



POLITECNICