maturati attraverso questo percorso; individuiamo con più precisione le caratteristiche di prodotto che possono effettivamente portare benefici nell'esperienza d'uso di uno schienale per carrozzina.

2.2.1 Customizzato

Primo aspetto considerato imprescindibile per la massima efficacia del sistema di postura, è sicuramente quello della aderenza morfologica dell'appoggio alle necessità che ha ogni persona. Come è emerso dall'analisi dei prodotti in commercio, sono possibili, tranne alcune eccezioni, soluzioni di personalizzazione che propongono una composizione dello schienale partendo da pezzi standard, composti in diverse configurazioni. Questo sistema, nonostante risultati soddisfacenti nella maggior parte dei casi, può sicuramente essere superato, in termini di qualità di postura, da un modello elaborato di volta in volta sui bisogni specifici di ogni persona.

Lo schienale proposto in questo studio è customizzato; ciò implica ovviamente, che non sarà quindi una soluzione unica, adattabile a seconda dei casi, ma un vero e proprio prodotto, elaborato morfologicamente *ad hoc* per la postura ottimale di ogni persona. Per fare ciò è chiaro che occorre abbandonare la strada della produzione seriale, almeno per quanto riguarda il *core* del prodotto, riservando la possibilità di ricorrere, ove necessario, solo ad elementi accessori prodotti industrialmente. Abbandonare questa strada è una scelta obbligata, per superare i risultati già ottenuti con i sistemi parzialmente personalizzabili in uso: si vuole ottenere un risultato senza compromessi per la qualità.

Come vedremo a breve questa scelta lascia aperte poche possibilità. Da una parte la via classica del prodotto fatto artigianalmente, con i limiti impliciti alle lavorazioni manuali, con una scarsa sistematizzazione del processo e il passaggio dalla fase produttiva sempre difficilmente gestibile e prevedibile nei risultati. Dall'altra la possibilità di ricorrere a sistemi produttivi di nuova concezione, sviluppati negli ultimi anni a partire da tecnologie di prototipazione CAM (computer Aided Manufacturing), dove la fase progettuale è completamente gestibile via software e il passaggio a quella produttiva è automatico: la macchina produce il pezzo leggendo direttamente il file elaborato virtualmente in 3D. Nel prossimo capitolo si entra nel merito, per descrivere dettagliatamente il funzionamento di queste tecnologie produttive e capirne le potenzialità.



Fig.054 Esempio di protesi dentale realizzata con tecnologia CAM

Anche se fare questa scelta per quanto riguarda gli schienali per carrozzina costituisce, una novità assoluta, non lo è per altri settori di produzione sanitaria; nel campo protesico ortopedico e odontoiatrico, per esempio, queste tecnologie sono già ampiamente usate e possiamo dire assimilate dal sistema di fornitura del prodotto. Si è infatti voluto inserire due esempi di casi studio che illustrino proprio queste realtà.

Nonostante l'invasività sia di tutt'altra entità, si considera comunque plausibile tale scelta, poiché le tecnologie di Rapid Manufacturing vanno sempre più diffondendosi e pare già evidente come in molti settori dove è necessaria la produzione di pochi pezzi, queste prenderanno il sopravvento.

2.2.2 Traspirante

E' stato già sottolineato nell'introduzione a questo capitolo che un aspetto fortemente problematico, non ancora risolto nei prodotti costruiti su misura o comunque parzialmente customizzabili, sia quello della traspirazione. Per coloro ai quali sembrasse una questione non eccessivamente rilevante, si immagini di passare in media 14/16 ore giornaliere seduti su di una sedia, appoggiati allo schienale, imbottito in gommapiuma. Potrebbe ancora sembrare un aspetto irrilevante, o comunque che non meriti una ricerca complessa; consideriamo ora la stessa possibilità durante i mesi estivi, all'aperto, in una condizione di spinta della carrozzina stessa.



Fig.055 Strato traspirante per sedile di auto

Pensiamo anche solo alle necessità analoghe di chi lavora molte ore su un sedile imbottito come gli autotrasportatori o gli autisti, loro di certo conoscono il problema, anche se la climatizzazione dell'ambiente di lavoro ha potuto diminuirne notevolmente il fastidio. La riflessione non vuole certo essere drammatica, ma crediamo possa aiutare a prendere coscienza del problema che trattiamo. Per chi non ne avesse esperienza può effettivamente essere normale minimizzarlo, poiché le gestualità che lo trasformano in un banale fastidio sono per lo più compiute automaticamente da coloro che non hanno impedimenti fisici di sorta: scostare la schiena dallo schienale, e cambiare spesso posizione sono movimenti riflessi,

gestiti quasi in autonomia dal nostro corpo senza che ce ne rendiamo conto. Ancora più sconosciuta è la condizione in cui si vada a compiere uno sforzo fisico appoggiati allo schienale di una sedia: situazione che non si verifica quasi mai nel normale uso di seduta casa / ufficio. Per chi usa la carrozzina come strumento di mobilità, questa condizione è quotidiana, e spesso spingersi in salita per una pendenza che sembra minima, può diventare motivo di accaldamento.

Il nostro punto di vista comunque viene avvalorato dalle preziose ore passate con i fisioterapisti del centro regionale ausilii Emilia Romagna a trattare l'argomento. Con loro è emerso come questo aspetto sia centrale nel progetto: il fatto di proporre una soluzione geometricamente adattata al 100 % ai singoli casi è sicuramente importantissima, ma proprio il fatto di mantenere questa caratteristica abbinandola ad una traspirabilità aumentata la rende ancora più degna di essere strada da perseguire. Con gli ultimi materiali disponibili alla mano abbiamo constatato come rigidità, customizzazione e traspirazione siano tre caratteristiche tutt'oggi incompatibili contemporaneamente in un solo prodotto.

Analizzando le possibilità a disposizione per favorire questa strada, è parso evidente che non si potesse ricorrere a nessun tipo di tessuto, almeno non integralmente, e delegare ad esso la totale gestione della traspirazione cutanea. In commercio esistono ormai materiali molto performanti, ma nessuno può mantenere caratteristiche

eccezionali se adagiato ad uno schiumato semirigido, notoriamente poco traspirante, o addirittura a materiali viscosi /gel, assolutamente non traspiranti.



Fig.056 Concetto di contatto puntiforme multiplo negli scanner per pianta del piede

La strada più idonea, compatibilmente con la scelta tecnologica di produzione, è sembrata quella della minimizzazione della superficie di contatto, attraverso una strutturazione puntiforme di appoggio allo schienale, con ovviamente una gestione ponderata della forma di questi elementi puntiformi, per avere sempre uno standard di comfort che sia il più alto possibile.

2.2.3 Rigido e leggero

Nella fase di ricerca desk, è emerso il progressivo abbandono degli schienali flessibili a favore di quelli rigidi, in modo assoluto se si considerano i soli schienali "personali" (con questo termine si intende quelli montati sulle carrozzine personali dei pazienti). La ricerca sullo stato dell'arte e ancora una volta l'intervista, non hanno

fatto che confermare ulteriormente: ad oggi per il mantenimento di una corretta postura lo schienale rigido è un “must” irrinunciabile, indubbiamente anche per il fatto che questi sono personalizzabili in numerosi modi, mentre quelli flessibili possono offrire pochi parametri gestibili.

Individuati questi punti fermi, ecco le possibilità a disposizione compatibili con le scelte precedenti. Tendenzialmente le macro scelte plausibili sono 2: uno schienale totalmente prodotto in un unico pezzo, dove il problema strutturale e quello di comfort al contatto sono risolti contemporaneamente; oppure una soluzione con doppio uso di materiale prodotto in rapid manufacturing: con un materiale rigido per il livello che supporterà i carichi e determinerà la rigidità, e con uno morbido in superficie dal contatto puntiforme, anch'esso prodotto in rapid manufacturing. Questa seconda possibilità sembra tecnicamente più semplice anche se con tempi di progettazione più lunghi: è indispensabile introdurre una fase di accoppiamento di queste due parti, senza contare la difficoltà nella progettazione di una superficie a contatto puntiforme in materiale gommoso, che collassando tende a perdere la caratteristica primaria di contatto a piccole zone. Le tecnologie di prototipazione rapida, come vedremo, non escludono la possibilità di usare materiali di partenza quali resine con prestazioni simili alla gomma, ma questi ultimi, contrariamente ai loro analoghi nati con processi classici di stampaggio, hanno caratteristiche meccaniche peggiori, in

particolar modo per quanto riguarda la massima temperatura di impiego, con tendenza alla deformazione dopo una esposizione medio lunga a temperature non eccessive, incompatibile con un uso estivo del prodotto.

L'aspetto di durabilità, di primaria importanza, in questo caso ha fatto propendere per la prima ipotesi. Nonostante la consapevolezza di una difficoltà di conformazione geometrica in questa scelta (ma allo stesso tempo anche molto stimolante), la possibilità di avere un prodotto stampato in un unico pezzo che risolva a più livelli i requisiti prestazionali desiderati, è considerata la via migliore.



Fig.057 Molla in gomma ottenuta in stereolitografia

Una volta deciso anche questo aspetto, si rimanda al capitolo sul concept, ogni successivo sviluppo del problema, poiché è in tale sede che è giusto fare le riflessioni di carattere tecnico supportate dall'ideoneo materiale scientifico. Ci si limita qui a teorizzare che tale forma sarà plausibilmente svuotata il più possibile di qualsiasi massa inutile di materiale, strutturalmente irrilevante e controproducente per la "respirazione" della schiena.

2.2.4 Confortevole

L'aspetto probabilmente più complesso dal punto di vista tecnico è come ottenere il comfort di appoggio desiderato (ovvero effetto cuscino) se il materiale di partenza è rigido? Come ottenere questo risultato, considerando anche la necessità di contatto puntiforme ma esteso sulla schiena?

La risposta in questo caso è: agendo geometricamente sulle zone di contatto, creando un effetto molla riprodotto su ognuna di esse. Meno ovvio è il percorso che porta da questa definizione teorica al raggiungimento effettivo di un buon risultato pratico.

2.2.5 Igienico

Il fattore pulizia, va di pari passo, se ci pensiamo, con quello legato alla traspirazione. In qualche modo i due possono essere considerati collegati. Nel senso che il primo, comporta automaticamente un miglioramento nel secondo. Ciò però non basta a soddisfare il requisito: è vero che la minor sudorazione porta una minor necessità

di lavaggio delle federe a contatto, questo non toglie comunque che l'operazione si debba comunque effettuare, anche se meno frequentemente.

Considerato che il materiale di rapid manufacturing sarà sicuramente sterilizzabile, è facile immaginare come l'intero schienale, possa essere lavato ad alta temperatura o con getto di vapore, ed è quindi importante assicurarsi di scegliere materiali di fodera compatibili anch'essi con lavaggi aggressivi, in modo da minimizzare gli smontaggi. Per rendere la ricerca più semplice è utile indirizzarsi fin da subito verso un ambito dove tali materiali sono già largamente usati: il settore sanitario.

TAVOLA 03

CAPITOLO TERZO

La tecnologia _ Rapid Manufacturing

3.1 Il rapid manufacturing

Si esplorano questi modi produttivi di recente concezione e diffusione e si individuano le caratteristiche che ne fanno lo strumento indicato per le finalità del progetto. Come già ricordato nell'introduzione di questo studio, l'approfondimento di ricerca *desk* compiuto proprio su queste tecnologie è stato il trampolino di lancio per lo sviluppo dell'intero progetto e non deve quindi stupire l'approccio analitico di esposizione.

Si focalizza fin da subito l'attenzione sui processi di traforazione per polimeri, poiché sono i più interessanti per questo studio, ma il panorama di possibili materiali lavorabili è assai ampio, e va sempre più allargandosi, sviluppandosi in particolare nell'uso di materiali compositi, particolarmente versatili con le logiche additive di produzione.

3.1.1 Una nuova realtà produttiva

L'aumento della competizione sul mercato globale ha spinto le grandi aziende di consumer products e non solo a cercare una strategia per accorciare i tempi del time to market e andare incontro alle richieste dei clienti. Un ritardo anche di pochi giorni può significare il fallimento commerciale e quindi il ridimensionamento del mercato a favore dei concorrenti. Per raggiungere l'obiettivo di

riduzione dei tempi di progettazione e produzione sono state implementate diverse tecnologie comunemente conosciute con il nome di Rapid Manufacturing (RM), nate in ambiente di ricerca aerospaziale. Già in tempi recenti, a solo una decina d'anni dalle prime implementazioni a livello sperimentale, le tecnologie RM hanno rivoluzionato i processi produttivi di alcune realtà industriali. Prima della messa in produzione di un prodotto solitamente occorre la valutazione di un prototipo come parte del processo: ciò permette di dimostrare e testare la bontà e la riuscita del progetto. La creazione rapida di prototipi è conosciuta come Rapid Prototyping (RP), e solitamente viene affrontata precedentemente alla produzione di qualsiasi stampo definitivo. La produzione di prototipi è un'attività che storicamente ha richiesto una notevole capacità manuale, spesso affidata ad abili artigiani, specializzati in tali lavorazioni. Questo metodo tradizionale prevedeva un modello di affinamento del prodotto attraverso la reiterazione: ovvero continuando a confrontarsi sul risultato e andandolo a migliorare *step by step*. Venivano così prodotti una serie di manufatti sempre più simili a quello che sarebbe poi stato il prodotto finale. Per molte realtà industriali questo processo è stato rivoluzionato da una relativamente recente implementazione tecnologica conosciuta come Solid Freeform Fabrication (SFF), con la quale una qualsiasi geometria può essere riprodotta in un singolo processo per aggiunta di materiale strato su strato; questi sono proprio tutti quei processi

successivamente ribattezzati con la nomenclatura di Rapid Manufacturing.

L'RM include anche la produzione rapida di strumenti e stampi necessari al produzione di massa. Ad oggi sono stati sviluppati molti metodi differenti all'interno di questa famiglia, ognuno studiato per dimensioni richieste, tempi di lavorazione, e materiale impiegato differenti, a seconda delle esigenze.

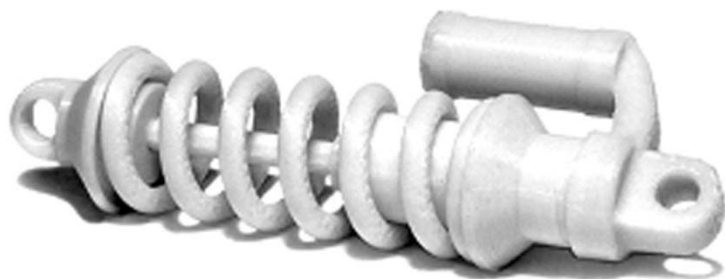


Fig.058 Esempio di parte funzionale in RP

Mano a mano che la tecnica è stata affinata, è stato possibile ottenere parti sempre più grandi e funzionalmente valide, tanto che le tecniche di layer manufacturing sono state adottate sempre più frequentemente per realizzare anche prototipi funzionali: ovvero maquette che riproducessero anche le qualità prestazionali di un prodotto e non solo quelle formali. Parallelamente è cresciuto l'impiego di queste tecniche anche per la produzione di componenti usati in produzione, pratica conosciuta come Rapid Tooling.

Per alcuni prodotti, si è trovato più economico produrre gli stessi pezzi finali con le tecniche RM, riducendo i tempi da settimane a pochi giorni. La possibilità di eliminare completamente le spese dovute a stampi e presse, nonché il vantaggio di riuscire ad andare incontro a richieste specifiche, anche di pochi pezzi, ha fatto in modo che queste tecnologia si diffondessero sempre di più. Oggi esistono alcune realtà aziendali che basano la loro capacità produttiva unicamente su processi di questo tipo, lavorando spesso su commissione, e producendo rapidamente ed economicamente soltanto a fronte di una richiesta del cliente. Ciò ha diminuito molto i rischi di grossi investimenti per prodotti che potrebbero non avere il successo desiderato.

In alcuni settori, come quello sanitario, queste tecnologie permettono di produrre prodotti completamente customizzati, con una qualità estetico/funzionale pari ai pezzi prodotti tradizionalmente (in questo caso si parla di lavoro per gran parte artigianale) e una velocità di fornitura sorprendente.

I processi di produzione per stratificazione permettono di fabbricare parti con una libertà morfologica totale, senza nessun vincolo, offrendo ai designers l'opportunità di progettare senza dover ragionare in termini di angoli di sformo e sottosquadri, problematiche tipiche che si incontrano quando si progetta per prodotti a produzione tradizionale.

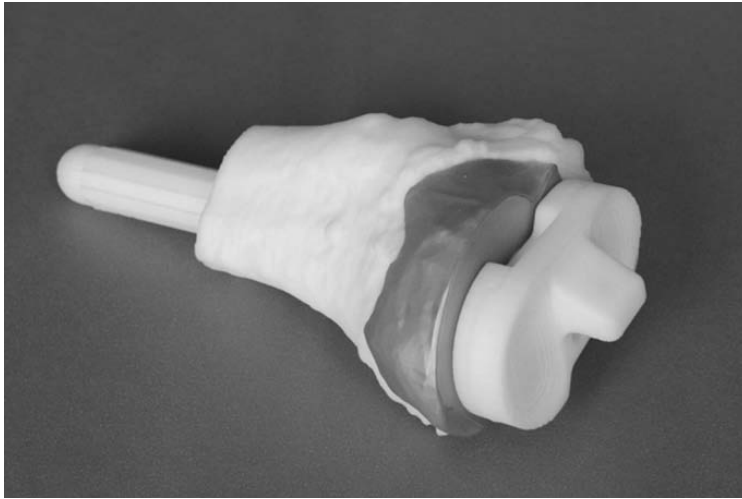


Fig.059 Protesi ossea prodotta in sinterizzazione

Un altro importante vantaggio è che questi macchinari utilizzano lo stesso linguaggio dei software per il Computer Aided Design (CAD), strumenti già da tempo utilizzati per la progettazione dei prodotti; tutto ciò favorisce un processo fluido e continuo dall'ideazione progettazione, test e produzione dei prodotti. Senza considerare il vantaggio non banale di poter lavorare a un progetto dall'inizio alla fine con lo stesso linguaggio, favorendo la comunicazione dei diversi professionisti impegnati allo stesso scopo.



Fig.060 Lampada prodotta da MGX

Sostanzialmente tutti i metodi di layer manufacturing sono frutto dell'integrazione fra un sistema CAD con una macchina operativa che fabbrichi i layer seguendo il controllo del computer. Prima di tutto viene creata una rappresentazione geometrica della parte con l'ausilio di software come ProEngineer, Solidworks o Autocad. Successivamente la rappresentazione viene suddivisa in strati di un

determinato spessore, in genere tra 0.1 e 0.25 mm, poi i loro profili bidimensionali convertiti in formato per triangolazione (tassellazione) come il .STL. Successivamente il software converte questo file in linguaggio macchina, che viene inviato alla macchina operativa per la fabbricazione di ogni strato. Questo processo si reitera più volte, a seconda dell'altezza del pezzo e dello spessore dei layer fino al completamento della parte. A questo punto per alcune tecnologie occorrono processi di finitura o pulitura del modello: ognuna propone oggetti finiti con aspetto diverso, e quindi lo step finale è definito diversamente.



Fig.061 Prototipatrice rapida Z Corp.

In definitiva con i processi RM attraverso sistemi anche molto diversi tra loro, è possibile produrre merci finite direttamente da un modello virtuale senza passaggi intermedi e con nessun vincolo morfologico. I benefici che questo determina ne hanno permesso la diffusione a dispetto di un costo al pezzo non competitivo rispetto ai metodi di produzione massivi largamente affermati. In particolare risulta conveniente quando il numero dei pezzi non supera le poche centinaia o a volte migliaia a seconda del tipo di prodotto. Queste caratteristiche ne fanno un'ottima risposta a esigenze di piccole serie e pezzi unici, che si distinguono per caratteristiche estetico/formali e tecnico/funzionali con una buona componente di innovazione. Solo alcuni di questi processi possono però considerarsi già diffusi e fruibili da un mercato più vasto: alcune macchine che trasformano materiali metallici e ceramici possono infatti costare centinaia di migliaia di euro e in alcuni casi superare il milione. Sono quindi le macchine che trasformano materiali polimerici e resine quelle su cui si sofferma in questo studio. Si vuole rendere chiaro perché la possibilità di produrre un numero limitato di pezzi, con grande libertà morfologica, faccia dell'RM il metodo più adatto per il progetto proposto.

Prima di addentrarsi nella descrizione tecnica dei processi è bene riportare sinteticamente alcuni dati commerciali che evidenzino come queste tecnologie (tutte quelle per Rapid Manufacturing) stiano invadendo il mercato, aumentando l'offerta per le aziende

produttrici unitamente alla qualità dei macchinari e materiali, e abbassando i prezzi di accesso a tali possibilità.

A Terry Wohlers, massimo esperto di sistemi produttivi diretti da CAD, si deve uno degli strumenti più utili per conoscere la realtà del mercato delle tecnologie di Rapid Prototyping, della diffusione delle macchine, della loro vendita e delle applicazioni per le quali sono impiegate. Il Wohlers Report è un documento che ogni anno delinea i trend di mercato nel mondo della prototipazione e produzione rapida.

In base all'edizione del 2009 si sa che l'industria è rimasta solida negli ultimi 4 anni con una crescita annuale media del 23%, in cui le 3D Printers guidano le richieste principali di sistemi additivi e di materiali. Nel 2003 sono stati 28 i produttori di sistemi di Rapid Prototyping, nel mondo, ad aver venduto le proprie macchine. Nel 2004 il numero è salito a 34, e nel 2005 e 2006 si è assestato a 35. Negli ultimi anni c'è stato un sensibile abbassamento dei prezzi in parallelo a un miglioramento delle loro capacità produttive. In particolare partendo dai 60,000 \$ necessari nel 1996 per acquistare un sistema di prototipazione rapida, si è passati ai 30,000\$ del 2002, ai 10,000 nel 2008, fino ad arrivare ad oggi, in cui è possibile acquistare per ancora meno. Alcuni progetti prevedono addirittura la spedizione del macchinario, prevedendo un autoassemblaggio, il tutto per 1400 \$ (BotMill con la sua Plug-N-Print 3D Printer).

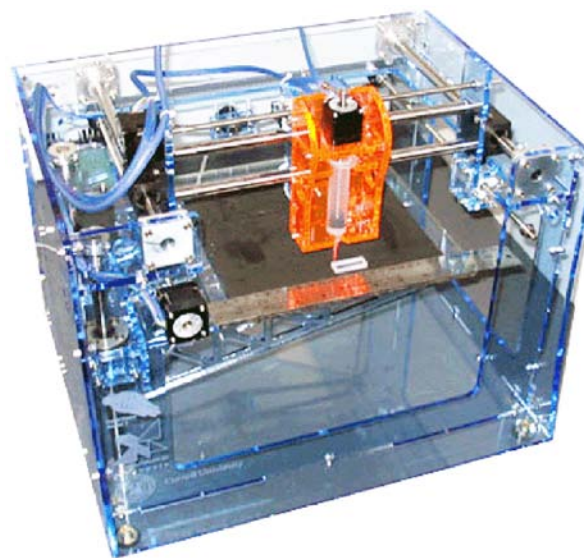


Fig.062 Macchina per stampa 3D da casa Fab@Home

I sondaggi utilizzati sono stati rivolti a produttori di sistemi e fornitori di service di prototipazione e produzione. Queste 160 aziende hanno fornito informazioni relative ai propri clienti e rispettivi settori in 21 paesi. Nel grafico si vede come sono suddivisi i profitti rispetto ai settori di impiego e quale sia la loro distribuzione. I dati riportano come i più grandi abbiano continuato ad accrescere il loro mercato negli anni (90% nel 2003, 17% nel 2006, 13% nel 2009) fino ad arrivare a un valore totale di 495 milioni di dollari nel 2009. Dal 2008 il mercato ha subito un parziale ridimensionamento dovuto alla crisi dei mercati globali. Nonostante questa flessione

percentuale rispetto ad altri settori, è comunque aumentato del 13% il numero dei sistemi venduti nel mondo, grazie anche a un abbassamento dei costi.



Fig.063 La copertina del Wohlers Report di quest'anno

Secondo Wohlers la tecnologia additiva si è evoluta in 3 principali aree di applicazione: concept e progettazione di prodotto, sistemi per applicazioni di form-fit function e creazione di master per produzione di lotti limitati, e Rapid Manufacturing di parti personalizzate dai bassi volumi produttivi. La terza area, qui presa in esame, è quella che richiederà maggior tempo per una diffusione su larga scala, per i motivi tecnici ed economici qui discussi.

Costo unitario e tempo di produzione appaiono come i due ostacoli principali alla diffusione della Direct Digital Manufacturing, dato che vengono percepiti in una scala di euro e giorni, invece che di centesimi e ore. Esistono però grandi vantaggi che si manifestano in un'ottica di lungo termine, grazie all'assenza di costi per la realizzazione, manutenzione e modifica di stampi e attrezzature. Esistono soprattutto delle potenzialità non descrivibili tramite il solo ragionamento tecnico sui costi. La libera riprogettazione di un prodotto porta al miglioramento di funzionalità ed efficienza dei prodotti e ad una profonda innovazione. La libertà formale può far nascere prodotti altamente innovativi per il modo in cui integra diverse funzioni o ne genera di nuove, non realizzabili con i processi convenzionali (vantaggio non direttamente identificabile tramite un'analisi dei costi).

TAVOLA 04

3.1.2 Overview dei processi RM

Le varie tecnologie produttive per additivazione di materiale si contano ormai a decine. Non solo i materiali polimerici ma anche

ceramici e metallici, sebbene ancora piuttosto costosi da lavorare, possono essere processati con le macchine da rapid manufacturing. Dietro all'impiego di ogni materiale c'è lo sviluppo di una tecnologia apposita, elaborata seguendo i vincoli che l'impiego di ognuno di questi pone, e contemporaneamente cercando di cogliere le opportunità che le loro qualità offrono.



Fig.064 Esempio di gioiello realizzato in acciaio

In questo studio ci soffermeremo sull'analisi delle lavorazioni di plastiche, perché il polimero è il materiale più adatto per il progetto

elaborato: le caratteristiche dei materiali polimerici sono sicuramente le più adatte a soddisfare i requisiti tecnici ed economici del prodotto. Si fornisce una spiegazione concisa ma esauriente sulle principali logiche di funzionamento, aiutandosi con la costruzione di schemi, estremamente utili alla immediata comprensione. Infine ci si avvale di una tabella comparativa che racchiude le caratteristiche più interessanti delle varie tecnologie, mettendo a confronto i parametri utili a individuare la candidata migliore per gli scopi progettuali posti in questa sede.

I principali processi per materiali polimerici sono 6:

SLA: Stereolitography apparatus

PJET: Polyjet

FDM: Fused Deposition Modeling

SLS: Selective Laser Sintering

3DP: 3D Printing

LOM: Laminated Object Manufacturing

SLA: Stereolithography apparatus

La stereolitografia è un processo di fabbricazione additiva che impiega una resina fotosensibile come materiale costruttivo. Esso si presenta in forma liquida in una vasca, all'interno della quale è posizionata una piattaforma a livello della superficie. Sopra questa vasca è sospeso un apparato composto da un generatore di fascio laser e da un sistema di scansione capace di spazzare l'intera area della piattaforma, esso è controllato digitalmente da un computer e indirizza il raggio seguendo un percorso prestabilito. La resina fotosensibile indurisce e solidifica quando colpita dal laser e si trasforma, una volta completato il ciclo, nel primo strato dell'oggetto scolpito. Una volta completo, la piattaforma scende di un valore determinabile, e il ciclo si ripete, andando a costruire il secondo strato. Tra uno strato e l'altro una lama redistribuisce la resina liquida in modo omogeneo. Via via che la piattaforma si abbassa il pezzo si crea. Una volta completato il processo e realizzata l'intera geometria, si estrae il pezzo dalla vasca, si lascia defluire il materiale non solidificato e si asporta il materiale di supporto utilizzato per dare appoggio agli strati della geometria manichevoli di sezioni sottostanti. A questo punto avviene l'ultima fase, che consiste nel trattamento del pezzo ultimato, secondo diversi metodi, a seconda del materiale impiegato; ciò dona le caratteristiche finali desiderate.

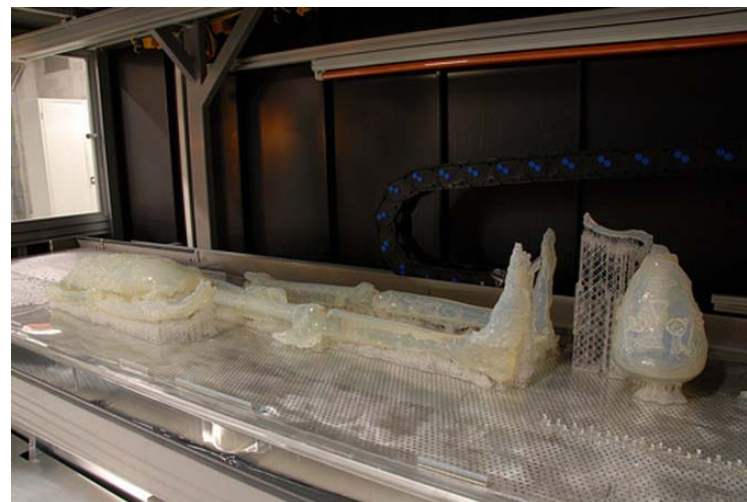


Fig.065 Oggetti prodotti in SLA in macchina.

PJET: Polyjet

Questa tecnologia, proprietà dell'azienda Objet, è molto simile alla SLA, poiché utilizza anch'essa materiali fotosensibili. In questo caso però essi non sono solidificati in un bagno liquido ma direttamente depositati con piccolissimi ugelli uno sull'altro e immediatamente solidificati da una lampada. Questa volta è l'intero apparato di deposito del materiale a muoversi sugli assi XY, mentre la piattaforma scendendo permette la costruzione dei layer successivi. Anche in questo caso sarà necessario asportare il materiale di supporto, una volta completato il pezzo, ma non si richiederà più

nessun trattamento ulteriore: il pezzo è già pronto per essere impiegato.



Fig.066 Oggetti prodotti in Polyjet sul vassoio.

Questo processo, pur evitando un'ultima fase di finitura, è assai più lento; ciò è dovuto allo spessore dei layer di appena 16 μm , quindi assai numerosi ma che renderanno il pezzo molto pregevole superficialmente. Altre interessante caratteristiche per gli impieghi futuri è la possibilità di accoppiare in stampata unica due resine dalle differenti qualità. Ciò va a produrre pezzi in materiale composito con interessanti caratteristiche estetico/prestazionali.

FDM: Fused Deposition Modeling

Anche in questo caso, come per il PJET, esiste un apparato semovente su assi XY sospeso sopra la piattaforma; esso è composto di un ugello che deposita un piccolo filamento di materiale polimerico riscaldato viscoso, capace di indurire e solidificare abbastanza rapidamente a contatto con lo strato precedente. Questo ugello, un po' come accade nella stampa grafica inkJet, disegna i profili dei layer, andando a riempire le campiture con un profilo obliquo parallelo. Il filamento è fornito da una bobina e viene riscaldato solamente appena prima di essere depositato. In questo caso un secondo ugello provvede al materiale di supporto, con diversa colorazione, che sarà poi asportato manualmente una volta ultimato il pezzo. Le caratteristiche vantaggiose di questa tecnologia sono la vasta gamma di materiali polimerici che è possibile utilizzare, nonché una relativa economicità. Le parti realizzate avranno una eccellente risposta meccanica, risultando particolarmente performanti per scopi funzionali; d'altra parte saranno caratterizzati da una finitura superficiale dove i filamenti depositati uno ad uno sono ben visibili, e quindi non ottimali per scopi estetici rilevanti.



Fig.067 Parte prodotta in FDM con ABS bianco

SLS: Selective Laser Sintering

In questo caso nella camera di costruzione non è presente un liquido bensì una polvere polimerica. Essa viene stesa da un rullo su di una piattaforma e un raggio laser a base di Co^2 la polimerizza, facendo accoppiare le particelle solo dove desiderato. Ad ogni layer ultimato viene recuperata altra polvere e depositata sopra, il raggio completerà l'intero pezzo strato su strato. L'intera camera di costruzione è portata a una temperatura appena inferiore a quella di

fusione del polimero, minimizzando la potenza del laser. Alla fine del processo basterà recuperare il pezzo solido in mezzo alla polvere depositata. In questo caso non sarà necessario asportare alcun materiale di supporto poiché esso è rimasto in stato di polvere. La tecnologia è veloce ed economica e offre uno spessore di layer che al minimo raggiunge il decimo di millimetro. A scapito della relativa semplicità del processo vi è una finitura superficiale non certo eccellente e una fastidiosa gestione delle polveri in eccesso.

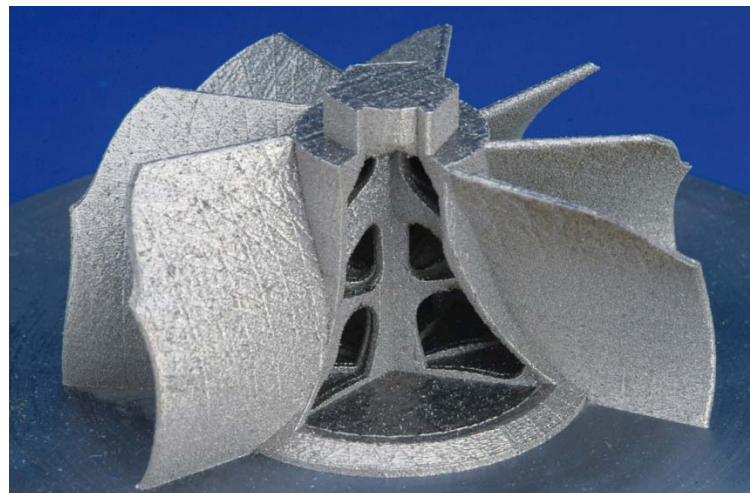


Fig.068 Prodotto in SLS con lega metallica

Questo rimane comunque un'ottima soluzione, sia per la diffusione crescente, che ne diminuisce sempre più i costi, sia per una buona libertà di scelta per quanto riguarda i materiali polimerici: PA, PVC, PS, PC. Pezzi prodotti con questa tecnologia possono considerarsi pienamente funzionali poiché acquisiscono buone caratteristiche prestazionali. Nel prossimo capitolo si farà una descrizione più dettagliata su questa tecnologia proprio perché è quella utilizzata per il prodotto progettato.

3DP: 3D Printing

È una tecnologia molto simile alla SLS: in camera di scansione vengono stesi da una serie di rulli gli strati di polvere polimerica uno dopo l'altro, questa volta però non sarà un fascio laser a polimerizzarli e fare in modo che si cementino, bensì un legante che li incollerà. Una volta ultimato il pezzo è sì ben accorpato, ma non sufficientemente da permetterne un tranquillo impiego di qualsivoglia natura; esso, una volta asportato accuratamente la polvere in eccesso, viene quindi infiltrato con ulteriori leganti come cere o resine epossidiche. Questo trattamento lo renderà adeguato per modelli estetici e di valutazione formale, ma non sufficientemente solido per impieghi funzionali. È una tecnologia molto veloce ed economica, buona per realizzare prototipi, e solo raramente adatta per l'e-manufacturing.



Fig.06g Parte multicolore da stampata unica in 3DP

LOM: Laminated Object Manufacturing

La LOM è piuttosto differente da tutte le tecnologie elencate fino ad ora: utilizza come materiale grezzo di partenza un laminato in fogli. Questo può essere di diversi materiali cartacei polimerici o metallici con spessori variabili da 0,08mm a 0,25mm. Il primo strato è incollato sulla piattaforma che, come negli altri casi, si muove lungo l'asse z per permettere la produzione degli strati successivi, una serie

di rulli cospargono la faccia inferiore dello strato successivo, che non è altro che la porzione seguente del laminato fornito dalle bobine. Una volta incollati gli strati, un laser taglia il profilo della sezione e successivamente taglia con un pattern di quadratini adiacenti tutto ciò che non fa parte della sezione; questo permetterà un più facile asporto del materiale in eccesso una volta ultimato il modello. Layer dopo layer il pezzo si completa. Essendo relativamente semplice e caratterizzata da materiali di apporto economici, questa tecnologia permette l'elaborazione di pezzi anche piuttosto grandi, a scapito di un post-processo di pulitura del modello che può risultare lungo e delicato, e di una qualità finale non ottimale.

TAVOLA 05

3.2 Selective Laser Sintering

Tra tutte quelle esistenti è la tecnologia migliore, è quella che riesce allo stesso tempo ad avere una buona polimerizzazione delle polveri e l'assenza di materiali di supporto, assai problematici da eliminare in presenza di geometrie particolareggiate ricche di cavità come quella elaborata. Ma vediamo nel dettaglio il funzionamento.

3.2.1 Descrizione del processo

Originariamente sviluppata all'interno dei laboratori di ricerca dell'Università del Texas, la tecnologia Selective Laser Sintering venne inizialmente impiegata come metodo di produzione di prototipi. Lo sviluppo tecnologico prodotto negli anni recenti, dal 2000 ad oggi,

ha mostrato come questa possa essere una delle tecnologie di Additive Manufacturing più versatili per la produzione diretta di oggetti finiti. I miglioramenti infatti hanno portato a una diminuzione dei tempi e a un impiego di materiali sempre più performanti. Di fatto è una delle poche tecnologie che permetta di realizzare parti con performance funzionali di poco inferiori a quelle ottenibili con i metodi tradizionali, utilizzando le stesse materie polimeriche grezze. Si tratta principalmente di Polistirene e Poliammide trattata in diverse miscele, o drogata con fibre di vetro e similari, per accrescerne le proprietà meccaniche. Il livello di dettaglio e la tolleranza di tale tecnologia si avvicinano a quelli della Stereolitografia, con una finitura superficiale inferiore ma con una performance meccanica migliore. Queste performance sono dovute al tipo di legame che si crea tra le particelle: la sinterizzazione (fusione) tra i grani di polvere mediante laser produce un unico agglomerato, simile a quello ottenibile iniettando la plastica fusa all'interno di uno stampo. I test più recenti dimostrano che le performance funzionali delle parti realizzate sono intorno all' 85% rispetto a quelle di pezzi realizzati per stampo a iniezione.

Altre tecnologie come il polijet invece accorpano le particelle con l'ausilio di collanti, dando vita a parti più rigide e più propense alla propagazione della cricca, quindi a rottura.



Fig.070 Campione realizzato in SLS con Poliammide

Oggi molte aziende offrono ai clienti miscele materiche differenti per andare incontro alle diverse necessità, e spesso ognuna di queste aziende compie una ricerca interna volta al raggiungimento di questo scopo; si è quindi sviluppata una gran varietà di possibilità, legate ai materiali disponibili, con variazioni di prezzo e performance estetico/funzionali notevoli. Alcune di queste cominciano anche a offrire la possibilità di trattamenti superficiali successivi, per

nobilitare o irrigidire le parti realizzate. Come in tutti i settori, anche in questo, la concorrenza diversifica la scelta, offre più opportunità, e rende queste tecnologie via via più accessibili.

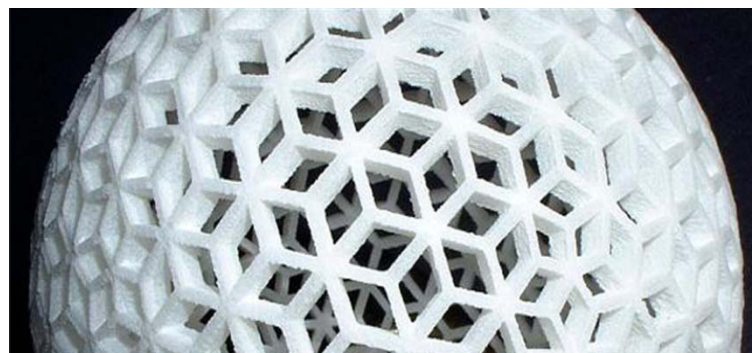


Fig.071 Sfera cava realizzata in un unico pezzo

Tra i materiali in via di diffusione crescente, due sicuramente sono destinati ad avere grande successo nella Selective Laser Syntering; questo è dovuto alla facilità ed economicità di realizzazione, alle caratteristiche intrinseche del materiale, e alla varietà di finiture possibili. Stiamo parlando delle Poliammidi PA 2200 e PA 3200 GF. Commercialmente conosciuti come Nylon, questi materiali presentano ottime caratteristiche meccaniche, che riescono a replicare anche in seguito a una trasformazione in Rapid Manufacturing di SLS, fattore chiave rispetto ad altri materiali con altri metodi per fabbricazione additiva. Possono poi essere sabbiati, lucidati e verniciati per presentare anche una qualità estetica migliorata, tipica dei prodotti realizzati in stampo.



Fig.072 Esempio di parte ottenuta in SLS

Eccone le principali caratteristiche tecniche riportate secondo la nomenclatura inglese, utilizzata internazionalmente per catalogare i materiali.

Polyamide PA 2200

Lo spessore di layer raccomandato è di 0.15 mm. La polvere non polimerizzata può essere riusata. A seconda del tempo di realizzazione deve essere mescolata con polvere vergine in rapporto che va da 2:1 a 1:1 (vecchia : nuova) per garantire parametri di processo costanti e qualità delle parti persistente. Le applicazioni tipiche sono quelle di impiego in parti funzionali, già pronte appena

fuori dalla macchina. Possono sopportare facilmente alti sforzi meccanici e termici.

Proprietà del materiale:

Average grain size Laser diffraction 60 μm

Bulk density DIN 53466 0,435 - 0,445 g/cm^3

Density of laser-sintered part EOS-Method 0,9 - 0,95 g/cm^3

Proprietà meccaniche:

Tensile Modulus DIN EN ISO 5271700 $\pm 150 \text{ N}/\text{mm}^2$

Tensile strength DIN EN ISO 52745 $\pm 3 \text{ N}/\text{mm}^2$

Elongation at break DIN EN ISO 52720 $\pm 5\%$

Flexural Modulus DIN EN ISO 1781240 $\pm 130 \text{ N}/\text{mm}^2$

Charpy-Impact strength DIN EN ISO 17953 $\pm 3,8 \text{ kJ}/\text{m}^2$

Charpy-Notched impact strength DIN EN ISO 17948 $\pm 0,3 \text{ kJ}/\text{m}^2$

Izod-Impact Strength DIN EN ISO 180328 $\pm 3,4 \text{ kJ}/\text{m}^2$

Izod-Notched Impact Strength DIN EN ISO 18044 $\pm 0,4 \text{ kJ}/\text{m}^2$

Ball indentation hardness DIN EN ISO 203977,6 ± 2

Shore D-hardness DIN 5350575 ± 2 Material Data Sheet

Proprietà termiche:

Melting point DIN 53736 172 - 180 $^{\circ}\text{C}$

Vicat softening temperature B/50 DIN EN ISO 306163 $^{\circ}\text{C}$

Vicat softening temperature A/50 DIN EN ISO 306181 $^{\circ}\text{C}$

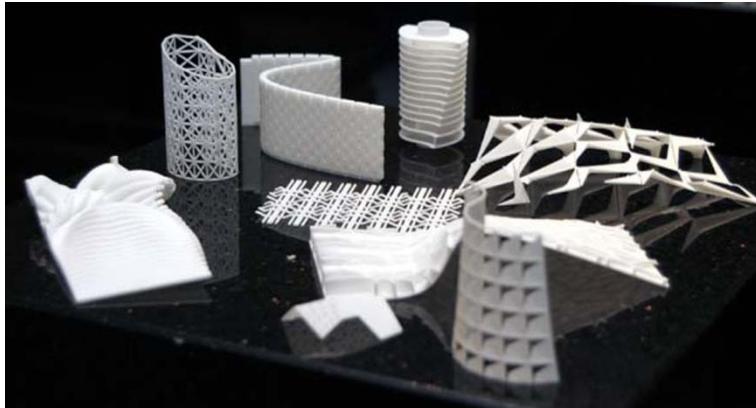


Fig.073 Esempio di parti ottenute in SLS

Glass-filled Fine Polyamide PA 3200 GF

Le parti realizzate in questo materiale hanno eccellenti proprietà meccaniche, superfici molto lisce e grande accuratezza. Lo spessore di layer raccomandato è ancora una volta di 0.15 mm. La polvere inesposta può essere riutilizzata e deve essere mescolata con polvere vergine in rapporto che va da 2:1 a 1:1 (vecchia : nuova) per garantire parametri di processo costanti e qualità delle parti persistente . Tipicamente impiegato per scocche e parti stressate termicamente. Questo per avere sempre una qualità ottimale del prodotto finito, ma sappiamo che molti riusano moltissime volte la stessa materia ripolverizzata, per risparmiare sulla materia prima. Tutto ciò può essere reiterato se effettivamente l'obiettivo è una buona base per un modello estetico, ma non quando siano necessari provini funzionali dalle buone capacità prestazionali.

Proprietà del materiale:

Average grain size Laser diffraction $60\ \mu\text{m}$

Bulk density DIN 53466 $0,59-0,62\ \text{g/cm}^3$

Density of laser-sintered part EOS-Method 1,23-1,28 g/cm^3

Proprietà meccaniche:

Tensile modulus DIN EN ISO 527 $3200 \pm 200\ \text{N/mm}^2$

Tensile strength DIN EN ISO 527 $48 \pm 3\ \text{N/mm}^2$

Elongation at break DIN EN ISO 527 $6 \pm 3\%$

Flexural modulus DIN EN ISO 178 $2100 \pm 150\ \text{N/mm}^2$

Charpy-Impact strength DIN EN ISO 179 $35 \pm 6\ \text{kJ/m}^2$

Charpy-Notched imp.strength DIN EN ISO 179 $5,4 \pm 0,6 \text{ kJ/m}^2$

Izod-Impact strength DIN EN ISO 180 $21,3 \pm 1,7 \text{ kJ/m}^2$

Izod-Notched impact strength DIN EN ISO 180 $4,2 \pm 0,3 \text{ kJ/m}^2$

Ball indentation hardness DIN EN ISO 20399 8

Proprietà termiche:

Melting point DIN 53736 $172 - 180 \text{ }^\circ\text{C}$

Vicat softening temperature B/50 DIN EN ISO 306 $166 \text{ }^\circ\text{C}$

Vicat softening temperature A/50 DIN EN ISO 306 $179 \text{ }^\circ\text{C}$



Fig.074 Esempio di parte ottenuta in SLS, integrata con carbonio.

Sono a tutt'oggi presenti sul mercato una gran quantità di materiali per Selective Laser Sintering, la maggior parte di questi sono direttamente provenienti da quelli presi in esame, sono cioè polimeri

con una base poliammidica drogati con particolari additivi per raggiungere qualità estetico-prestazionali particolari. La varietà è dovuta all'offerta delle varie case, che tendono a realizzare il proprio marchio e a diffonderlo il più possibile abbinato ai macchinari prodotti. Di seguito vengono elencate i maggiori produttori di macchinari per Selective Laser Sintering:

3D-Micromac AG (Germany)

3D Systems (USA)

Arcam AB (Sweden)

Aspect, Inc. (Japan)

CONCEPT Laser GmbH (Germany)

EOS GmbH (Germany)

MTT Technologies Group (USA)

Phenix Systems (France)

ReaLizer GmbH (Germany)

Sintermask GmbH (Germany)

Trumpfsystem Precision Machinery Co., Ltd. (China)

Wuhan Benha Mechanical & Electrical Co., Ltd. (China)

3.2.2 Comparazione con Injection moulding

E' stato possibile studiare i risultati della tecnologia di Selective Laser Sintering nell'applicazione di uno studio comparativo di produzione diretta di prodotti finiti. Il caso preso in esame è una

ricerca Italiana, di Tecnologia & Design, relativa al settore dell'occhialeria nel Triveneto, che negli ultimi anni vive una sensibile crisi, a causa della presenza di grandi aziende internazionali che spingono le piccole imprese a diventare terzisti invece di investire autonomamente per essere innovative e competitive. La concorrenza asiatica è un altro problema, perché offre prodotti a prezzi inferiori grazie al basso costo della manodopera. Per un'azienda è importante abbreviare il time to market e saper reagire velocemente agli impulsi provenienti dall'esterno. Per questo si è pensato a un progetto di Direct Digital Manufacturing per realizzare un volume di 500 paia di occhiali e valutare l'effettiva convenienza e potenzialità di questo sistema produttivo rispetto a quelli tradizionali. Questa volta lo stampaggio ad iniezione è stato confrontato con la SLS di polveri di nylon. La modellazione CAD ha dato vita ad un modello di occhiale geometricamente complesso, con alcune caratteristiche difficili da ottenere con lo stampaggio ad iniezione, per mettere alla prova l'effettiva libertà formale offerta dai sistemi di costruzione additiva. I componenti sono stati prototipati in più versioni e levigati con vibrofinitura e burattatura (il secondo metodo si è dimostrato più veloce con risultati altrettanto buoni). Sono state sperimentate diverse finiture superficiali: verniciatura, cubatura e metallizzazione. I componenti e le lenti sono stati infine assemblati. Per verificare la reale possibilità di produrre questi elementi in SLS, si è ritenuto fondamentale sottoporre i pezzi a test di resistenza meccanica, con prove di flessione e rottura.



Fig.075 Occhiali realizzati in SLS

Questi test hanno dato buoni risultati, rendendo le parti idonee alle certificazioni specifiche del settore.

La fase finale della ricerca è stata finalmente la valutazione economica, che ha tenuto come parametri principali il costo di realizzazione degli stampi, nel caso dello stampaggio ad iniezione, ed il costo diretto di produzione del lotto nel caso della SLS. Per entrambi i metodi si sono poi considerati i costi di levigatura e finitura. Il volume di riferimento è di 500 pezzi. Per la SLS è stato stimato un costo complessivo di 11.00 € (con costi di levigatura di 4

€ al pezzo), corrispondente a 22 € per occhiale; per lo stampaggio è stato definito un costo dello stampo di 13.500 €, per un costo unitario di 32,5 €, di cui 2,5 € per la produzione ed il resto per verniciatura, marcatura, assemblaggio e imbustatura. La Direct Digital Manufacturing è quindi più conveniente. Spostando il Break Even Point a 1.000 esemplari si è verificato che i due costi unitari si eguagliano (a 22 €).



Fig.076 Occhiali realizzati in SLS

La valutazione dei tempi ha ipotizzato a priori che le tempistiche di progettazione e sviluppo delle matematiche fossero le stesse per i due processi, anche se nella realtà, nel caso dello stampaggio ad iniezione esistono logiche più complesse che dipendono dall'organizzazione delle due aziende, quella che progetta e quella

che realizza gli stampi. Il processo di sinterizzazione per un lotto di 250 occhiali richiede tre giorni di tempo macchina, 2 giorni di raffreddamento per consentire l'estrazione dalla macchina, 1 giorno per la sabbatura. Servono poi 4 giorni per la levigatura e 3 giorni per la verniciatura. In totale quindi servono 16 giorni per completare l'intero lotto. Per lo stampaggio ad iniezione si è stimato un tempo di attesa degli stampi di circa mesi (40 giorni lavorativi). La produzione di 500 unità richiede un solo giorno, e la levigatura e verniciatura richiedono 3 giorni a testa. Tramite Direct Digital Manufacturing si risparmiano 31 giorni sui tempi di consegna (16 giorni contro 47). Se si aggiungono in entrambi i casi 10 giorni di progettazione e modellazione, e 5 giorni finali per assemblaggio e marcatura, si ottiene un totale di 31 giorni con SLS contro 62 con stampaggio ad iniezione.

La ricerca testimonia come la Direct Digital Manufacturing possa essere un'alternativa concreta per la produzione di oggetti in piccoli volumi, ma chiarisce anche che i dati ottenuti non possono essere generalizzati per un confronto assoluto tra le due tecnologie prese in esame.

TAVOLA 06

3.3 Casi studio nel settore sanitario

3.3.1 Ortesi Custom-fit

“Custom-Fit è un progetto di ricerca europeo, coordinato da Delcam, che ha sviluppato un modo nuovo e conveniente per la produzione

di prodotti personalizzati partendo dalle geometrie del corpo realizzati con tecnologie di rapid manufacturing, scienze dei materiali e sistemi informatici simultaneamente.

Questa è brevemente l'idea di calzamento customizzato: le caratteristiche geometriche sono acquisite usando lo scanner 3D, poi questi dati sono usati per adattare la forma del prodotto usando software CAD e infine i pezzi sono realizzati con tecnologie di Rapid Manufacturing, per eliminare la necessità di costosi stampi. La produzione di protesi è uno dei casi studio scelti per provare questo nuovo concetto di produzione, in particolare la protesi transfemorale, che è l'interfaccia tra il moncone e la gamba artificiale. Le sue funzioni principali sono contenere e proteggere l'arto residuo e trasferire le forze dal moncone alla protesi in tutte le attività del paziente (in cammino, in piedi, ecc.). Deve essere indossabile, confortevole e resistente. Per ottenere tutto questo, ha bisogno di riprodurre perfettamente la forma del moncone del paziente, quindi risulta essere un banco di prova perfetto di prodotto Custom-fit.

Un Centro Protesi Inail, in Italia (non meglio specificato), è stato coinvolto nel progetto Custom-Fit in modo da testare la nuova tecnologia. Il lavoro manuale è dominante nel processo di produzione tradizionale. Un primo cast maschile è usato per termoformare il primo socket (chiamato socket di controllo), quindi questo viene testato da parte del paziente e modificato in base al suo feedback. Dopo di che, viene prodotto un secondo

cast maschile per fabbricare l'invasatura definitiva, composta da un layer interno morbido termoformabile e una struttura esterna in composito. Così si compie un processo in 2 fasi, che richiede 2 calchi "maschio".

Con una tecnologia Custom-Fit: un primo design di socket è generato usando un 3D CAD a partire da un insieme di misurazioni effettuate direttamente dal tronco. Poi il socket di controllo è realizzato con una tecnica additiva (Apparatus Stereo litografia - SLA), senza la necessità di produrre il primo cast maschile.

Quindi viene testata l'invasatura di prova, la forma modificata è digitalizzata con uno scanner sonda specifico che genera la superficie interna, da cui si ottiene la matematica definitiva con uno strumento automatico CAD sviluppato da *Materialise* partner di progetto. Il file digitale CAD utilizzato, una tecnologia di progettazione che manipola direttamente la scansione dei file di dati invece dei tradizionali algoritmi di CAD). L'invasatura definitiva è finalmente prodotta con una nuova tecnica di produzione di Rapid Printing chiamata Plastic Powder Printing (PPP), sviluppato da il partner di progetto De Monfort University.

Così, grazie alla scansione 3D e tecniche di Rapid Manufacturing che costruiscono parti strato dopo strato direttamente da file CAD 3D, si evita la produzione di calchi maschili. Questo porta ad un risparmio di tempo, accorciando i tempi di consegna del socket da quando il

paziente è accolto in ospedale a quando è dimesso. Inoltre, il Rapid Manufacturing permette di controllare lo spessore dell'alloggiamento, con struttura più intelligente, rinforzata dove la resistenza è necessario e alleggerita dove non lo è.

Nella maggior parte dei paesi europei vi è una pressione costante sulle riduzioni di bilancio per le istituzioni di sanità pubblica. Essere in grado di ridurre i tempi offrendo allo stesso tempo una soluzione che sia anche migliore e di maggiore qualità sarebbe molto interessante per questi enti, per non parlare della soddisfazione del paziente che sarà costretto a una minor permanenza in ospedale. Attualmente, in media, un programma di riabilitazione completo per un amputato trans femorale dura 25 giorni: la tecnologia Custom-fit potrebbe ridurre questo periodo del 30%, circa 7 giorni, che ad un costo medio giornaliero di circa 330 € significa un risparmio di oltre 2.000 € per ogni paziente.

Custom-Fit non vuole fermarsi a questo stadio. Partner del progetto, come il Politecnico di Milano, stanno lavorando per sviluppare una tecnologia che ci permetterà di ottenere prima la forma adeguata, evitando la necessità del passaggio dal socket intermedio. Ciò sarà possibile con uno strumento di simulazione virtuale che può fare una modellazione completa del moncone del paziente, compreso il comportamento dinamico di muscoli e ossa. Non è fantascienza, ma ricerca di base: è solo una questione di tempo ...”

Da un articolo apparso il 29 Gennaio 2010 sul portale virtuale Innovations report. (*Custom-fit shortens transfemoral prosthesis manufacturing time*). Lo studio risulta particolarmente interessante per la descrizione dei benefici che il processo porta in termini di qualità del prodotto e massima personalizzazione.

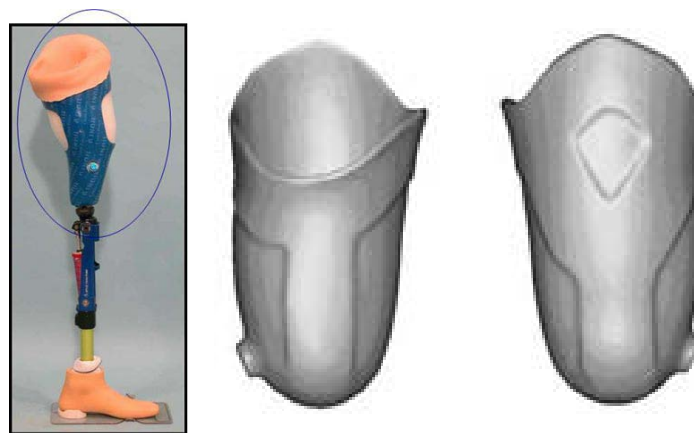


Fig.077 Socket prodotto manualmente e matematiche digitali

3.3.2 Plantari funzionali

Le ortesi plantari funzionali sono dispositivi ortopedici concepiti e realizzati al fine di sostenere gli arti inferiori. Sin dalla loro invenzione, a metà del secolo scorso, le ortesi funzionali sono state fabbricate con processi manuali, per lo più artigianali. Oggi però, a causa delle diagnosi medico-ortopediche condotte in forma digitale, è aumentata la

necessità di poter trasmettere le informazioni computerizzate in soluzione di continuità tra le fasi diagnostiche e quelle progettuali fino a quelle produttive. Se dal punto di vista economico appaiono evidenti i vantaggi di un simile processo, dal punto di vista del prodotto è altrettanto evidente la necessità di una validazione dell'alternativa tecnologica mediante un'accurata analisi che permetta di indagarne le opportunità e le eventuali criticità.

Per questo motivo è stata condotta una sperimentazione, giustificata da una preliminare verifica di compatibilità dei requisiti tecnici e delle tolleranze di processo, con lo scopo di dimostrare le opportunità della tecnica di Fused Deposition Modeling, valutando le prestazioni di un dispositivo ortesico progettato appositamente e realizzato mediante tre differenti soluzioni costruttive, ottenute modificando opportunamente l'unica variabile di processo indagata: la direzione di stratificazione (orientazione).

La fase di progettazione del dispositivo è stata condotta mediante l'impiego di tecniche di rilevazione tridimensionale, utili

all'acquisizione della superficie plantare di un ipotetico paziente e necessarie alla definizione formale del dispositivo, per la cui stilizzazione sono state volutamente tralasciate tutte le modifiche solitamente apportate ai fini medico ortopedici.

Per ciascun dispositivo realizzato sono quindi stati valutati gli aspetti morfologici e funzionali al fine di evidenziare le eventuali limitazioni in grado di invalidare l'alternativa proposta: spesso le distorsioni a seguito del processo di fabbricazione, l'evidente effetto di scalinatura ed il comportamento meccanico anisotropo, possono infatti precludere alla Fused Deposition Modeling l'applicazione per prodotti finiti. Dal punto di vista prestazionale, le tre soluzioni costruttive sono state invece valutate attraverso test, eseguiti anche su di un ipotetico paziente, necessari a verificare le principali funzionalità delle ortesi plantari:

- _ possibilità di applicare un rivestimento, indispensabile per il raggiungimento di un adeguato livello di comfort;
- _ capacità di mantenere inalterata la forma;
- _ capacità di resistere alle sollecitazioni in esercizio.

I dati raccolti sono quindi stati confrontati con un'alternativa produttiva comunemente impiegata nella realizzazione di dispositivi ortesici, con lo scopo di dimostrare la consistenza del processo di DDM per l'applicazione indagata e validarne l'opportunità tecnologica.



Fig.078 Ortesi plantari realizzate in FDM e SLS



Fig.079 Il risultato di Matteo Moroni in FDM

L'analisi dei requisiti della ortesi plantari funzionali ha evidenziato elementi di compatibilità con le opportunità dei processi di Direct Digital Manufacturing, che sono quindi state indagate attraverso verifiche a posteriori su dispositivi realizzati mediante la tecnica di Fused Deposition Modeling e confrontate con il processo di fresatura. Le opportunità di Direct Digital Manufacturing, ed in particolare della tecnica di Fused Deposition Modeling, consentono la definizione di una alternativa tecnologica ai processi di

fabbricazione tradizionalmente e convenzionalmente impiegati nella produzione delle ortesi plantari funzionali. I risultati raggiunti confermano le valutazioni economiche dei casi studio, avvalorando la consistenza del processo indagato e fornendo inoltre elementi di valutazione tecnica e funzionale che dimostrano come la tecnologia impiegata garantisca il rispetto dei requisiti e delle specifiche del prodotto.

I maggiori benefici riscontrati appaiono connessi alla possibilità di:

- _ diminuire il time to market, grazie ad un tempo ciclo produttivo di circa 5 ore/dispositivo;
- _ consentire la ri-fabbricazione dei dispositivi nel tempo, applicando correzioni al modello CAD qualora necessarie e rendendo quindi contingente l'eventuale magazzino stampi oggi indispensabile nel caso di catene produttive basate su termoformatura;
- _ progettare dispositivi nei quali parti funzionali come ad esempio rinforzi o rialzi calcaneari non vengono riportati tramite incollaggio ma sono integrati nel dispositivo ortesico;
- _ sostituire la catena di processo di fresatura, indispensabile per la realizzazione di dispositivi più resistenti di quelli termoformati ma caratterizzata da difficoltà e limiti tecnologici quali:
 - _ pulizia del processo;
 - _ disponibilità di attrezzature;
 - _ opportunità materiche;
 - _ costo.

(Moroni, 2010)

3.4 Realtà commerciale: MGX di Materialize

Materialize nasce nel 1990 con una joint venture tra Wilfried Van Craen e l'Università di Leuven. Nei primi anni novanta sono l'avanguardia per quanto riguarda le sperimentazioni stereolitografiche in resina, investendo su materiali e macchinari. Da subito la compagnia si impegna su tutto più fronti, andando anche a programmare i software di gestione CAD implementati nelle loro macchine. La comodità di avere un codice sorgente si rivelerà fondamentale negli anni successivi. In questo modo infatti la compatibilità tra i modelli virtuali richiesti e il linguaggio macchina per la fase realizzativa è totale, permettendo di minimizzare i problemi e limitare i tempi, nei rapporti con terzi e gestione dei modelli. Dal 1998 Materialize inizia ad investire sulla Selective Laser Sintering, mentre negli stessi anni apre numerose divisioni in altri paesi europei, negli USA e in Giappone. Nel 2004 lancia il brand MGX e mette in piedi una divisione che si occupa al 100% di questo progetto e nel 2009 lancia la piattaforma virtuale i.materialize.

Entrambi questi progetti sono considerati molto interessanti per lo studio che si sta portando avanti: in particolare dimostrano come le tecnologie di Rapid Manufacturing non possano più considerarsi solamente soluzioni di nicchia alle quali ricorrere in limitati casi, ma possano a tutti gli effetti rappresentare un'alternativa reale per una grande quantità di prodotti, realizzati ancora tradizionalmente nelle filiere industriali.



Fig. 080 Lampada Bloom di Patrick Jouin per MGX.

Il brand MGX è un ramo della compagnia che si occupa della realizzazione e vendita di prodotti finiti, ottenuti mediante tecnologie di Rapid Manufacturing. Questi prodotti, per lo più lampade, e sgabelli, vengono commissionati a designer esterni che progettano cercando di esasperare le caratteristiche formali permesse dai nuovi metodi produttivi. La fascinazione per geometrie complesse è evidentissima e sicuramente efficace, quasi a lasciare interdetti coloro che osservano, nondimeno è molto suggestivo il loro rapporto con la fonte luminosa, che va spesso a creare effetti di luce e ombra nuovi.



Fig.o81 Fractal coffee table di MGX

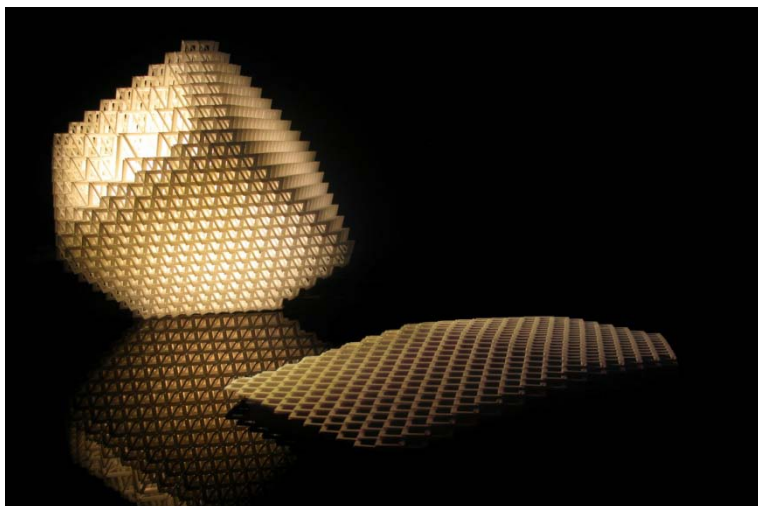


Fig.o82 Lampada Volume di Studio Dror per MGX

Il modello di business del progetto prevede una esaustiva vetrina virtuale sul sito del brand, fino all'anno scorso unico modo per acquistare i prodotti. Non essendoci nessuna necessità di produzione minima, i pezzi vengono realizzati su commissione: quando si effettua l'ordine parte la produzione. Dal 2010 è stato aperto un flagship store a Bruxelles per dare la possibilità di visionare e toccare con mano la bontà dei pezzi. Ultimamente alcuni designer stanno scoprendo ancora più a fondo le possibilità offerte, disegnando prodotti con movimentazioni di parti, meccanismi e cerniere; queste soluzioni che tipicamente richiedono crescente complessità e produzioni in parti diverse che poi andranno assemblate, possono essere tranquillamente adottate: le tecnologie permettono di realizzare tutto in stampata unica, eliminando fasi successive di assemblaggio. Vediamo in immagini alcuni esempi.

Il portale online *i.materialize* è uno strumento che dà la possibilità di caricare il proprio modello virtuale e farsi produrre il modello fisico mediante numerosi processi di Rapid Manufacturing.

Questo portale è intuitivo e guida l'utente in qualsiasi fase, gli permette di visualizzare il modello una volta caricato, e sulla base di alcuni parametri di massima fornisce un preventivo immediato sul costo di produzione. All'interno ci sono numerosi aiuti offerti per rendere l'esperienza il più semplice e soddisfacente possibile.



Fig.o83 Parte realizzata in titanio con la piattaforma *i.materialize*.

Esso non è, come si potrebbe pensare, rivolto soltanto a coloro che hanno già una approfondita conoscenza dei metodi, ma guida anche il fruitore meno esperto sin dai primi passi, consigliando i software più adatti, specificando i formati richiesti, e suggerendo una serie di accorgimenti da tenere presente in fase di modellazione, in modo da incorrere in meno problemi possibile nelle successive. Questa realtà rende evidente come i processi diventino sempre più accessibili e performanti, diventando una possibilità anche per coloro che vogliono produrre pezzi autonomamente.

TAVOLA 07



Fig.o84 Sgabello collassabile ottenuto in un unico processo di stampa



Fig.o85 Lampada disegnata da un privata e realizzata con la piattaforma *i.materialize*.



Fig.o86 Geometria astratta realizzata con la piattaforma *i.materialize*.

CAPITOLO QUARTO

Il Progetto

4.1 RP: massima libertà progettuale

Tra i settori dove troviamo maggiormente impiegate le tecnologie di RM c'è quello sanitario, dove la produzione di protesi ad hoc, per lo più in titanio, si stanno ottenendo ottimi risultati: elevata precisione, e personalizzazione estrema sono le caratteristiche che il rapid manufacturing può offrire.

Stesse qualità richieste per il settore limitrofo degli ausili per disabili, che contrariamente a quello protesico può considerarsi a tutti gli effetti un settore produttivo più classicamente inteso, dove la quasi totalità dei prodotti sono fabbricati serialmente: parallelamente alla necessità di avere prodotti personalizzati, esiste un grosso mercato di ausili standard, proposti in poche varianti, che soddisfano comunque le esigenze di molti.

L'attenzione si è spostata qui, anche grazie all'opportunità di poter effettuare una ricerca field dettagliata ed esaustiva, in particolare per l'ausilio carrozzina. Una visita all'ausilioteca regionale dell'Emilia Romagna e un colloquio con tre dei fisioterapisti che vi lavorano specializzati in questo ambito, hanno confermato che le opportunità offerte dal rapid manufacturing potrebbero rispondere molto bene ad alcune esigenze che i prodotti attuali non soddisfano.

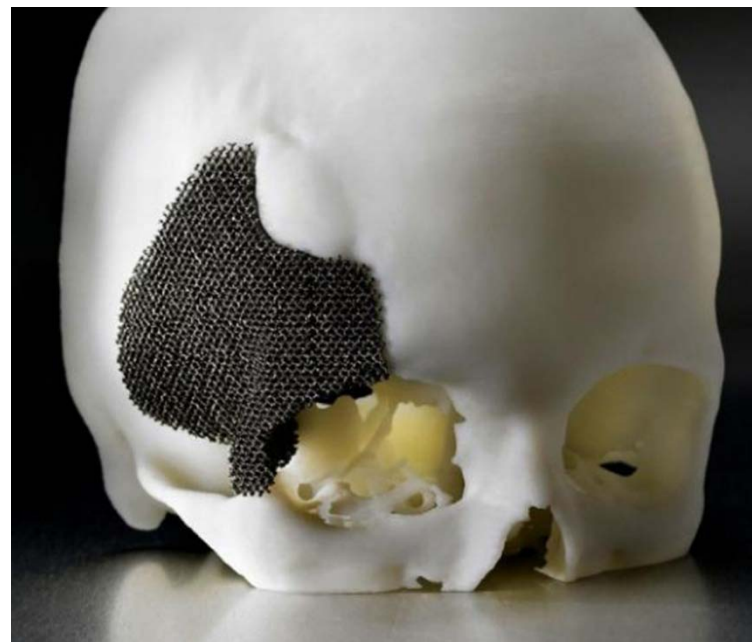


Fig.087 Protesi per cranio in titanio realizzata in SLS.

In particolare è emerso come la poca traspirazione cutanea, in prodotti anatomici per lo più ottenuti con schiumati, sia da tempo un problema irrisolto. La sudorazione e la frizione continuativa sui tessuti dell'epidermide favoriscono infatti l'insorgere di arrossamenti, infezioni o addirittura piaghe. Il consiglio di questi esperti e la presa visione delle complessità tecniche relative agli ausili per seduta antidecubito, hanno fatto in modo che la mia attenzione si spostasse sull'ausilio schienale per carrozzina,

anch'esso tema che offre sfide importanti ma sicuramente più alla portata di un lavoro di tesi individuale, che vuole avere una sua credibilità.

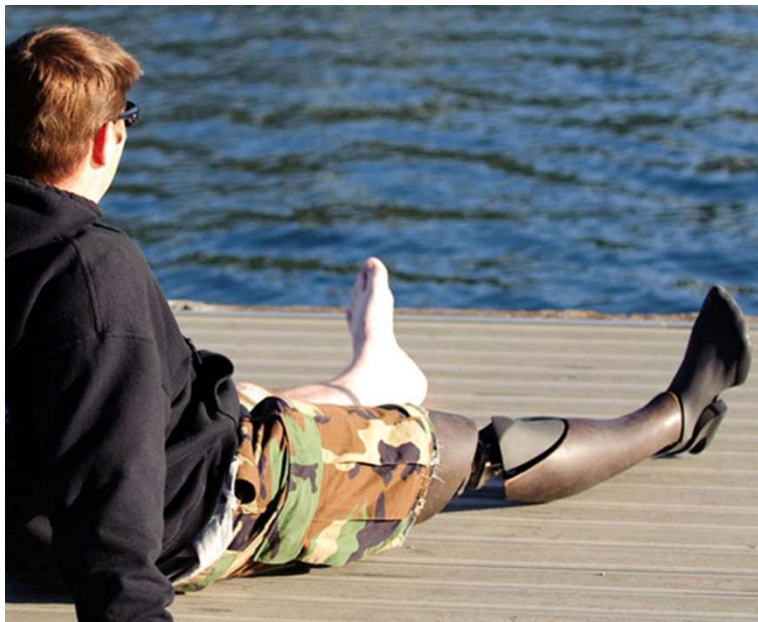


Fig.o88 Protesi di gamba ottenuta in rapid manufacturing

"Il mondo della riabilitazione in questi ultimi anni va dimostrando un interesse crescente per gli ausili tecnici. E' un segno consistente di quanto ampiamente si sia modificato lo stesso concetto di riabilitazione. Non si tratta più soltanto di agire sul danno con terapie spesso inefficaci o inaffidabili, nè soltanto di trovare soluzioni

funzionali spesso grossolane alle attività perdute. Obiettivo di ogni intervento è il recupero del massimo di autonomia concesso dalla gravità e dall'estensione della lesione, e dalle difficoltà del contesto nel quale il paziente è chiamato a vivere e ad agire. Dove autonomia non vuol dire soltanto, e neanche soprattutto autosufficienza, bensì libertà di scegliere uno stile di vita." (Spagnolin, 1993)

4.2 Concept

4.2.1 La "shell" personalizzata

Con il termine *shell* si intende la possibilità di mimare il più efficacemente possibile la superficie della schiena a contatto con lo schienale, per permettere di contenere la stessa, offrendo il supporto adeguato. Si parla ovviamente, di uno schienale rigido, già individuato come miglior soluzione nei capitoli precedenti.

In fase preliminare di questo studio è stato affrontato il problema della possibilità o meno di proporre uno schienale personalizzato, unitamente alle caratteristiche di traspirabilità migliorata. Dopo un primo momento nel quale si pensava che andare a progettare un prodotto customizzato richiedesse competenze troppo specifiche, e quindi che fosse meglio limitarsi a un prodotto standard, si è pensato alle grandi opportunità che la tecnologia offre proprio orientate a progettare su misura, e quindi che fosse molto più interessante agire

proprio in questa direzione: moltiplicando gli sforzi ma sicuramente producendo un risultato incredibilmente più interessante.

Si è considerata quindi una struttura portante ottimizzata nei rapporti geometrici, che replichi esattamente le matematiche di appoggio della postura ottimale del paziente. Matematiche che sono ottenute mediante scansione dello schienale provvisorio, dopo che questo ha prodotto la massima soddisfazione posturale, pratica già in uso per la produzione di schiumati su misura. Questo dato in alcuni casi è possibile che sia ottenibile mediante una rilevazione dei picchi di pressione di appoggio allo schienale, pratica adottata per visionare gli stessi parametri relativi al cuscino. Il progetto risulta essere tale geometria riprodotta sul nostro schienale, che a seconda del paziente richiedente, va a conformarsi in modo diverso, producendo formalmente un prodotto ogni volta personale.

Si enfatizza la possibilità di portare al minimo le lavorazioni da effettuarsi per la personalizzazione, in pratica la geometria si ottiene andando a scavare un modello già preparato ad "Hoc" in modo da minimizzare i tempi di progettazione e avere alcune parti dello schienale, come le sedi delle viti di aggancio al telaio, già precedentemente conformate.

Lateralmente la forma va ad abbracciare il tronco, in modo da stabilizzarlo, rendendo sicura la movimentazione e più estesa la zona d'appoggio, con conseguente diminuzione di pressione. Sono appli-

cate anche delle alette al quale sarà possibile assicurare in un secondo momento un ulteriore supporto, sempre progettato su misura che avvolga lateralmente il tronco, per un miglior contenimento. Superiormente la geometria si incurva all'indietro, per non causare spigoli vivi sui quali è possibile si addensi la pressione della zona alta della schiena.

E' evidente come la parte più affetta dalle caratteristiche di personalizzazione sia quella lombare, conformata con un sostegno pronunciato in quella zona, necessità specifica di Nicolò.

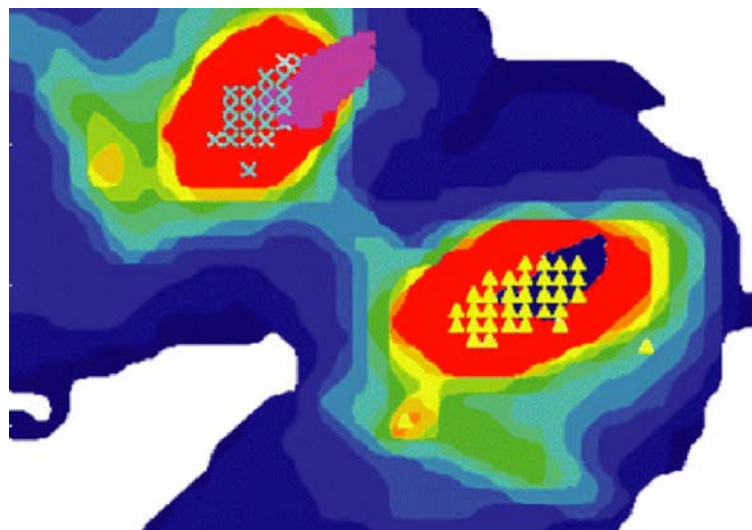


Fig.089 Esempio di scansione dei picchi di pressione su una seduta, la stessa tecnica si può adottare per rilevare la pressione sulla schiena.

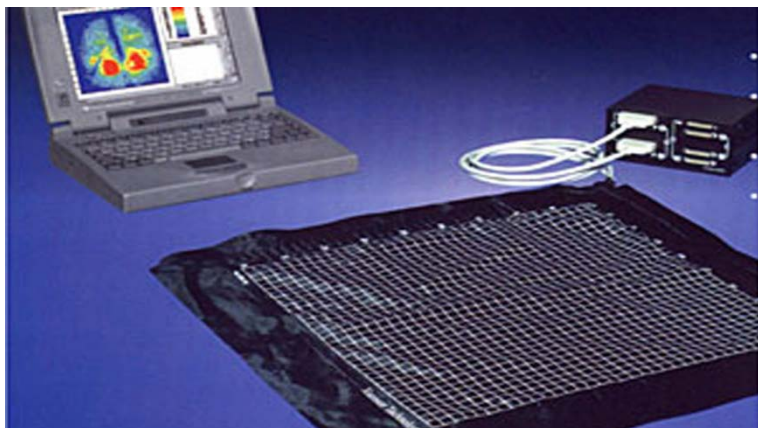


Fig.090 La pedana provvista di sensori pressori

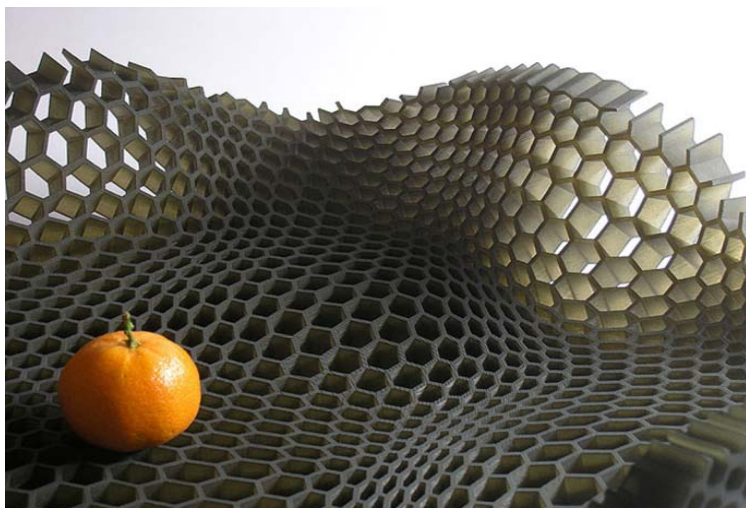
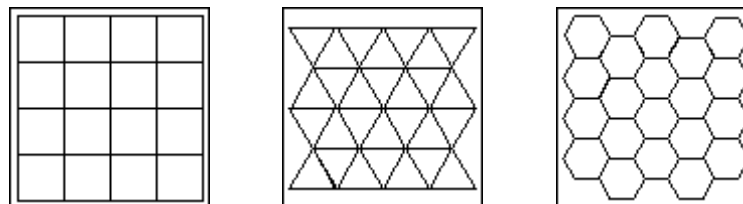


Fig.091 Esempio di Honeycomb , portafrutta The Black_Honey di Arik Levy per MGX.

4.2.2 La struttura honeycomb

La scelta dell'honeycomb è dettata dalle caratteristiche intrinseche a questa geometria : essa offre il rapporto migliore tra area coperta e perimetro dei profili. In cosa si traduce questo? Significa che a parità di superficie da coprire (quella di appoggio della schiena) e di resistenza meccanica (quella richiesta per sorreggere senza problemi il carico), questo disegno è quello che offre luci più ampie, e quindi un passaggio d'aria maggiore, requisito determinante per gli obiettivi di progetto. Questa caratteristica, non dimentichiamolo, implica che anche il materiale usato per la produzione del pezzo sia in quantità molto bassa, con ottimi effetti sui costi produttivi e la salvaguardia dell'ambiente.



La proprietà si può evincere da una veloce scorsa ad alcune nozione geometriche di base. Gli esagoni possono essere affiancati o tassellati in modo regolare su un piatto piano bidimensionale. Cioè, un esagono può essere delimitato da altri sei esagoni, a loro volta delimitati da sei esagoni, e così via all'infinito. Si noti che anche se

c'è un numero potenzialmente infinito di tassellature costituito da due o più tipi di poligoni, solo esagoni, quadrati e triangoli possono formare tali tassellature regolari da soli. Ipotizzando per tutte e tre queste forme un'area indicativa di 1, si avrà che la lunghezza del perimetro è 4 per il quadrato, 4.559 per il triangolo e 3.722 per l'esagono, che risulta quindi essere il più efficiente.

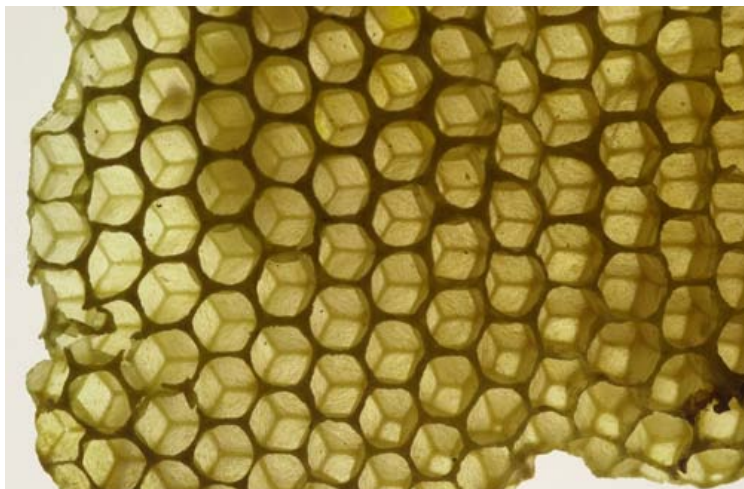


Fig.092 Il disegno esagonale tassellato di un alveare

4.2.3 I micro moduli elastici

Questo è probabilmente l'aspetto più delicato da trattare, nonché la fase di progetto dove è possibile l'innovazione maggiore. Si tratta infatti di andare a soddisfare una necessità che solitamente viene soddisfatta con altri materiali, di natura completamente diversa dal-

la poliammide in questione. Questo materiale polimerico, infatti, pur non essendo particolarmente duro al contatto, non ha certo quella risposta elastica confortevole che hanno gli schiumati, imbottiti o fluido-viscosi, solitamente utilizzati per questi scopi. Si tratta quindi di mimare le caratteristiche di quei materiali, ricorrendo a una geometria particolare, non dimenticando l'esigenza di poco contatto con la pelle.

E' stata considerata vincente la possibilità, attuabile con SLS, di proporre una microstruttura posta svariate volte sull'intera superficie dello schienale. Un elemento con dimensioni minime di 1 mm di sezione nelle sue parti, conformato in modo da rispondere elasticamente alla pressione della schiena; che poi ripetuto ne sostenga l'intero appoggio. Infatti quando si vuole ottenere un comportamento elastico da un materiale rigido, si opera sulla geometria della parte, applicando i principi di molla elastica, ovvero di un oggetto ottimizzato per accumulare energia meccanica.

Esistono svariati tipi di molla, sia da tondino che cosiddette piatte ma per avere una buona panoramica possiamo ridurre quelle più comuni a quattro gruppi principali: molle a pressione, trazione, torsione e flessione.

a) Molle a pressione: sono conformate da spire aperte, e se compresse tendono a occupare il maggior ingombro iniziale.

b) Molle a trazione: sono conformate da spire chiuse, se trazionate tendono a occupare il minor ingombro iniziale.

c) Molle a torsione: sono solitamente conformate da spire chiuse, e la forza viene applicata ortogonalmente all'asse della molla, causando una risposta elastica angolare e non coassiale alla molla. Possono anche essere a spirale (come negli orologi).

d) Molle a flessione: per lo più elementi fissi su di una estremità che fanno leva sull'elasticità data dalla piccola sezione dell'elemento geometrico.

Determinate queste caratteristiche si è deciso di proporre diverse soluzioni. Questo è dovuto a due principali motivi. Il primo per la quantomeno scarsa riuscita nell'aver individuato soluzioni di progetto analoghe in altri settori, che non avessero vincoli morfologici come in questo caso, o che si potessero ricondurre alla stessa scala di progetto. Il secondo per la natura poco teorizzabile del risultato che si sta ricercando. Quello del comfort non è certo un parametro facilmente individuabile scientificamente, che possa risultare dalla semplice sommatoria di varianti predeterminabili.

Si è quindi considerato di proporre più soluzioni possibili, derivate certamente dalle basi teoriche della molla, ma proposte in diverse opzioni.

E' fondamentale la fase di prototipazione dei provini, con i quali è possibile fare tutte le considerazioni del caso andando a saggiare sperimentalmente la buona riuscita dei pezzi, e reiterando l'operazione fino al raggiungimento della soluzione adeguata. Si capisce come il progetto sia fortemente orientato alla sperimentazione pratica.

Ognuna delle possibili proposte di molla è valutata secondo diversi parametri, sulla base di probabili comportamenti diversi sotto carichi (da verificare con provini alla mano). Questi parametri sono:

_ elasticità: ovvero la capacità di escursione.

_ stabilità: a spostamenti laterali di taglio

_ traspirazione: dello strato cutaneo

_ mimesi: capacità di adesione anatomica

Nelle immagini vengono riportati alcuni interessanti esempi di applicazione del principio di molla con soluzioni analoghe a quello che si vuole ottenere con questo studio. In particolare nell'ultimo caso si mostra una sfera in Duraform PA, ottenuta da una geometria parametrica di micro ponti; il risultato appare sorprendentemente elastico, nonostante la natura rigida del materiale.

Le reiterazioni hanno visto la progettazione di diversi sistemi di molla per lo più flettente, in diverse configurazioni. Il vincolo di sezione per il materiale di 10 – 12 decimi di millimetro, e le condizioni di spazio disponibile minimo nelle quali ci si è trovati hanno di fatto portato alla soluzione definitiva visibile in figura. Nel successivo capitolo verranno minuziosamente descritti i particolari di queste molle e l'iter che ne ha portato alla definizione geometrica finale.

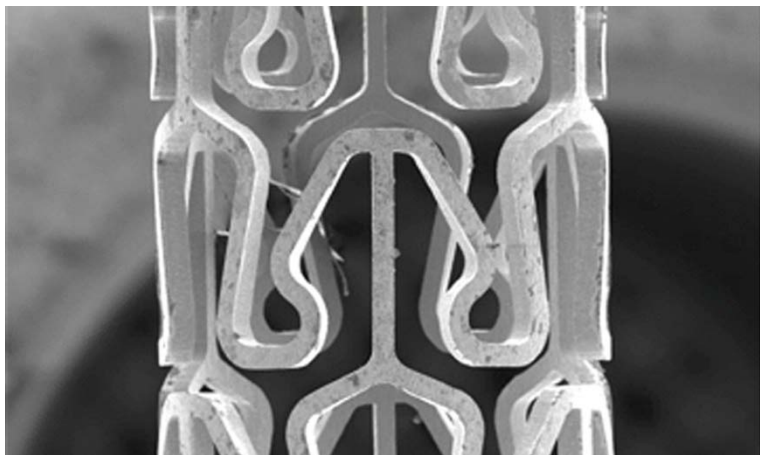


Fig.093 Esempio di microstruttura con principi di molla flettente su un tubolare.



Fig.094 Strutture elastiche sinterizzata in SLS. Principio di molla flettente.

4.2.4 Il rivestimento

Una volta individuata la geometria considerata adatta allo scopo, si valuta quale sia la miglior copertura da apporvi.

Si è pensato a un doppio livello di copertura. Un primo livello di tessuto ad alta resistenza che possa essere da rete protettiva per gli elementi elastici. Si tratta di un unico strato di 3D Textile e svolge la doppia funzione di rendere le parti (assai ricche di punti di appiglio) protette da usi impropri, e allo stesso tempo salvaguardare i capi d'abbigliamento che potrebbero facilmente agganciarle. Esso viene assicurato attraverso i fori apportati sul bordo dello schienale, in modo definitivo, poiché una volta applicato non è più necessario rimuoverlo. Viene assicurato con un resistente filo di Nylon su asole ad alta resistenza abrasiva, e può subire cicli di lavaggio interamente con lo schienale. Il 3D textile è stato considerato la soluzione ottimale poiché offre caratteristiche di ottima traspirabilità unitamente a un buon comfort di appoggio dato proprio dallo spessore aumentato. Ad oggi sono in commercio molti prodotti di differenti aziende. Quello scelto è un filato a disegno esagonale con spessore 2 millimetri della taiwanese Sing Bwo Enterprise, specializzata nella produzione di tessuti tecnici anche ad uso sanitario: unisce ottima resistenza, doppio orientamento dell'elasticità, massima traspirazione e una risposta al contatto soft, perfetta per eliminare il contatto diretto con il Duraform PA, che nonostante l'effetto molla è di fatto un

materiale rigido. Si coglie l'occasione per ringraziare l'azienda che ha offerto i campioni necessari alla realizzazione dello schienale.

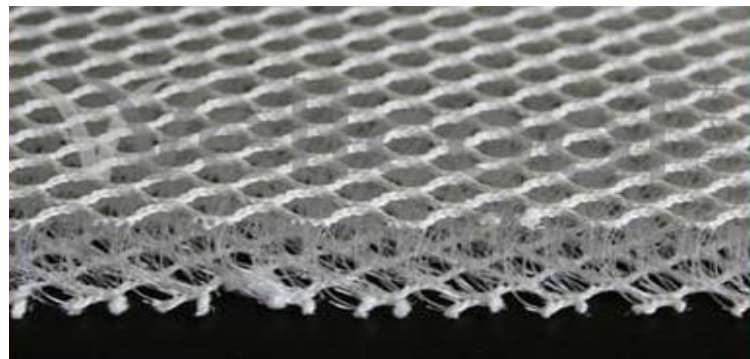


Fig.095 Spacer Fabric (Air Mesh) della taiwanese Sing Bwo.



Fig.096 3D Textile con spessore 8 mm.

Un secondo livello è costituito dalla fodera vera e propria, che per questioni igieniche è stata considerata indispensabile. Essa è presente solo sulla parte in appoggio e si assicura con delle fasce posteriori elastiche, in modo da non costituire ulteriore barriera alla traspira-

zione. In questo caso è stato scelto un filato della tedesca Eschler, scelto tra un campionario di 7 tessuti dalle caratteristiche simili.

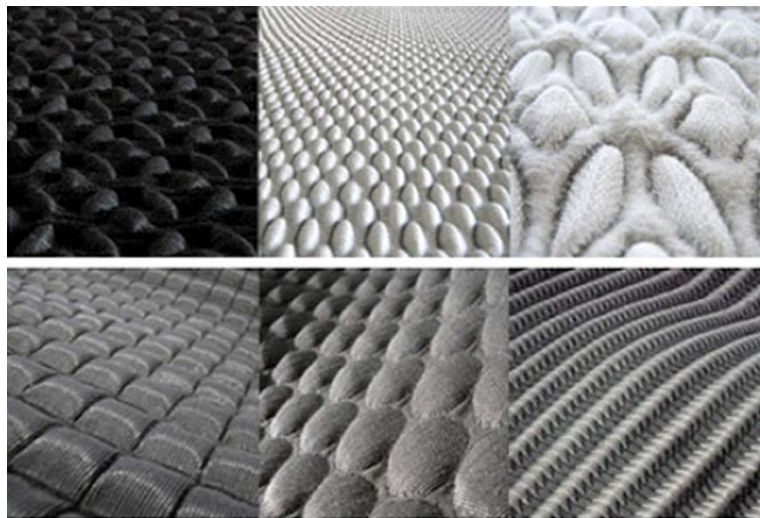


Fig.097 Altri esempi di 3D textile

Di non secondaria importanza è la possibilità di personalizzare cromaticamente lo schienale proprio grazie a questo tessuto. E' un filato molto elastico (in entrambe le direzioni di trazione), resistente e massimamente traspirante, utilizzato in minimo spessore, come quelli impiegati in ambito sportivo per capi d'abbigliamento particolarmente performanti. La bassa igroscopicità lo rende inerte all'acqua, in modo da mantenere la caratteristica, propria dell'intero schienale di non soffrire nessuna esposizione alla pioggia e/o umidi-

tà. Chi già possiede un cuscino idrorepellente sa quanto questa caratteristica sia apprezzata.

Tutto lo schienale potrà così essere tranquillamente sterilizzato, senza la necessità di separare le parti, poiché l'assenza di materiali schiumati che assorbirebbero umidità, trasforma la fase di asciugatura in un'operazione velocissima e non degradante per nessun materiale.

TAVOLA 08

4.3 Provini funzionali

4.3.1 Face A

Il primissimo tassello per l'ottenimento di un buon risultato, in linea con i requisiti di progetto individuati, è stata la progettazione del modulo elastico base: un elemento minimo che permettesse all'intera struttura di godere della risposta a contatto con la schiena desiderata. La morfologia dello schienale ottenuta, infatti sarà sì disegnata partendo direttamente da misurazioni ad hoc, ma dovrà comunque prevedere quella lieve cedevolezza che permetta un contatto confortevole. Per ottenere questo risultato, si è pensato subito di tentare una integrazione con la matematica ottenuta dalle scansioni: producendo lo schienale con metodi di prototipazione rapida, è possibile inserire qualsiasi geometria e incorporarla direttamente a quella di base. Per trovare la soluzione ideale si è proceduto innanzitutto da una ricerca che indagasse cosa esistesse di analogo, nato nella ricerca dello stesso risultato. Tale ricerca ha portato fino a livelli microscopici, ottenendo infine il risultato desiderato: alcune soluzioni nanotecnologiche, ricercate per ottenere elasticità partendo da materiali rigidi, hanno generato per ispirazione le primissime proposte. A un primo livello si è lavorato con un metodo che prevedesse l'elaborazione delle geometrie attraverso modellatori software (Alias e Rhinoceros), per poi valutare solo visivamente quali potessero essere i problemi che tali soluzioni si portavano dietro. In questa prima fase si è lavorato su tre

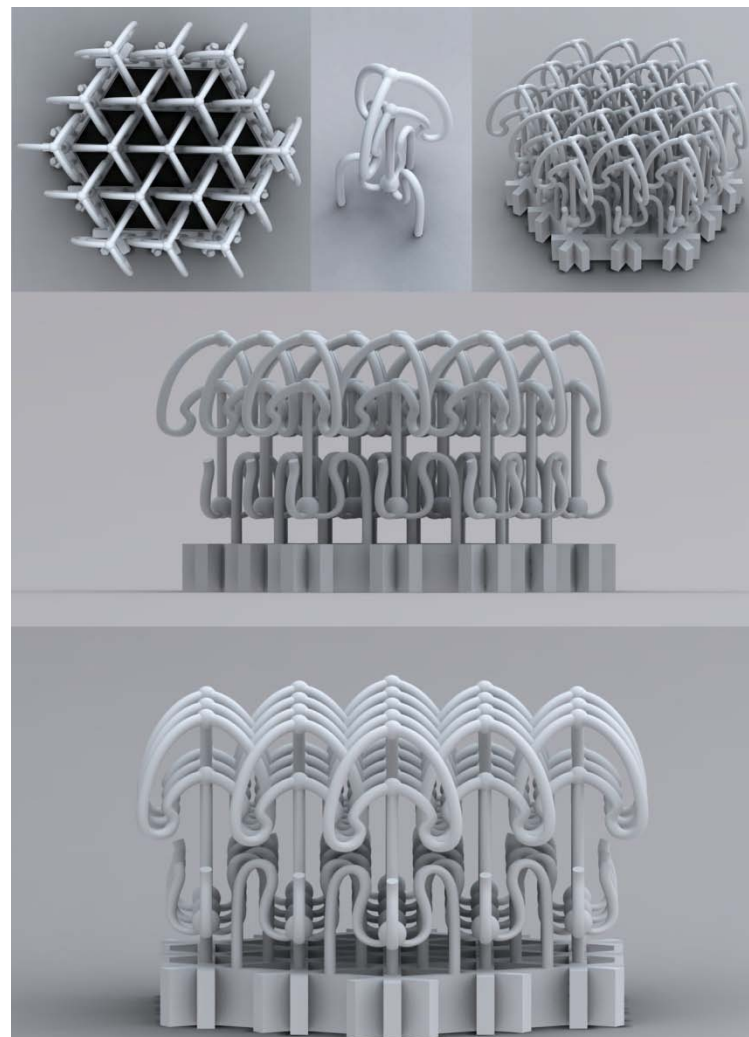


Fig.098 Ipotesi geometrica in fase preliminare di progetto

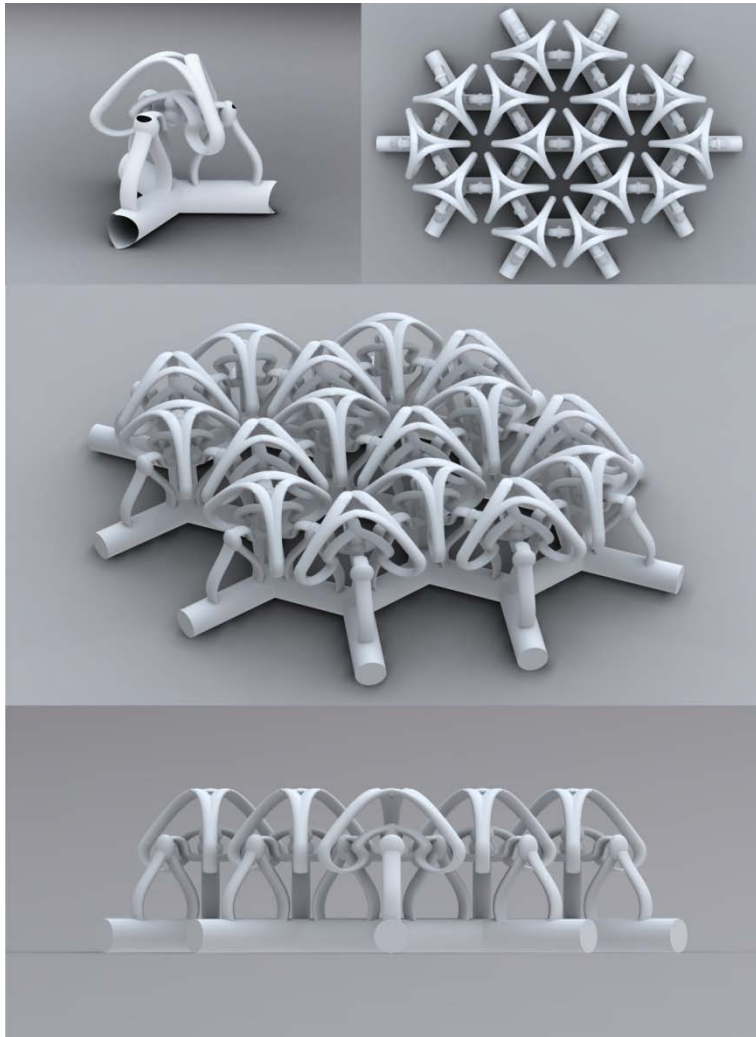


Fig.099 Seconda ipotesi geometrica in fase preliminare di progetto

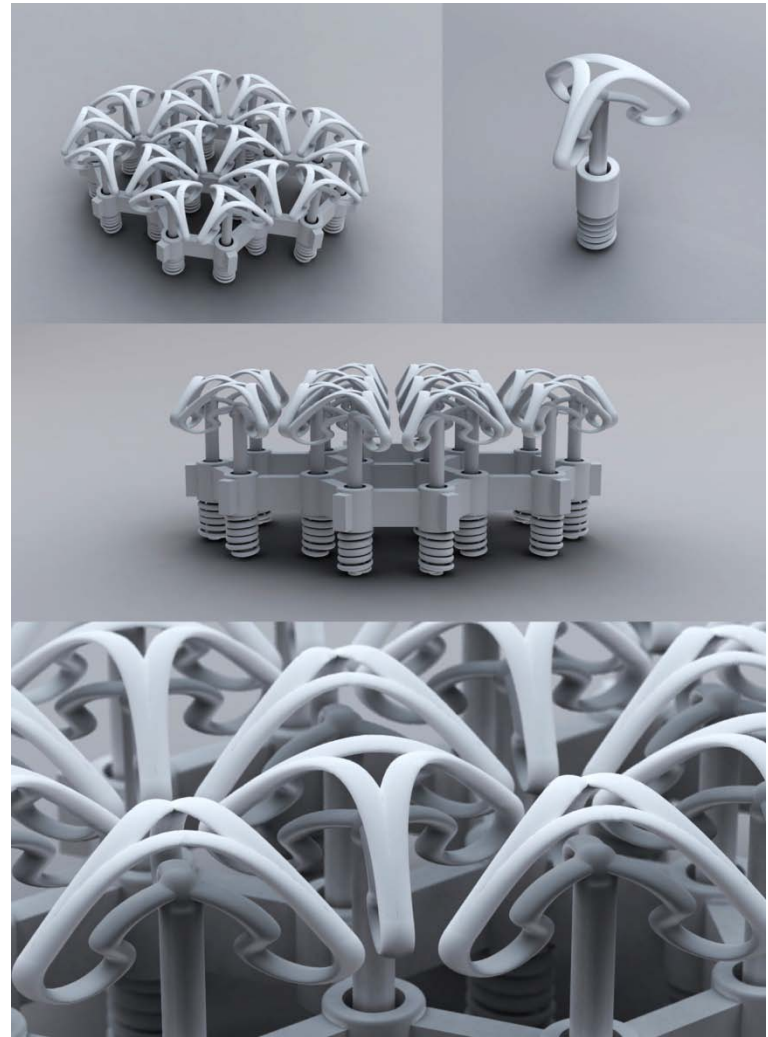


Fig.100 Terza ipotesi geometrica in fase preliminare di progetto

strade diverse che proponessero ognuna dei vantaggi differenti, naturalmente ciò implicava anche limiti insiti in ognuna. Può sembrare un approccio approssimativo che senza testare in pratica ogni soluzione non potesse portare risultati effettivi. In realtà le immagini ottenute da questi primi modelli non efficienti, sono servite allo scopo: aiutare nel dialogo con le varie professionalità con le quali si è collaborato, a rendere immediatamente chiaro quale fosse l'idea di partenza. Ciò ha aumentato sicuramente l'interesse verso questo studio e parallelamente la grande disponibilità che la maggior parte di loro ha mostrato. Si riporta che in questa fase ha giocato un ruolo fondamentale anche la consapevolezza di dover poi interfacciarsi con un software per modellazione 3D con alcuni limiti: Rhinoceros nella sua versione classica, usato per questa fase di costruzione virtuale, ha delle lacune per quanto riguarda la modellazione parametrica, soluzione ipotizzata per una sistematizzazione della progettazione degli schienali su misura. In una fase avanzata ci si ripropone poi di analizzare questa fase di costruzione del modello in modo da arrivare a definire un procedimento automatico di costruzione della mesh con metodo parametrico.

Successivamente le prime elaborazioni hanno subito naturali modifiche e alla fine sono state individuate 2 geometrie meritevoli di prototipazione. Ognuna di queste offriva a suo modo una soluzione

elegante al problema, ma solo una si è dimostrata come vedremo, performante al livello desiderato.

La prima delle due soluzioni è un modulo a forma di fungo, tre piccoli ponti incurvati si incontrano sulla parte in appoggio alla schiene e si sviluppano verso il basso con un andamento a serpentina, che ne produce il comportamento elastico. Questa geometria lavora su una faccia di contatto assimilabile a quella triangolare, e per questo gode di una ottima aderenza a superfici con doppia curvatura (come la schiena appunto), nonché una buonissima traspirabilità, dovuta alla già minima sezione dei tre ponti costituenti il modulo. Contemporaneamente ha un limite che in prima analisi si è considerato sufficiente a optare per l'altra soluzione: la serpentina non è abbastanza complessa per generare una escursione elastica adeguata allo scopo. Nell'insieme la struttura risulta ancora troppo rigida per permettere un affondo gradevole e confortevole. Si sarebbe potuto lavorare alla complessità dell'elemento, ma il successo dell'altra geometria ha di fatto escluso questa possibilità.



Fig.101 Le due renderizzazioni 3D della prima geometria scelta per la prototipazione

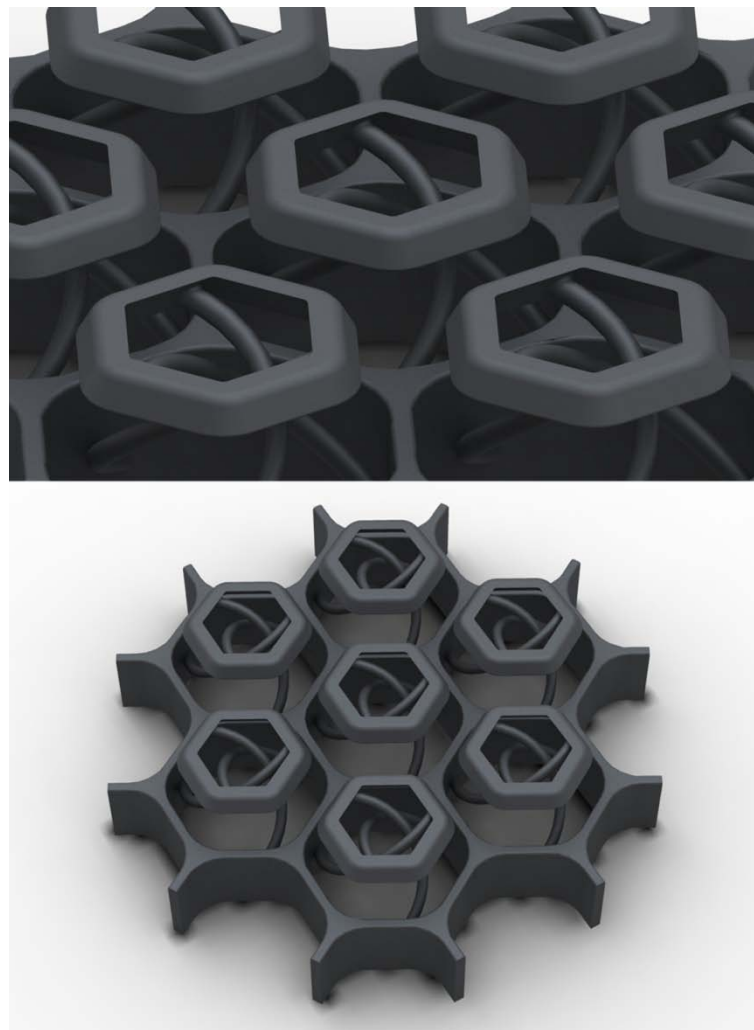


Fig.102 I due render 3D della seconda geometria scelta per la prototipazione

La seconda geometria nasce con un concetto ovviamente simile, ma di fatto riconducibile a strutture elastiche più familiari: le molle a spirale. Un elemento dal perimetro esagonale, forato nel centro per permettere la massima aerazione, è montato su tre "tentacoli" che si inseguono spiralmente sino ad affondare nelle pareti laterali degli alveoli del nido d'ape. Questi elementi esagonali sono quindi in sospensione sopra i fori e non sopra gli incroci del reticolo esagonale sottostante, diversamente dai precedenti. Ciò permette agli stessi un abbassamento sino a entrare nella struttura che li sostiene, costituendo di fatto un minimo spessore di ingombro per l'intera soluzione.

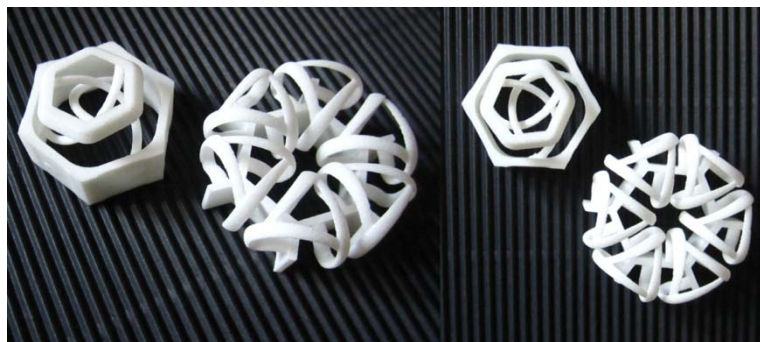


Fig.103 I due provini prototipati

I "tentacoli" sono tre per ottenere una buona stabilità rispetto alle forze di taglio naturalmente prodotte dall'uso dell'ausilio. Questa soluzione ha dato dal primo provino risultati incoraggianti; il passo successivo è stato lo studio delle parti critiche, sicuramente

migliorabili con un seconda tranches di stampate. Va precisato che non si è proceuto sommariamente, il costo di ognuno di questi provini (90€ circa), ha di fatto limitato le possibilità di ottimizzare al massimo la migliore geometria in assoluto, ma vincolato a scegliere una di quelle sperimentate e successivamente portarla a un buon livello di rendimento. Ciò non toglie che il risultato si consideri comunque molto soddisfacente. Vedremo nel prossimo paragrafo le criticità migliorate su questo modulo.

4.3.2 Face B

Per la seconda prototipazione si è scelto di accorpare in un unico pezzo tre moduli adiacenti. Si è cercato di ottenere soluzioni con diversi gradi di elasticità in modo da poter valutare praticamente il ritorno desiderato. Questa "stampata" ha dato risultati nettamente soddisfacenti, poiché le tre molle rispondono in maniera graduale alla forza impressa con tre risposte nettamente distinguibili. Il risultato è stato tanto più incoraggiante se si considera che le trasformazioni rispetto al modello precedente sono state diverse. *In primis* ci si era posti l'obiettivo di diminuire sensibilmente la dimensione del modulo base. Era parso chiaro fin da subito che nell'ipotesi di voler mimare la schiena per offrire una postura ottimale, nonché un massimo comfort, la frequenza di contatto tra le due parti doveva essere aumentata. Ciò è stato ottenuto diminuendo leggermente la dimensione del profilo esagonale a contatto con la schiena, ma soprattutto diminuendo molto la

dimensione delle luci dell'honeycomb di supporto, ottenendo un'avvicinamento tra i moduli stessi. Secondariamente si è agito sulla geometria della spira per continuare ad avere la stessa escursione verticale (11 mm), a fronte del ridimensionamento appena descritto. In questo caso si è presentato il problema delle sezioni minime stampabili in SLS. Queste si aggirano intorno ai 10 – 12 decimi di millimetro, misura già avvicinata dal precedente modello. Per ottenere risultati simili di resistenza si è dunque allungato ogni tentacolo, che prolungando la sua estrusione longitudinale ha fatto in modo da ottenere risultati simili ai precedenti seppur con sezione in rapporto maggiore. infine si è cercato di ovviare ad un problema di frattura, seppur non fino a rottura del pezzo, riscontrato nel primo modello. Questo era dovuto a una penetrazione della spira nelle pareti interne dell'honeycomb con un angolo troppo acuto, che evidentemente provocava uno sforzo sullo spigolo superiore troppo elevato, portando appunto alla frattura e propagazione della cricca con i carichi successivi applicati. Il problema è stato risolto ancora una volta agendo sulla geometria delle spire: si è modificata leggermente la sezione che ora è ovalizzata in senso orizzontale, e si è modificato il percorso della spira in modo da farla affondare in modo più normale alla superficie rispetto al caso precedente. Le tre possibilità rispondono in modo molto soddisfacente alle sollecitazioni, e come previsto danno tre risposte diverse. Solo una però ha uno sviluppo tale da garantire una sollecitazione prolungata senza rischi di frattura.

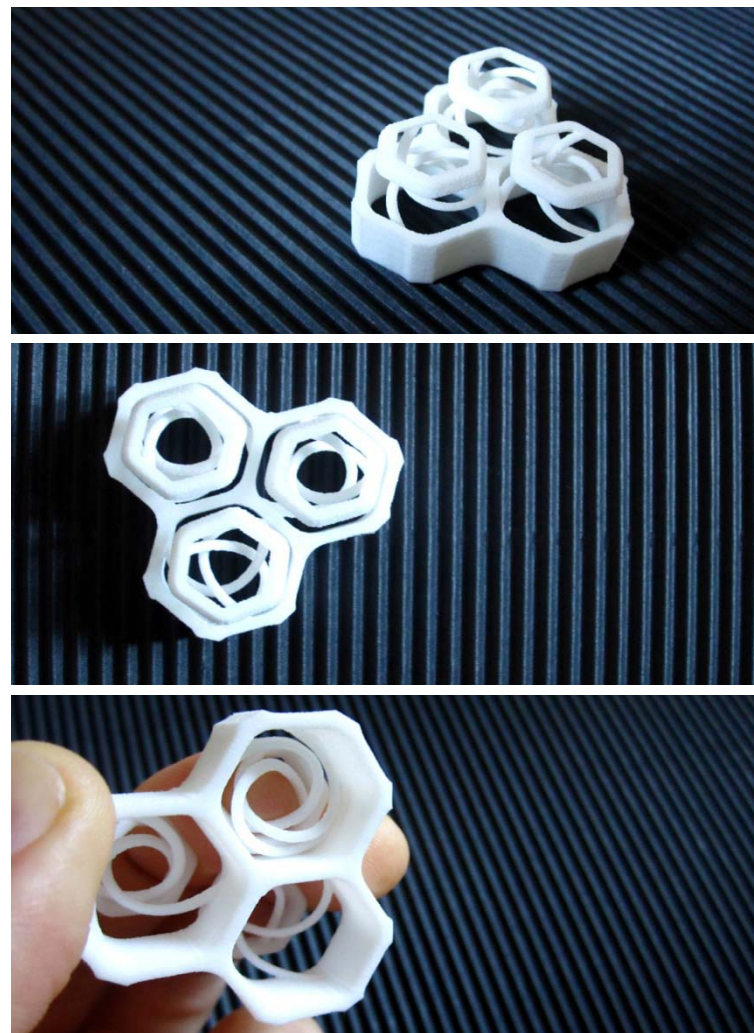


Fig.104 Face B con le tre conformazioni di molla

Si tratta del modulo con le spire più sviluppate, che essendo più lunghe e avendo una curvatura più ampia, non entrano mai in contatto reciproco quando compresse. Questo garantisce una assenza di qualsiasi usura dovuta al continuo contatto tra le parti, problema che in fase preliminare di progetto suscitava non poche preoccupazioni.

Con l'ulteriore sviluppo della geometria si è raggiunto un buon risultato, un compromesso tra risposta elastica e complessiva robustezza conforme ai requisiti considerati come obiettivo. La soluzione descritta nell'ultimo paragrafo viene quindi impiegata come modulo base da replicare sull'intera superficie d'appoggio per ottenere un buon comfort e una massima dispersione dei punti pressori di picco nelle aree della schiena.

CAPITOLO QUINTO

Il processo

5.1 Calco schienale provvisorio

L'acquisizione della superficie dello schienale ha seguito un approccio sperimentale alternativo alla procedura più adatta. Le condizioni di partenza non permettevano infatti di poter privare il paziente del proprio schienale per permettere l'iter progettuale consigliabile in situazione normale. Con "situazione normale" si intende il processo per il quale la realizzazione dello schienale richiede un tempo dato, espressamente dedicato a tale scopo per creare l'ausilio più adatto; in queste condizioni solitamente il paziente prova il supporto, e dopo deve privarsene per permettere la eventuale realizzazione definitiva delle parti in gommapiuma o polistirolo. Si è dovuto, in questo caso, seguire un percorso alternativo: non potendo chiedere al paziente di privarsi del suo schienale, anche se per pochi giorni, e provvedere alla scansione. La necessità è comunque quella di ottenere una superficie gemella analoga a quella dello schienale che si possa gestire autonomamente, rispettando i tempi che le strutture ausiliarie allo scopo impongono (ci riferiamo in questo caso al laboratorio di reverse modelling che fornisce il servizio di acquisizione 3D). Il risultato è stato ottenuto producendo un calco in gesso su stampo in sabbia. Dopo le opportune osservazioni, è stato scelto questo

metodo poiché la base di partenza in gommapiuma non era abbastanza rigida per poter agire attivamente su di essa e provocare la depressione desiderata su un supporto malleabile. Analogamente si è osservato come nemmeno la pressione su sabbia fine potesse dare risultati ottimali. Si è quindi optato per ricoprire l'imbottitura con sabbia umida, capovolgere il tutto e asportare delicatamente lo schienale, avendo cura di non alterare le pareti fragili della struttura. Successivamente è stata applicata una soluzione di acqua e colla in sufficiente quantità che potesse permettere un indurimento superficiale e una gestione migliore del pezzo, ovvero le condizioni ottimali per poi produrre la copia in gesso. Questo materiale è adatto anche per la risposta ottica che produce rispetto ai laser dell'acquisizione 3D. Vedremo nei paragrafi successivi perché l'opacità della superficie da acquisire è importante. Successivamente all'indurimento della massa sabbiosa in superficie, si è proseguito con la colata in gesso. Il processo permette di ottenere un calco fedele alla forma dello schiumato originale, unica alternativa se non si ha la possibilità di disporre dello schienale. In fase di estrazione del calco è stato necessario rompere il guscio sabbioso che lo avvolgeva e procedere alla pulitura, raschiando via tutti i residui di sabbia rimasti adesi al gesso; la buona riuscita del manufatto ha evitato che l'intera procedura dovesse essere ripetuta dall'inizio. Va precisato che usare questo processo così artigianale è stato l'unico modo per procedere: la possibilità di disporre dello schienale originale avrebbe permesso il passaggio diretto alla fase successiva di scansione. Nella

eventualità che la finitura superficiale non si prestasse ai rilevamenti ottici dello scanner 3D, si sarebbe potuto ricoprire la stessa con un tessuto opaco, elasticizzato a sufficienza per poter ricopiare precisamente la geometria dello schienale originale. E' evidente come le condizioni particolari nelle quali ci si è trovati ha costretto a un approccio che tenesse in priorità necessità diverse. In particolare la disponibilità dello schienale del paziente per poche decine di minuti e l'impossibilità di usare materiali di stampo che lo sporcassero eccessivamente o addirittura ne compromettessero l'uso.



Fig.106 La produzione del calco in sabbia



Fig.105 Fase di smontaggio dello schienale



Fig.107 Il calco pronto per la solidificazione con colla



Fig.108 Il gesso appena colato nel calco in sabbia



Fig.110 Rimozione della sabbia attaccata al gesso



Fig.109 Lo stampo estratto dal calco

A riprova che gli attuali metodi per la produzione delle imbottiture personalizzate non sono certamente impeccabili, abbiamo constatato come la parte in polistirolo più rigida in aggiunta alla gommapiuma, costituisce in realtà un piccolo “zoccolo” che sulle pareti verticali non è portato a livello della gommapiuma stessa: esso produce 2 gradini che potrebbero sicuramente essere eliminati, aumentando l’omogeneità della superficie e, ne siamo convinti, il comfort. Si è quindi deciso di portare questo dislivello a zero, operando direttamente sulle matematiche digitali, in modo da limitare il più possibile lavorazioni manuali lunghe e poco precise.

5.2 Rilevazione matematiche

L'acquisizione tridimensionale è il processo che permette di passare da un oggetto fisico alla sua rappresentazione digitale. Ciò è indispensabile per poter ottenere le matematiche sulle quali verranno applicati i micro-moduli elastici testati. Con la scansione 3D ogni ripresa può essere immaginata come una foto della quale otteniamo le coordinate spaziali dei punti della superficie inquadrata. L'unione di più riprese singole e la fusione in un unico modello poligonale (mesh), danno vita a un modello digitale fedele al manufatto fisico. La luce è l'elemento su cui si basano le tecniche di rilievo digitale più avanzate, ma non è detto che tutte le zone di una struttura geometrica possano essere "viste" dal sensore. Dopo aver "fotografato" da più angolazioni il manufatto è necessario comporre tali acquisizioni in un unico risultato: oltre a ciò l'editing è necessario per l'eliminazione delle eventuali lacune dovute alla presenza di zone non raggiungibili dalla luce. Al termine di queste procedure, dal modello digitale completo in ogni sua parte si possono estrarre semplici informazioni come misure lineari, spessori o diametri ma anche intere matematiche di superficie come nel nostro caso.



Fig.111 Rilevamento con scanner 3D del calco

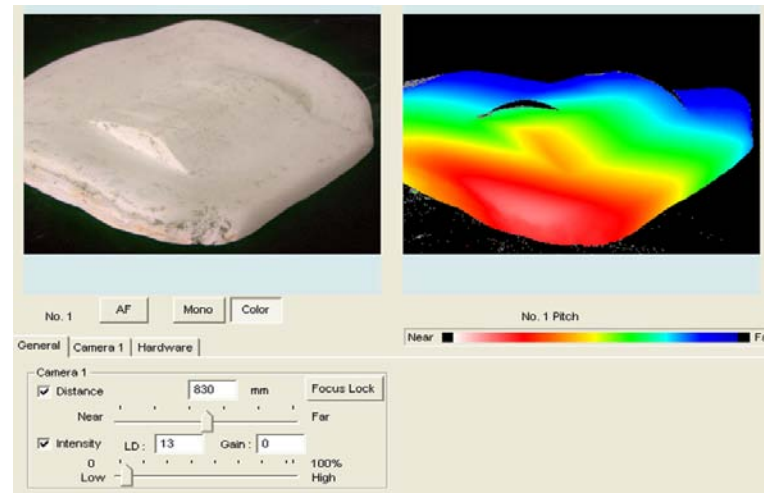


Fig.112 Screenshot di una delle viste rilevate

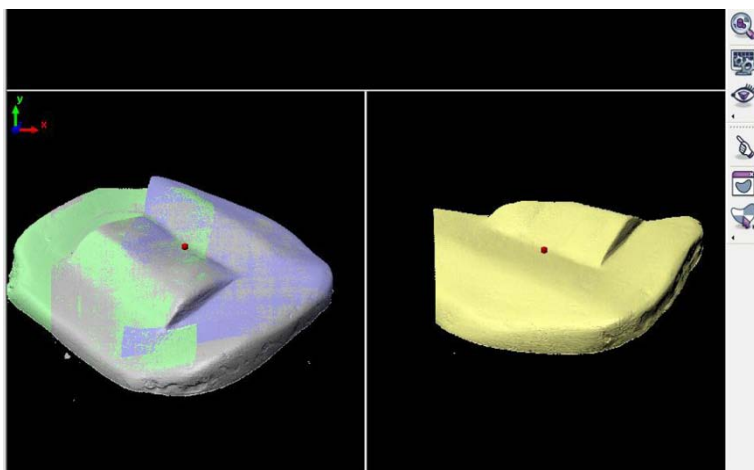


Fig.113 Fase di accoppiamento scansioni con software PolyWorks Align

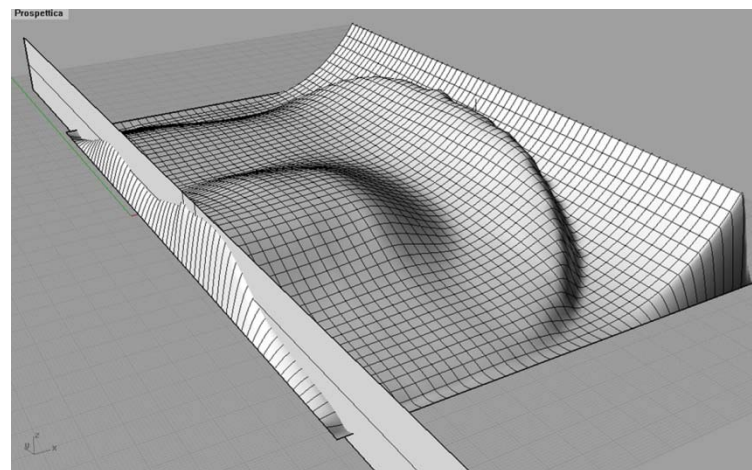


Fig.115 Torsione della parte laterale per ricreare l'effetto contenimento

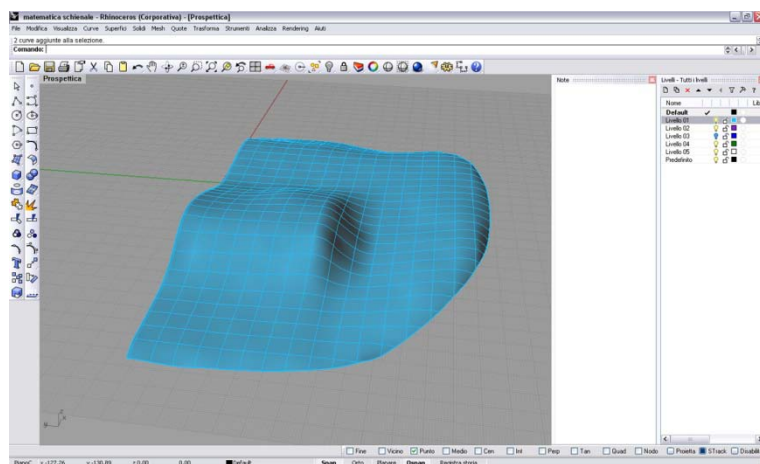


Fig.114 Rielaborazione della mesh in Rhinoceros 4

5.3 Elaborazione modello rigido

Il "tappeto" di moduli è posizionato, come già descritto, su una struttura a nido d'ape ottenuta estraendo verticalmente una serie di esagoni affiancati. Una volta ottenuta la forma standard si è agito virtualmente per sottrazione booleana sul solido modellato. In pratica si è tolta una quantità di materiale utilizzando come "dima" la superficie elaborata a seguito dell'acquisizione 3D dello schienale, ottenendo così l'appoggio sulla schiena desiderato, progettato appositamente per il paziente. Il modello viene sottoposto ad una ulteriore lavorazione: i lembi laterali vengono incurvati verso l'interno per andare a ricalcare l'effetto di contenimento del tronco che si ha sullo schienale di prova (nel nostro caso il prodotto finito di

Nicolò). Tale operazione è da effettuarsi successivamente poiché nel suddetto schienale questo supporto è portato dalla shell rigida alla quale si fissano gli schiumati, che non era possibile includere nell'operazione di calco per una buona riuscita dello stesso. L'obliquità delle alette laterali è stata quindi rilevata fisicamente con misurazioni manuali; essa risulta essere inclinata di 46° rispetto alla parte centrale dello schienale. L'abbraccio viene così ottenuto attuando una operazione di leggero "bending" del modello sino a raggiungere il risultato. A questo punto non resta che produrre una cornice di bordo che corra linearmente su tutto il profilo dello schienale. Successivamente in corrispondenza dei ponti degli honeycomb e dello stesso bordo vengono effettuati dei fori, che serviranno per l'applicazione della fodera.

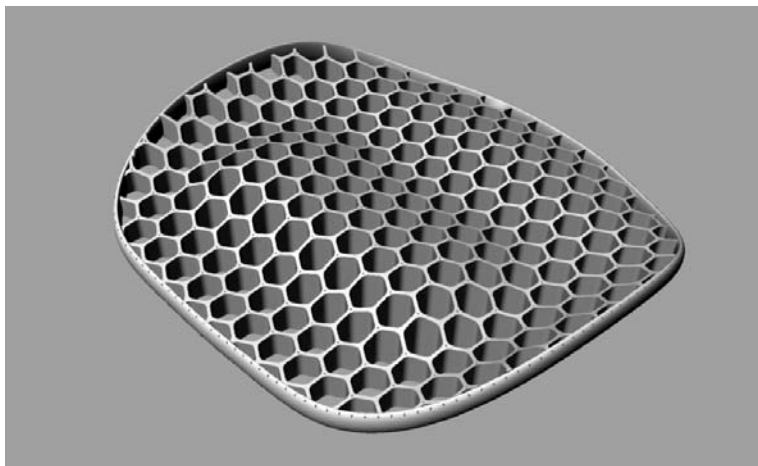


Fig.116 Sviluppo della geometria Honeycomb partendo dalla superficie rilevata

5.4 Posizionamento dei moduli superficiali

La superficie pulita geometricamente è ora conformata per il raggiungimento degli obiettivi posturali desiderati. La fase successiva prevede l'applicazione delle micro molle in corrispondenza dei fori esagonali. Questa operazione svolta manualmente in questo studio, potrebbe essere effettuata automaticamente con l'utilizzo di software di modellazione parametrici, purtroppo non disponibili nel nostro. Comunque, si consideri che sono software professionali, complessi ed esigenti dal punto di vista dell'hardware richiesto, per questo non considerati indispensabili all'unica realizzazione del modello di questo studio.

Il posizionamento delle molle è stata un'operazione molto precisa: da una parte è stato necessario fare attenzione che fossero sempre parallele alla superficie sottostante, poi che non entrassero in contatto, in punti che di conseguenza ne avrebbero determinato l'attaccamento in fase di stampo. Ultimo non banale accorgimento che avessero tutte la stessa distanza dalla superficie sottostante in modo che essa potesse essere riprodotta nel modo più fedele possibile.

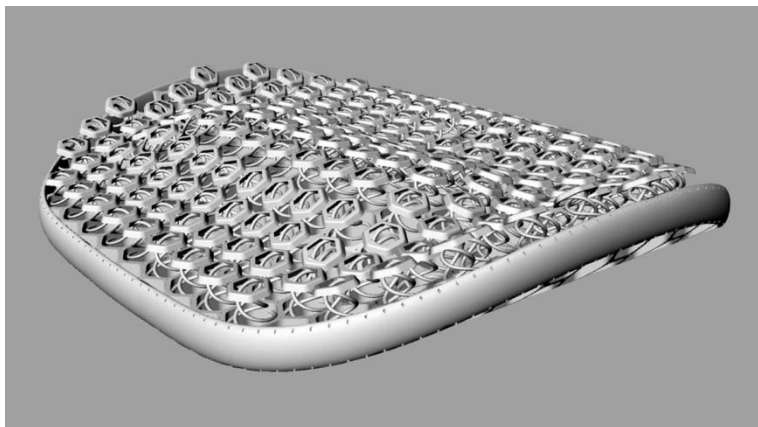


Fig.117 Moduli correttamente posizionati, con fronte parallelo alla superficie rilevata

Alcuni problemi sono stati riscontrati in prossimità dei bordi, dove alcune celle esagonali venivano ovviamente troncate dal bordo già modellato. In alcuni casi è stato possibile inserire ugualmente le molle, in altri, essendo le celle mancanti per troppa parte, sono state omesse. Nella totalità dello schienale si crede che la parziale mancanza di piccoli appoggi in zone periferiche non costituisca problema.

5.5 Lavorazioni accessorie

L'ultimo step prima del completamento definitivo della mesh di stampa è costituito dall'aggiunta delle ultime features, indispensabili allo schienale. Innanzitutto gli alloggiamenti posteriori delle viti di fissaggio al telaio, ottenuti apportando materiale pieno, che potesse

ben distribuire i carichi su tutto l'honeycomb. Essendo la direzione delle viti perpendicolare alle ali oblique (46°) dello schienale, gli alloggiamenti dei canali per esse è stato ricavato immerso tra due finestre esagonali, passante obliquamente dall'una all'altra. La soluzione anche se non molto pratica, rende invisibile questa parte esteticamente non gradevole. Nell'applicazione di questi elementi è stato considerato un alloggiamento accessorio per delle possibili lamelle in carbonio che si potessero assicurare alla parte posteriore dello schienale, nell'operazione di fissaggio al telaio. Questa scelta deriva del fattore difetto che le lavorazioni di SLS saltuariamente propongono: è possibile che questi macchinari durante la lavorazione possano produrre piccoli difetti geometrici, dovuti a vibrazioni anomali o semplici errori di calcolo. Non potendo pensare di stampare un secondo schienale di prova in presenza di questi piccoli difetti è stato preferito preveder queste lamelle, da usarsi nell'incertezza che i difetti producessero qualche propagazione di cricca e cedimenti strutturali più importanti.

L'ultimissima operazione è stata quella di applicazione delle lamelle centrali e laterali. Gli elementi sono progettati per andare a proteggere quelle micro molle che nel posizionamento a margine risultavano sporgere leggermente dal bordo. L'applicazione rende gli elementi meno vulnerabili, soprattutto una volta contenuti dalla fodera esterna.

TAVOLA 09

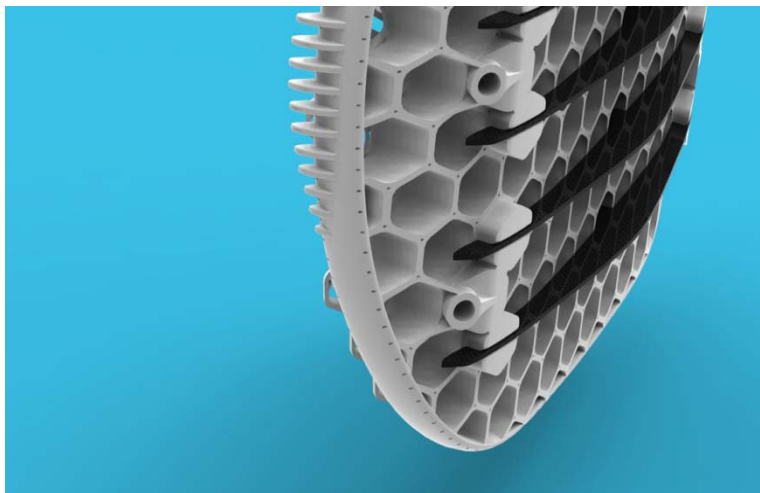


Fig.118 Alette laterali e supporti per ancoraggio al telaio

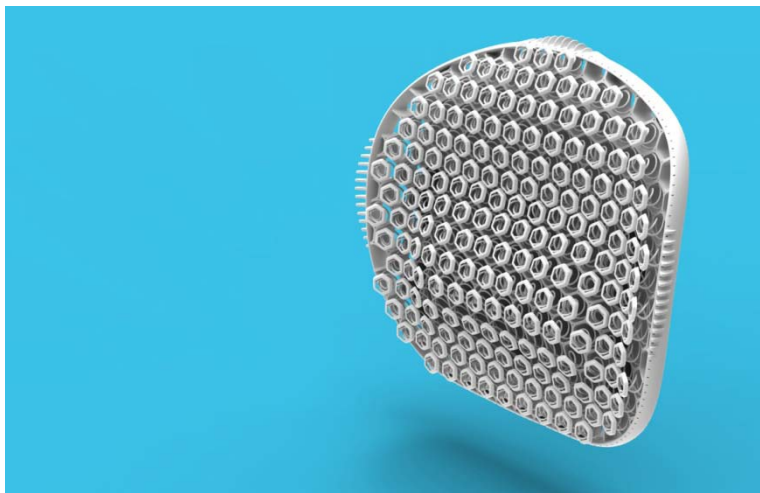


Fig.119 Vista in tre quarti del modello completato

CAPITOLO SESTO

Il prodotto

6.1 Prototipo

La realizzazione fisica del pezzo non è certo scontata quando si realizza un progetto in ambiente accademico: la finalità di dimostrare l'apprendimento di un metodo adeguato di ideazione di un prodotto, attingendo a tutte le nozioni teoriche e pratiche affinate negli anni di studio può essere raggiunta anche accontentandosi di un punto di arrivo di visualizzazione digitale. Questa possibilità è stata ovviamente valutata anche in questo caso (soprattutto a fronte della spesa necessaria alla realizzazione del modello in Selective Laser Sintering), ma abbandonata in favore di una valutazione finale empirica, con prove d'uso vere e proprie. Questo è stato fatto per due principali motivi.

Innanzitutto è risultato evidente a chi avesse seguito il percorso espositivo quanto l'approccio fosse stato fin da subito sperimentale, considerata l'effettiva scarsità di lavori vicini a questo per finalità e metodo di realizzazione, e quindi quanto fosse utile poter valutare i risultati toccandoli con mano.

Poi, forse ancora più importante, la sempre più crescente coscienza di lavorare a un progetto di effettivo interesse, dimostrato a più riprese nei vari confronti con le figure professionali coinvolte, vuoi

per un consulto pratico o per un parere generale sull'idea di progetto. La possibilità di poter presentare l'intero progetto di ricerca, aiutati dall'esistenza di un modello fisico a tutti gli effetti esattamente uguale al prodotto finito ideale, è sembrata irrinunciabile. La collaborazione di Nicolò, anche in questo caso, porterà il progetto ad una certa visibilità che anche se non proficua per il proseguimento del lavoro, sarà certamente utile ad arricchire le sperimentazioni effettuate in questo campo, dando spunti di progetto anche ad altri progettisti.

6.1.1 Il corpo stampato

Il prodotto stampato risulta ben riuscito, l'unica pecca riscontrabile è l'assottigliamento degli elementi molla posizionati vicino ai bordi dello stesso. Il modello infatti ha subito la canonica procedura di leggera sabbiatura, che si effettua sempre su pezzi prodotti in SLS, senza considerare la già minima sezione degli stessi. Il processo ha ulteriormente assottigliato tali elementi che purtroppo risultano più fragili del dovuto. Non essendo realistico pensare a una nuova stampata (a causa del costo), viene preso atto del risultato, buono ma non ottimale; per ovviare al problema si cercherà di trattare tali parti con un occhio di riguardo nel momento in cui si posizionerà la fodera di copertura/protezione delle molle. Questa parte di tessuto che si colloca sulle molle ha la doppia funzione igienica e protezione delle parti in poliammide.



Fig.120 Fotografia 1 del modello prodotto in poliammide



Fig.122 Fotografia 3 del modello prodotto in poliammide

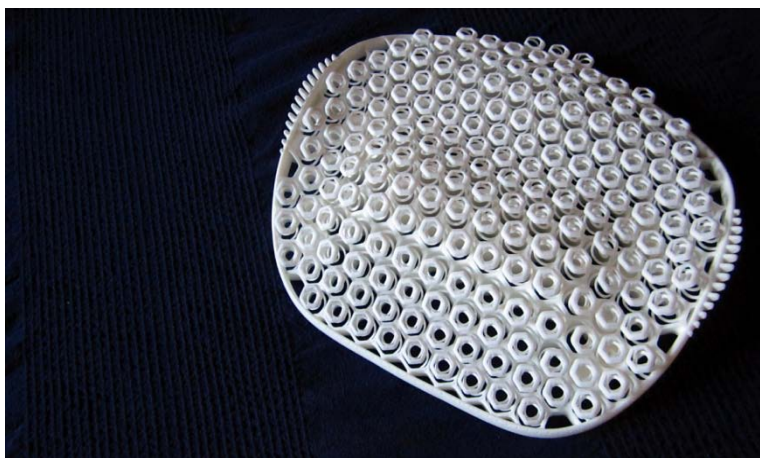


Fig.121 Fotografia 2 del modello prodotto in poliammide

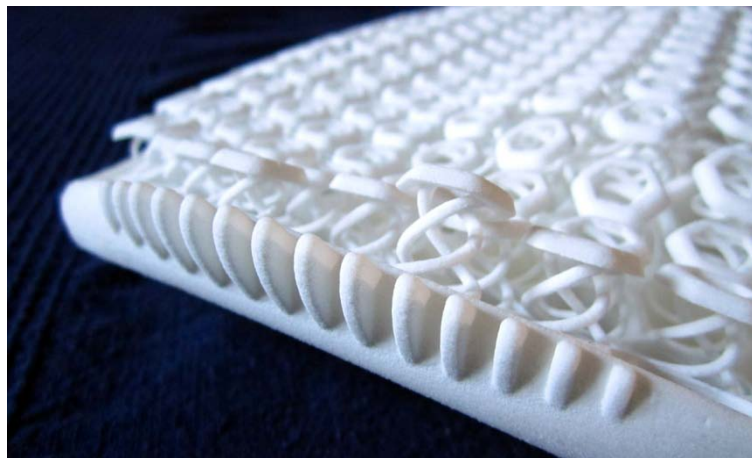


Fig.123 Fotografia 4 del modello prodotto in poliammide



Fig.124 Fotografia 5 del modello prodotto in poliammide

In ogni caso si riscontra che sugli elementi molla sarebbe meglio non attuare nessun processo ulteriore di finitura una volta completata la stampa, proprio per non modificare geometrie che sono studiate al decimo di millimetro per rendere in maniera ottimale.

Si considera che probabilmente lo sviluppo di materiali, sicuramente presente nei nell'immediato futuro, studiati appositamente per l'SLS, sarà un beneficio notevole per il progetto, essendo le geometrie impiegate ricche di ponti sottili, proprio per massimizzare l'areazione.

6.1.2 I supporti in carbonio

Nella parte posteriore dello schienale, in corrispondenza dei blocchi che ospitano le sedi delle viti di ancoraggio, sono state ricavate

quattro fessure, per inserire 4 lamelle di carbonio. Questi quattro pezzi identici, orientati perpendicolarmente rispetto alle spinte di carico sullo schienale, vogliono essere un livello ulteriore di garanzia di resistenza a flessione dello stesso. Il profilo di ognuno si allarga leggermente nella parte centrale, in corrispondenza della colonna, per dare slancio all'estetica dell'intero schienale. Nello stesso ogni lamella penetra negli esagoni centrali dell'honeycomb, così da non permettere lo slittamento laterale sulle fessure e il decentramento del pezzo stesso. Un accorgimento, quest'ultimo, che rende inutili ulteriori fissaggi delle parti favorendo assemblaggio e smontaggio. Una volta fissato lo schienale al telaio, le stesse staffe impediscono alle lamelle di muoversi definitivamente dalla propria sede.



Fig.125 I quattro supporti strutturali in carbonio



Fig.126 Il profilo del supporto

6.1.3 La fodera

La fodera protettiva svolge un ruolo importantissimo con 2 funzioni fondamentali. La prima è quella di consentire un appoggio igienico poiché si può facilmente rimuovere e lavare. La seconda è quella di protezione dei piccoli moduli a molla. Soprattutto vicino al profilo esterno dello schienale, infatti, essi sono particolarmente esposti a urti accidentali e nonostante siano posizionati in modo da limitare il fenomeno, è sicuramente utile un ulteriore accorgimento per tutelarli.

La ricerca dei tessuti adatti allo schienale è stata impegnativa: non si voleva certo vanificare parte dello sforzo per rendere la struttura massimamente traspirante, andando a scegliere dei tessuti che limitassero questo effetto. Dopo una selezione tra più possibilità, sono stati scelti 2 tessuti, uno della tedesca Eschler e uno della taiwanese Sing Bwo. Sono stati cuciti in modo che il secondo, più spesso e resistente, offrisse maggior protezione nei punti critici, ovvero i bordi dello schienale e la striscia centrale di appoggio della colonna; mentre il primo costituisca zona di massima traspirazione nelle due aree di appoggio dei dorsali.



Fig.127 Il 3D textile di Sing Bwo sui moduli elastici



Fig.128 Il fissaggio della fodera provvisoria per la prova

Le asole sul perimetro esterno servono per una veloce applicazione del pezzo. Si è scelto di non ricoprire lo schienale nella zona posteriore, per massimizzare il passaggio d'aria attraverso di esso. Questi piccoli cappi sono poi fissati a perni, liberamente posizionabili sulla parte posteriore dello schienale; si è scelta questa soluzione perché può risultare utile poter tendere la fodera anche in zone centrali della schiena, come nel caso in cui il tessuto rilassato favorisca l'appiglio ai moduli molla sottostanti. La piccola applicazione di tessuto catarifrangente sul retro risulta ovviamente utile in caso di transito in strada in condizioni di poca luce.

6.2 Implementazione

Una volta pronte le parti accessorie dello schienale si è passati al montaggio sul telaio della carrozzina. I supporti in carbonio sono bloccati automaticamente nelle loro sedi nel momento stesso in cui lo schienale viene fissato alle staffe. Il posizionamento dei bulloni risulta piuttosto scomodo, ma in questo modo essi rimangono invisibili e non è necessario rinunciare a nessun elemento molla; una volta preso il filo del bullone la vite si riesce ad avvitare facilmente, il bullone stesso gode di un parziale effetto autobloccante nella sede dell'honeycomb a lui destinata. In questo caso si sono stampati degli alloggiamenti per le viti e i bulloni adattati alle staffe già in dotazione allo schienale di Nicolò. Si è considerato questo pezzo come un accessorio a sé e non come oggetto da riprogettare in questa sede.



Fig.129 Lo schienale fissato al telaio

Una volta assicurato lo schienale, prima di stringere i bulloni, ci si assicura che la posizione sia quella adeguata al paziente, che in questo caso significa posizionarlo centralmente tra i due tubi del telaio con una inclinazione all'indietro di 4 gradi rispetto all'asse verticale: è possibile agire sulle regolazioni delle staffe per inclinare lo schienale, alzarlo e abbassarlo e avanzare o arretrare sull'asse longitudinale.

Una volta posizionato, fissato e regolato in altezza profondità e inclinazione lo si ricopre con la fodera, indispensabile per avere un doppio effetto di protezione sia per le molle nei confronti dei movimenti della schiena, sia per gli indumenti nei confronti della struttura.

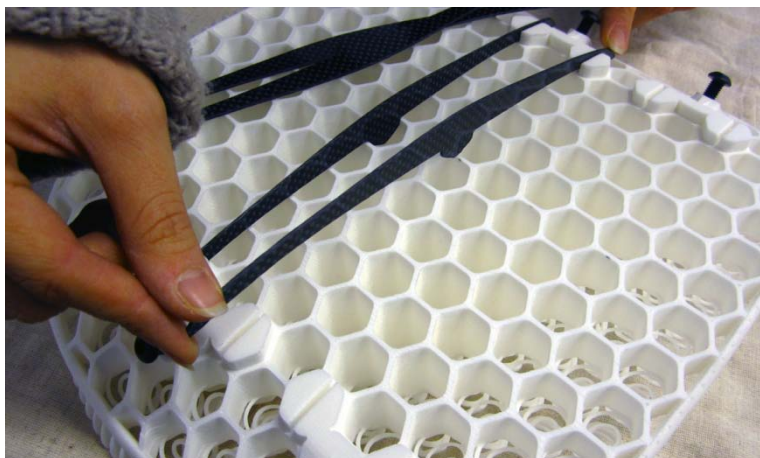


Fig.130 L'applicazione dei supporti in carbonio



Fig.131 L'applicazione delle viti

6.3 Uso

Il primo approccio di Nicolò è stato positivo, ha trovato uno schienale dalla risposta elastica eccellente: è rimasto molto soddisfatto dalla sensazione di solidità nel supporto alla schiena contemporaneamente a un appoggio confortevole, nonostante l'effetto cuscino sia minore rispetto al suo schienale in gommapiuma. Abbiamo constatato che questo è dovuto all'aderenza alla schiena non ottimale, che limita purtroppo anche il risultato di buona suddivisione dei carichi di pressione. In pratica ci sono alcuni punti in cui la schiena di Nicolò non appoggia aderente allo schienale, andando a limitare l'effetto di comfort e sollecitando più del dovuto le molle sulle quali invece è portata la pressione. Si considera quindi che la fase di acquisizione per mezzo di calco dello schienale attualmente impiegato da Nicolò deve sicuramente essere migliorata, per poter ottenere in fase definitiva un supporto più preciso per la sua schiena. La prova successiva consta di un uso prolungato di una giornata, utile sia per approfondire l'aspetto di supporto alla postura, sia per saggiare la robustezza delle molle. Si è già riportato come purtroppo un mancato accorgimento in fase di produzione dello schienale, abbia indebolito le spirali delle molle. Quindi si è considerato piuttosto centrale questo test di stress quotidiano della struttura, proprio per capire se il materiale impiegato può essere effettivamente proposto come soluzione definitiva.



Fig.132 Prova dello schienale

Si registra alla fine della giornata un risultato soddisfacente dal punto di vista della prestazione generale dell'ausilio, ovvero una conferma sul corretto sostegno alla schiena unito ad un appoggio confortevole. D'altra parte si considera che la rottura di un modulo della struttura evidenzia una scelta di materiale non ottimale, sensazione già presente dopo la prova preliminare. Questa sensazione deriva dal fatto che i moduli nell'inevitabile sfregamento reciproco tendono a produrre troppo attrito, causando saltuariamente l'incastro di uno con l'altro e un rumore sicuramente non desiderabile. Una soluzione migliore sarebbe sicuramente il ricorso a un materiale meno fragile (purtroppo non considerabile in questa sperimentazione per motivi di costo), e dalla finitura superficiale più liscia.



Fig.133 La risposta all'appoggio di Nicolò

L'ultima considerazione è dovuta al fatto che lo schienale è stato provato con clima invernale, e quindi non è stato possibile constatare pienamente i benefici derivati da una traspirazione sicuramente aumentata rispetto al modello in uso da Nicolò.

6.4 Manutenzione

L'unica operazione di manutenzione richiesta nell'uso quotidiano dello schienale è quella di lavaggio della fodera, facilmente asportabile manualmente senza dover smontare nulla. Si può tranquillamente lavare in lavatrice, grazie ai materiali utilizzati asciuga in pochissimo tempo e quindi non è obbligatorio privarsi della carrozzina per più ore.

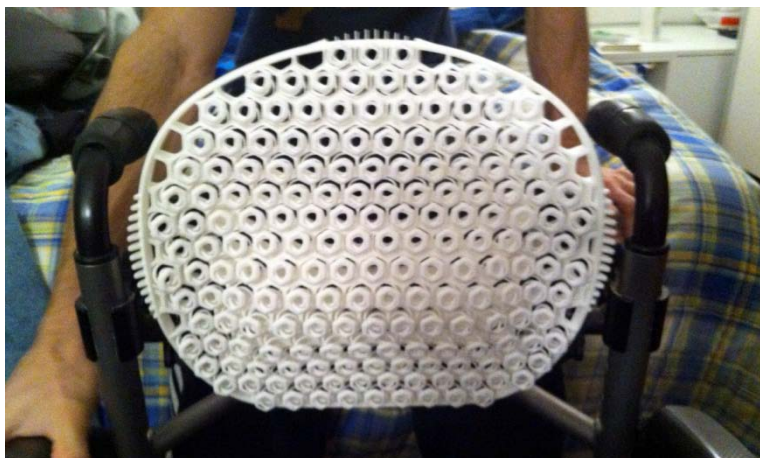


Fig.134 Fase di montaggio dello schienale

Saltuariamente è consigliabile stringere i quattro bulloni di fissaggio che, come spesso accade in parti sollecitate continuamente, tenderanno ad allentarsi un minimo.

6.5 Il sistema prodotto

Nell'ottica di offerta di un servizio che risolve nel migliore dei modi un' esigenza di postura ottimale sull'ausilio carrozzina, invitiamo a riflettere su alcune fasi che, se opportunamente inserite nel processo di progettazione e produzione dello schienale aiuterebbero ad ottenere un meccanismo più efficace, veloce e preciso. Queste fasi sono la possibilità di provare la struttura preventivamente su un modello modificabile con le geometrie uguali a quelle stampate in

via definitiva, e l'implementazione di una modellazione 3D con software parametrici. Tali passi sono particolarmente complessi tanto che potrebbero richiedere uno studio di tesi dedicato. Non si è voluto inserirne lo sviluppo in questo percorso, poiché troppo marginali al fuoco del progetto, nonostante si sia reputato giusto ricordare in ultima analisi la loro importanza in una eventuale implementazione dell'intero processo di sviluppo di schienali su misura in Selective Laser Sintering.

6.5.2 Schienale modulare per test

Il passaggio obbligato da uno schienale di prova, per lo più elaborato con schiumati, per poi approdare a uno definitivo che sostituisca questi schiumati con dei piccoli moduli dal principio elastico di molla, è una parte del processo migliorabile. Il passaggio non è certo automatico, e probabilmente, anche se la postura non è affetta da questo shift tecnologico, la risposta di comfort può variare leggermente, e rimane difficile da controllare. Si è quindi ipotizzata l'implementazione nel sistema prodotto di un ausilio schienale valutativo. Uno schienale a tutti gli effetti che possa essere conformato con gli spessori e cambiamenti di curvatura necessari, al quale sia possibile applicare, in un secondo livello, delle micro molle del tutto analoghe a quelle che saranno stampate sullo schienale definitivo. Da questa risorsa avremmo una risposta sicuramente più convincente per il paziente e facilmente replicabile per la tecnologia.

6.5.3 Modellazione parametrica

Al pari delle riflessioni precedenti e dell'analisi dello schienale come sistema prodotto, è risultato chiaro che la fase di elaborazione Computer Aided Design del modello tridimensionale rimane un punto debole, a meno di una sistematizzazione. Tra le possibili scelte rimane la più plausibile quella dell'utilizzo di software parametrico durante l'elaborazione del modello, e in particolare della stesura dei singoli elementi molla. Per raggiungere tale obiettivo è possibile procedere sempre attraverso Rhinoceros, con l'uso di un plug-in specifico per lavorazioni parametriche chiamato Grasshopper, o con altri software più orientati all'ingegnerizzazione, come Pro Engineer. Non è stato possibile indagare a fondo questa possibilità, anche se si riconosce evidentemente il beneficio che porterebbe per una implementazione del prodotto servizio di progettazione e fornitura dello schienale. Si pensa alla possibilità, una volta ottenuta la matematica della superficie d'appoggio, che i singoli moduli a molla vengano automaticamente posizionati all'interno delle loro sedi seguendo chiaramente le curvature della mesh, e che dove fosse richiesto, si possano anche minimamente ridimensionare per evitare problemi di penetrazione dei solidi.

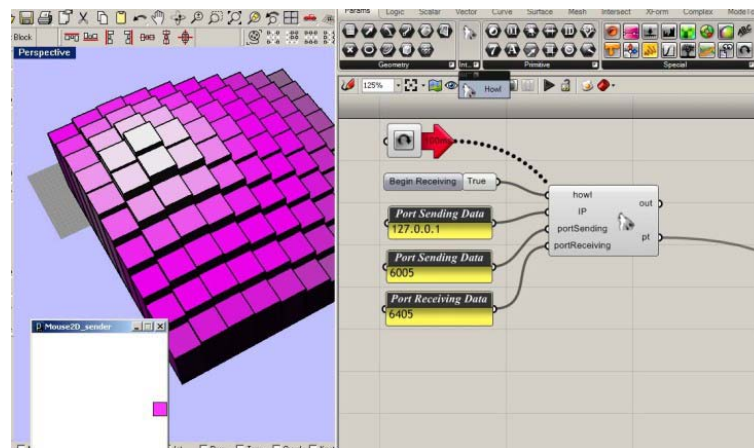


Fig.135 Software di modellazione parametrica Grasshopper

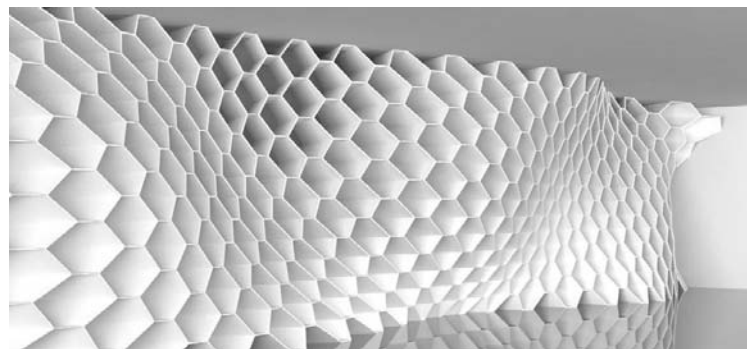


Fig.136 Esempio di geometria ottenuta parametricamente

CAPITOLO SETTIMO

Le conclusioni

7.1 Considerazioni finali

Si è trattato di un percorso di progetto molto stimolante, che è entrato nel merito di alcune tematiche e ne ha toccate tangenzialmente molte altre. Un approccio che non poteva che essere sperimentale, considerato il concept elaborato, molto distante dalle soluzioni attualmente impiegate, e gli obiettivi più che altro valutabili personalmente attraverso la sensorialità da parte del paziente.

Si considerano i risultati raggiunti molto soddisfacenti, e conclusivi di un primo ciclo progettuale che ha esplorato a fondo il potenziale della soluzione ideata. Lo studio però non vuole terminare qui, ci si propone di portarlo avanti in più direzioni, poiché si è dimostrato essere di grande interesse anche per lo sviluppo di altri prodotti derivati dall'idea centrale. Ci si riferisce alla possibilità di elaborare una soluzione analoga, declinata in chiave di prodotto standard, utilizzabile per tutti quei pazienti che non necessitano di particolari conformazioni personalizzate, e quindi realizzata con processi produttivi di stampaggio. Questo perché si è considerato il grande beneficio di traspirazione, relativamente a una problematica fortemente sentita nei confronti dei prodotti attualmente disponibili.

Infine, si vuole lasciare aperta una possibilità progettuale ulteriore per il futuro impiego del concept anche in chiave mass market: riproporre un intero sistema di seduta che si basa sulla singola molla ripetuta modularmente, orientato ad ambiti di progetto meno estremi, che offrono le stesse sfide di traspirazione e comfort di questo studio.

TAVOLA 10

PERCORSO PROGETTUALE

ambito di progetto

Gli ausili per disabili.

ispirazione

La natura è efficienza.
La biomimesi.

stato dell'arte

I problemi irrisolti

sperimentazione

Un approccio pratico
al progetto

innovazione

Ausilio schienale
customizzato.

Nuova libertà
morfologica

Test funzionali

stato dell'arte

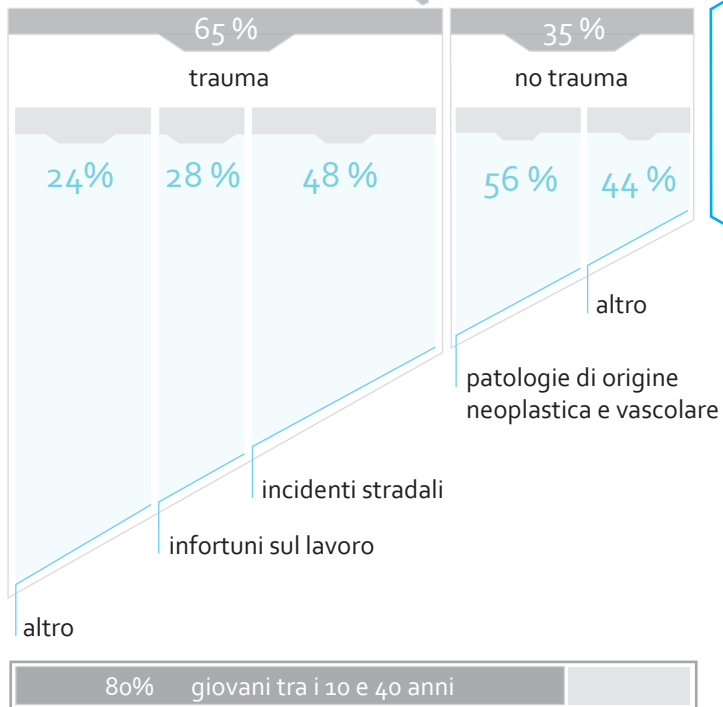
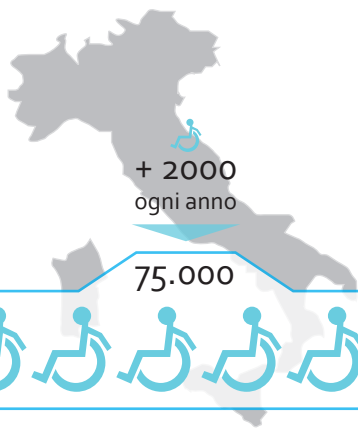
Il processo e materiale
adeguati ai requisiti

tecnologia

Il rapid manufacturing
per le piccole serie / one-off
di prodotti su misura

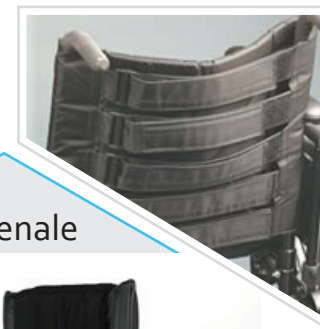
| opportunità di progetto |

LESIONI MIDOLLARI



✓ rigido

flessibile



schienale



carrozzina



✓ telaio rigido

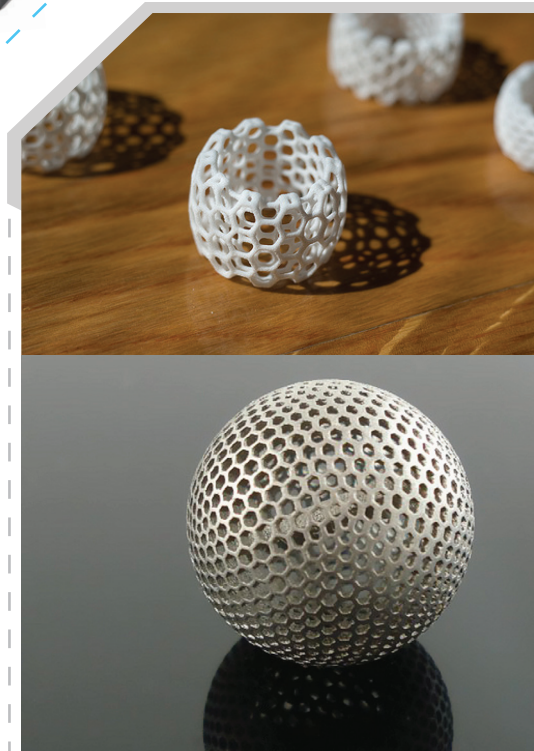
telaio pieghevole

AUSILI



Schienale per carrozina

Selective Laser Sintering



BRIEF DI PROGETTO

Customizzabile

Traspirante

Rigido

Leggero

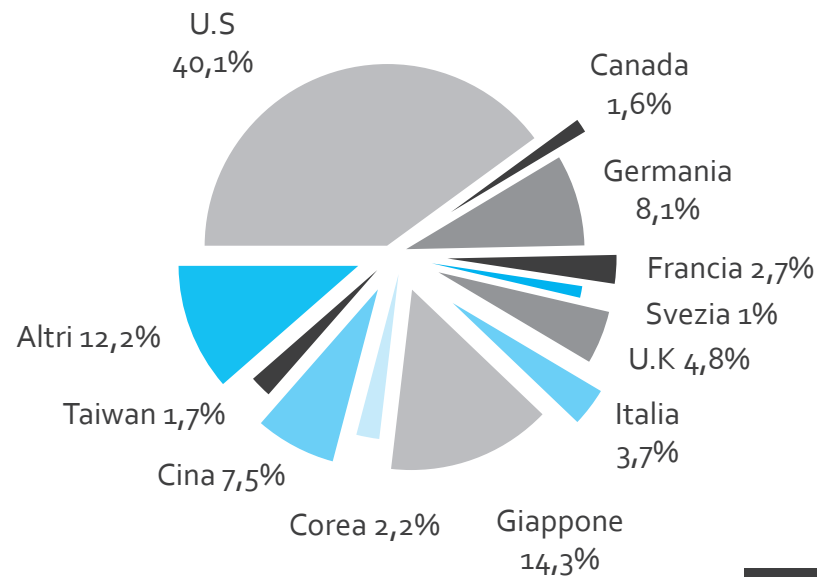
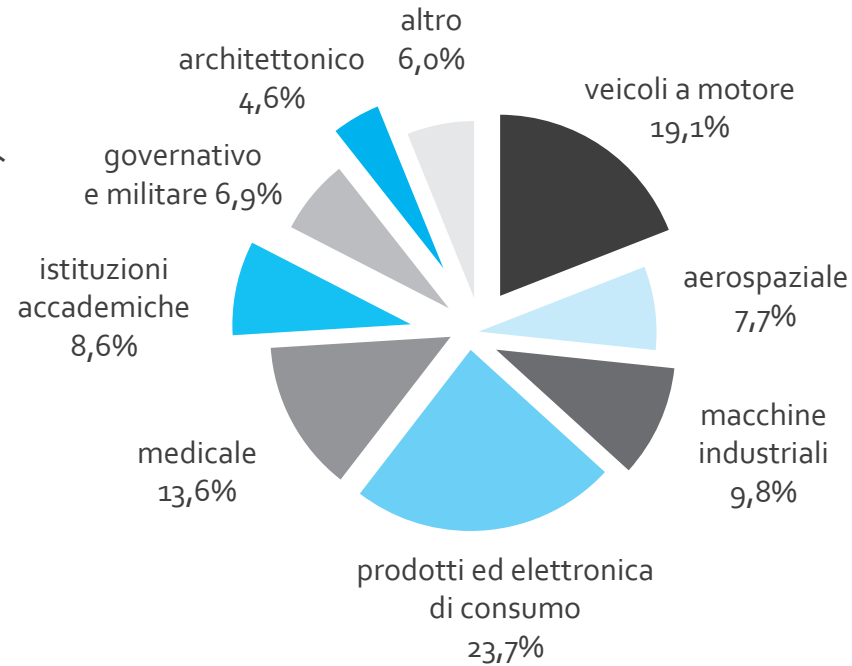
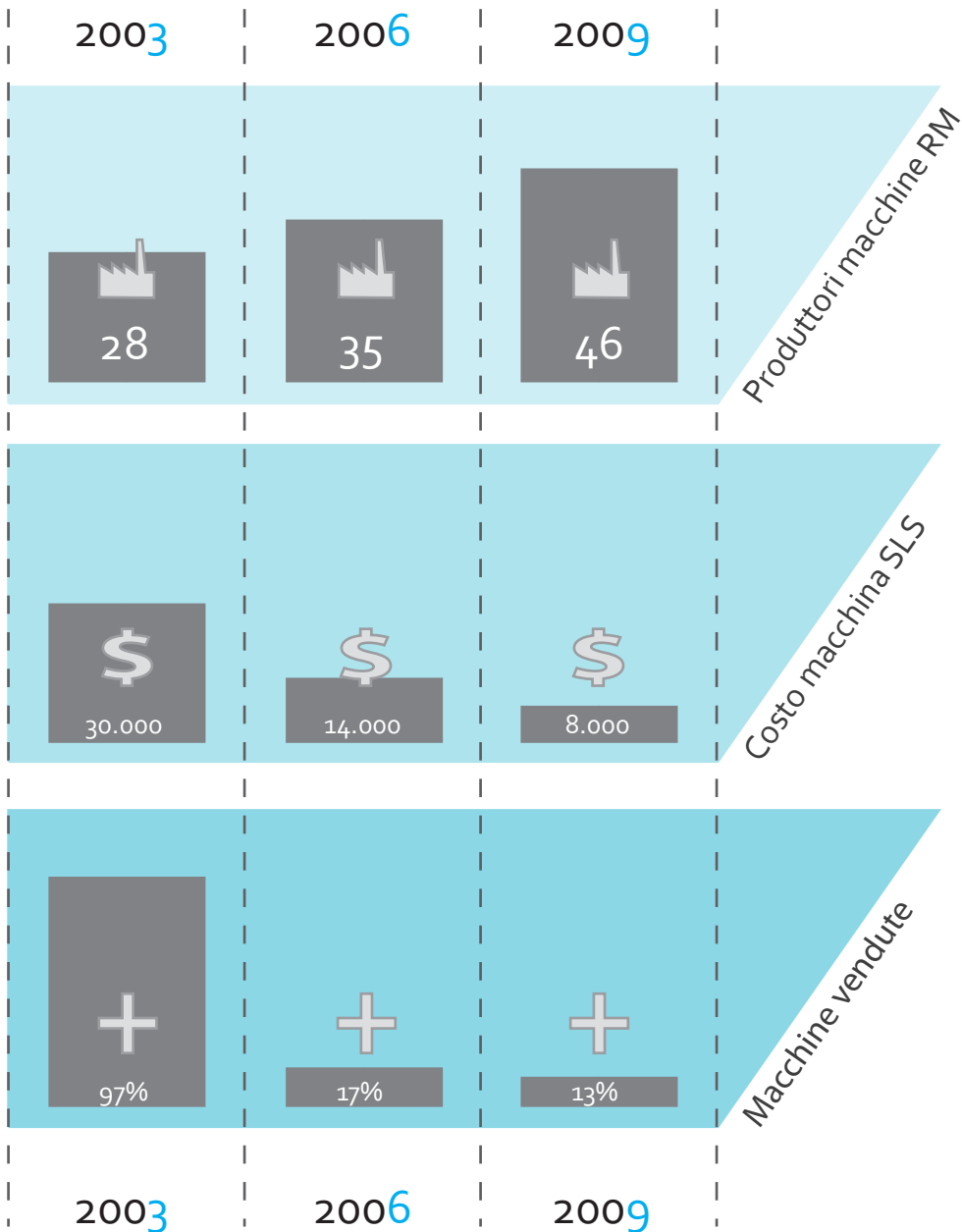
Confortevole

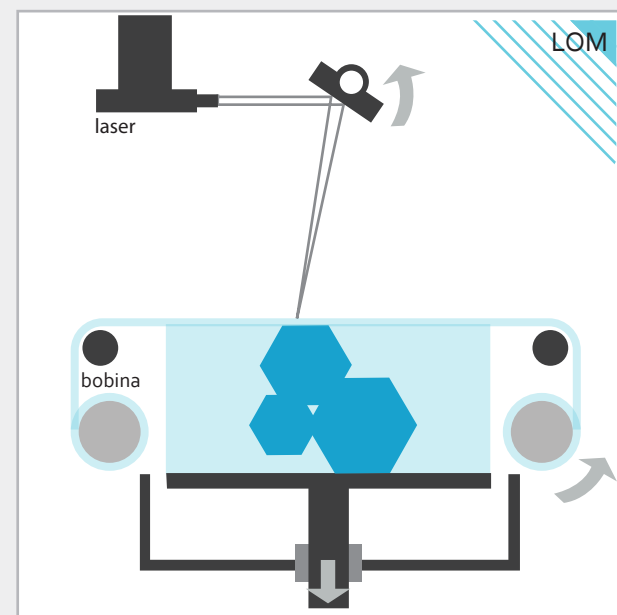
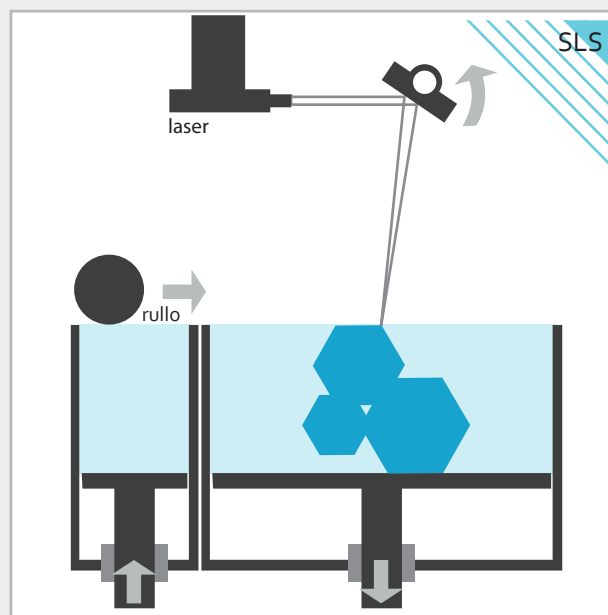
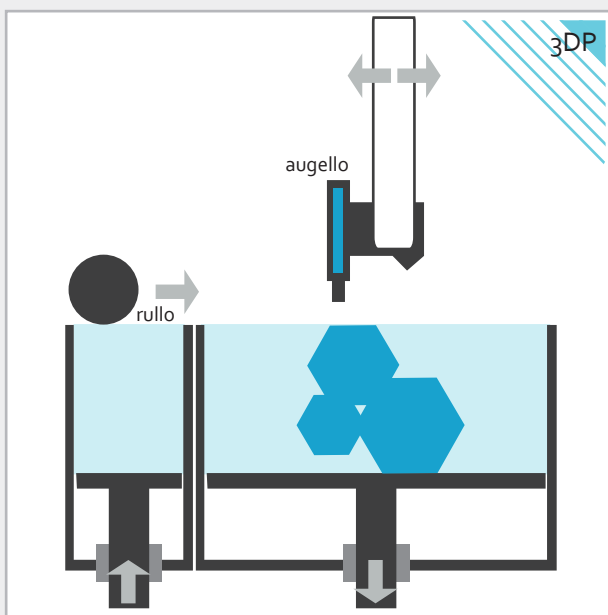
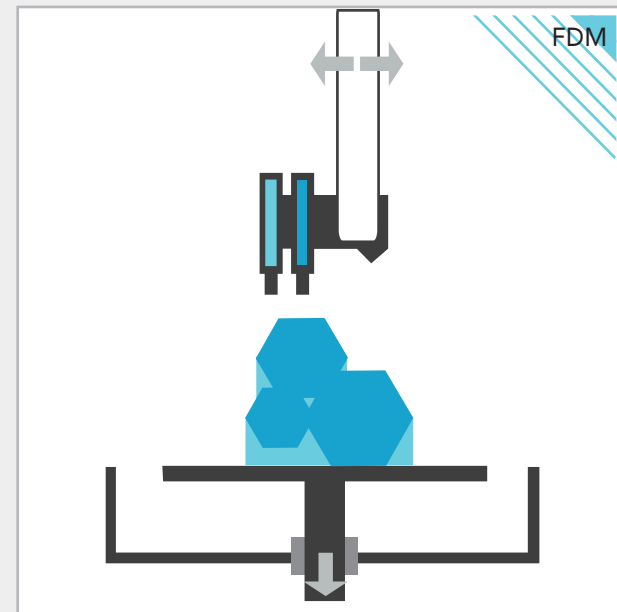
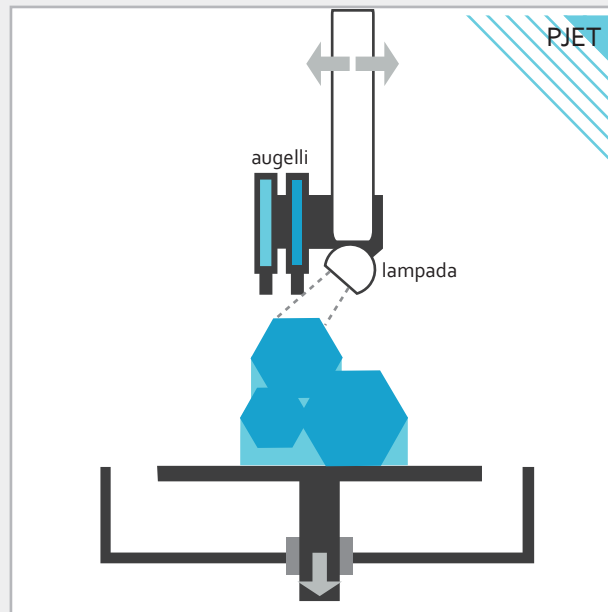
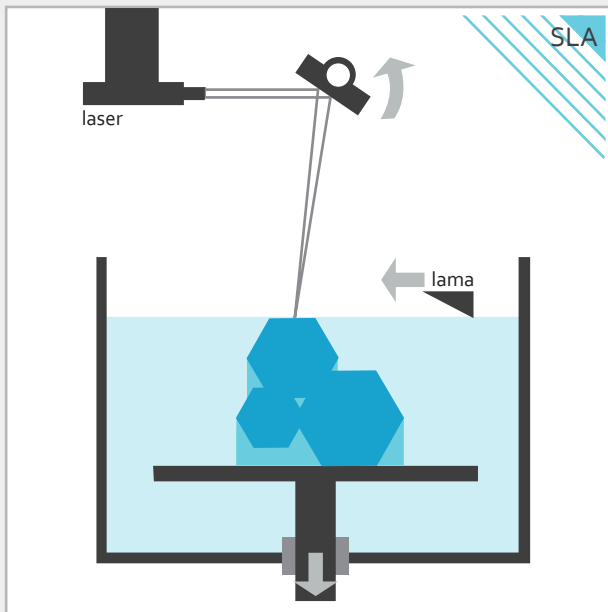
Igienico

Tecnologia

CONCEPT DI PRODOTTO

Il settore del Rapid Manufacturing

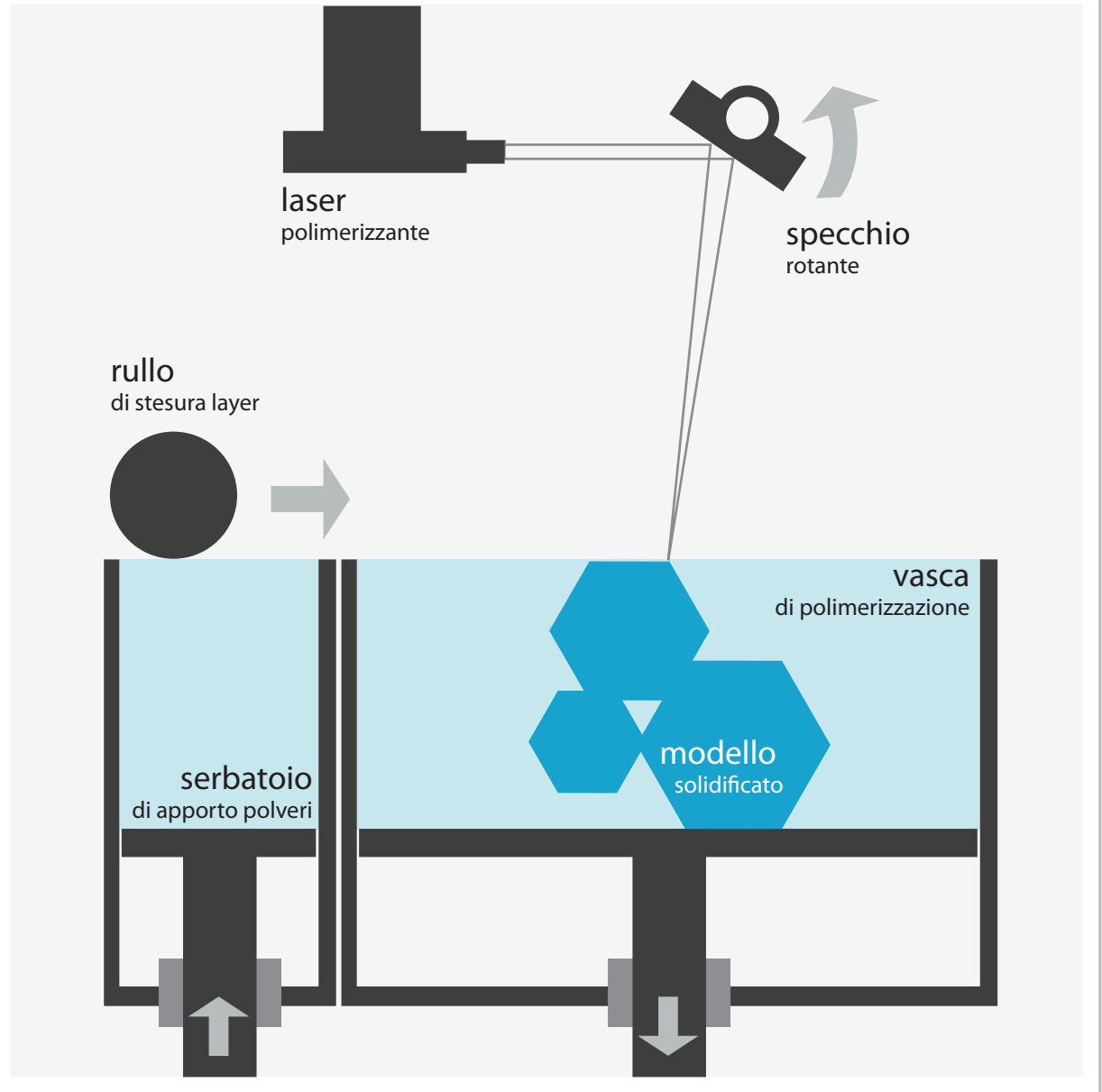




modello

materiale di supporto

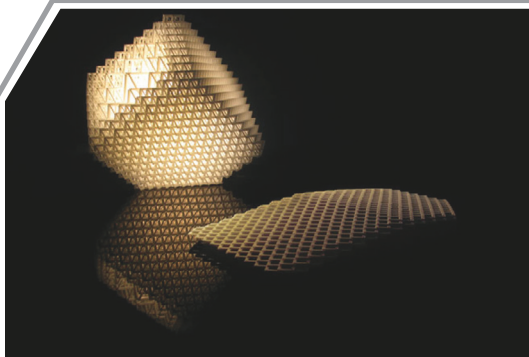
materiale grezzo



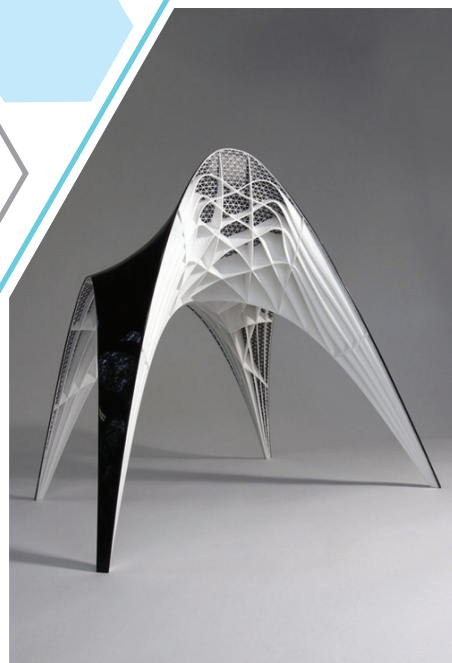
SELECTIVE LASER SINTERING



I due principali marchi presenti sul mercato nascente dei prodotti realizzati con tecnologie di Rapid Manufacturing



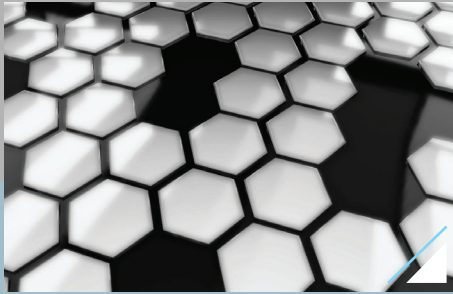
Materialize **MGX**



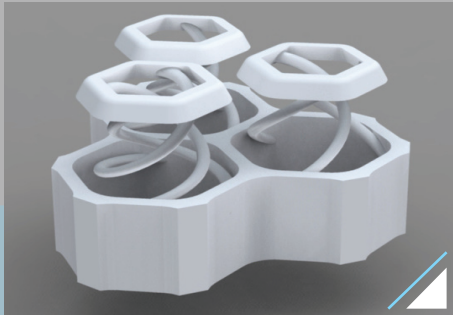
FOC
Freedom of Creation



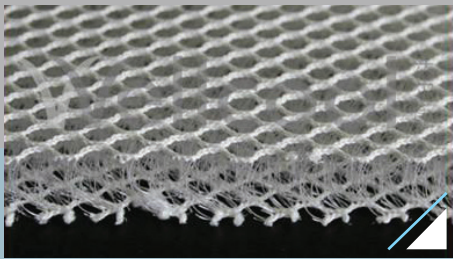
CONCEPT



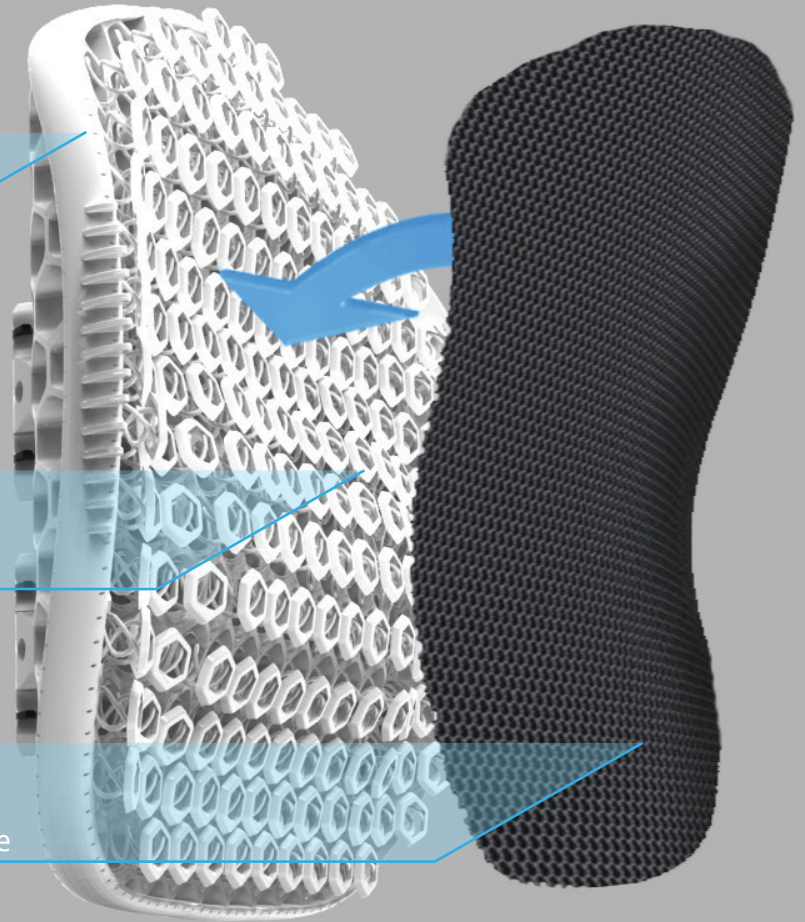
Struttura honeycomb custom

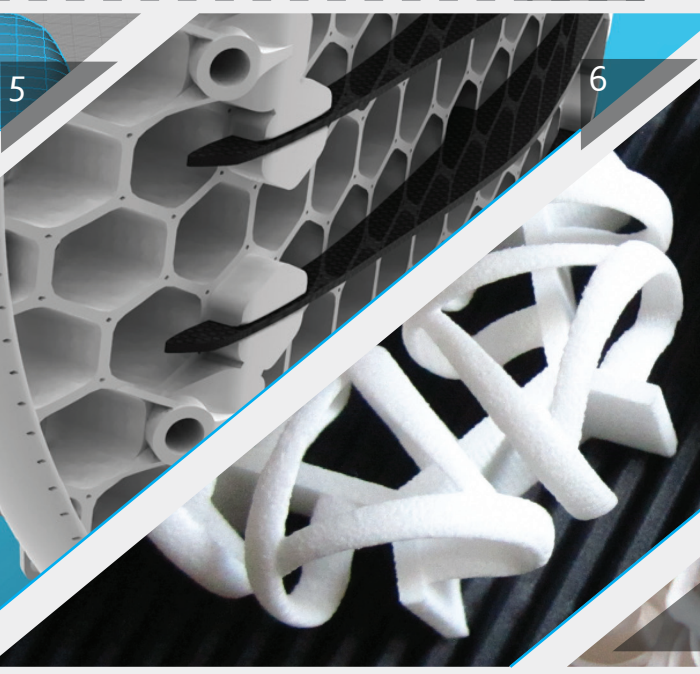
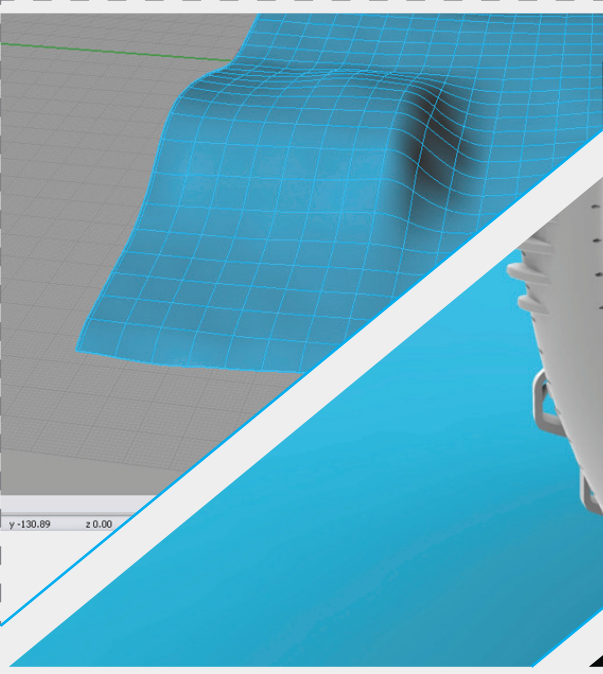
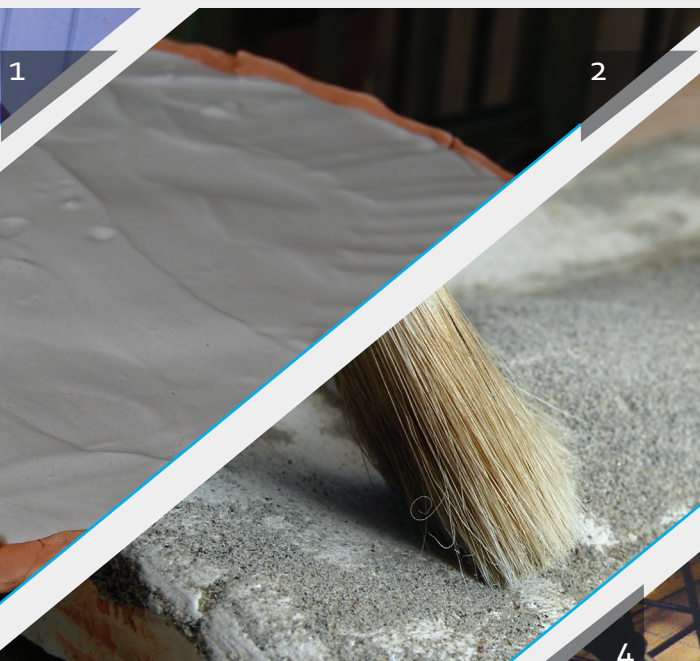


Moduli elastici ripetuti in superficie



Fodera protettiva in 3D textile traspirante





y-130.89 z 0.00



Sedili per macchine da lavoro.

- Requisiti:
- _ traspirante
 - _ antibatterico
 - _ antivibrazione

Lo studio della struttura a risposta elastica con caratteristiche di alta traspirazione ha l'obiettivo di adattarsi perfettamente ai requisiti richiesti dall'ausilio schienale per carrozzina. Alla fine dell'iter progettuale si considerano i settori d'impiego meno estremi, con requisiti di progetto simili a quelli affrontati, per i quali il progetto possa costituire un interessante punto di partenza.

Sedili per autotrasportatori/autisti.

- Requisiti:
- antibatterico_
 - confortevole_
 - traspirante_



schienale
anatomico
areato



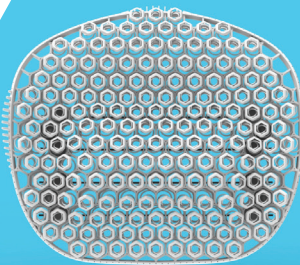
Sedili per auto fuoriserie sportive.

- Requisiti:
- _ leggero
 - _ anatomico



Sedute per ufficio da lavoro.

- Requisiti:
- confortevole_
 - traspirante_
 - anatomico_



7.7 Ringraziamenti

Ringrazio qualsiasi lettore che sia arrivato fin qui, come quello che legge unicamente queste poche righe, apprezzo la vostra attenzione per un lavoro costatomi tanto impegno.

Ringrazio coloro che hanno contribuito al raggiungimento del risultato finale condividendo con me la loro professionalità. In particolare Fiammetta Costa e Maximiliano Romero, che mi hanno lasciato molta libertà nelle scelte di progetto, per poi tenermi sempre indirizzato sul sentiero giusto.

Ringrazio tutti gli amici, che durante questi due anni hanno trasformato la vita a Milano in una esperienza indimenticabile. Soprattutto Davide, che oltre a questo è stato anche la miglior persona con cui poter condividere una casa.

Ringrazio anche tutti gli amici storici, coi quali sono cresciuto e che, sono sicuro, ora sono orgogliosi per questo mio importante traguardo. Specialmente Nicolò per avermi affiancato in questo percorso entusiasmante.

Ringrazio Michela perché tutti desiderano una persona per la quale volersi migliorare, ma non tutti ce l'hanno.

Ringrazio la mia famiglia tutta, perché mi vuole bene e perché me ne vorrebbe anche senza alcuna pagina di ringraziamenti.

Infine ringrazio in modo particolare i miei genitori che non mi hanno mai forzato in nessuna scelta, ma che mi hanno sempre incoraggiato a diventare quello che volevo essere.

Bibliografia

Per il rapid manufacturing

Libri e articoli

N. Hopkins, R.J.M. Hague, P.M. Dickens; *Rapid Manufacturing: an industrial revolution for the digital age*; Chichester, John Wiley & Sons; 2006

T. T. Wohlers; *The Second Industrial Revolution, The Custom Manufacturing MegaTrend: Where China and the West Fit In*; paper conference at EuroMold, December 2007, Frankfurt, Germany

T. T. Wohlers; *The Future of Rapid Manufacturing*; paper conference at TCT, September 2007, Coventry, England

T. T. Wohlers; *State of the Industry*; paper conference at 31st Japan Rapid Prototyping Symposium, June 2007, Tokyo, Japan

T. Shelley; *The push is now on to turn rapid manufacturing into a technology that is mass market and low cost*; paper on Eureka; Novembre 2009

L. Reade; *The desire for customisation is helping to move rapid prototyping into product manufacture*; paper on Eureka, Giugno 2009

C. K. Chua, K. F. Leong, C. S. Lim; *Rapid prototyping: principles and applications*; World Scientific Publishing, Singapore 2003

G. B. Basile; *Direct Digital Manufacturing: progettare prodotti finiti con Fused Deposition Modeling*; Tesi di Laurea Magistrale in Progetto e Ingegnerizzazione del Prodotto Industriale, Politecnico di Milano, 2007

M. Moroni; *Direct Digital Manufacturing di ortesi plantari funzionali*; Tesi di Laurea Magistrale in Progetto e Ingegnerizzazione del Prodotto Industriale, Politecnico di Milano, 2010

Link

www.materialise.com/rapidmanufacturing

www.mgxbymaterialise.com

www.zcorp.com/en/home.aspx

www.dimensionprinting.com/default.aspx

www.3dsystems.com/italian/sls/index.asp

www.freedomofcreation.com

www.n-e-r-v-o-u-s.com

www.dhub-bcn.cat/en/node/424

www.industreal.it

www.fluid-forms.com

www.3dindustry.com/english

www.wohlersassociates.com

www.me.psu.edu/lamancusa/rapidpro

www.stratasys.com

www.windform.it

www.timecompression.com

www.oneoff.it

www.sunpe.com

www.additive3d.com

Per gli ausili per le disabilità

Libri e articoli

G. Spagnolin; *La carrozzina: scelta personalizzazione ed uso*; Ghedini Editore, Milano 1993

M. Harms; *Effect of wheelchair design on posture and comfort of users*; Physiotherapy, May 1990

J. Bonavita, M. Menarini, P. Pillastrini; *La riabilitazione nelle mielolesioni*; Masson, Milano, 2004

A. Caracciolo, M. Ferrario; *Seating clinic: linee guida per la valutazione della posturanele disabilità motorie*; Fondazione Don Gnocchi IRCCS-ONLUS, Milano, 1998

F. Parent, J. Dansereau, M. Lacoste, R. Aissaoui; *Evaluation of the new flexible contour backrest for wheelchairs*; Ecole Polytechnique de Montréal, Québec, Canada, 2000

C. DiGiovine, R. Cooper, S. Fitzgerald, M. Boninger, E. Wolf, Guo S.; *Whole-body vibration during manual wheelchair propulsion with*

selected seat cushions and back supports; Assistive Technology Unit, Chicago

N. Bensi; *Oltre l'ausilio: implementazione di uno "strumento guida" del fisioterapista per l'analisi valutativa e l'individuazione immediata della corretta unità posturale*; Tesi di Laurea in Fisioterapia, Università di Bologna, 2008

Link

www.aelseating.com

www.ausilioteca.org

www.berkelbike.nl

www.bxlintl.com

www.cptorino.it

www.cushmaker.com

www.faiponline.it

www.futuremobility.net

www.halurehab.no

www.harms-spinesurgery.com

www.heartmobility.com

www.heliummobility.eu

www.informarecomunicando.it

www.invacare.com

www.metalcraft-industries.com

www.motionconcepts.com

www.ncbi.nlm.nih.gov
www.ottobock.com
www.osd.it
www.physipro.com
www.portale.siva.it
www.pridemobility.com
www.sunrisemedical.com
www.thecomfortcompany.net
www.therohogroup.com
www.varilite.com
www.wellrun.com.tw
www.wheelchairnet.org

Altre fonti

Libri e articoli

B. Munari; *Da cosa nasce cosa: appunti per una metodologia progettuale*; capitolo "Bionica"; Ed. Laterza, 2007

J. M. Benyus; *Biomimicry; innovation inspired by nature*; Perennial, 2002

J. Thackara; *In the Bubble, design per un futuro sostenibile*; Allemandi, 2008

V. Papanek; *Progettare per il mondo reale*; Mondadori, 1973

C. Langella; *Hybrid design: progettare tra tecnologia e natura*; Franco Angeli, 2007

W. McDonough, M. Braungart; *Craddle to cradle: remaking the way we make things*; North Point Press, 2002

D. Hunt, M. W. Collins, M. A. Atherton; *Optimisation mechanics in nature*; Volume 4, WIT, 2004

J. Bernsen; *Bionics in action: the design work of Franco Lodato*; Motorola, StoryWorks, 2004

H. A. Williams; *Zoomorphic: New animal architecture*; Laurance King Publishing, 2003

A. Bejan; *Shape and nature, from engineering to nature*; Cambridge University Press, 2000

Link

www.asknature.org
www.genitronsviluppo.com
www.biomimicryinstitute.org
www.wessex.ac.uk
biomimit.blogspot.com
www.biologize.com

www.digicult.it

www.plascore.com

Motori di ricerca

www.google.com

www.wikipedia.org

www.biblio.polimi.it/opac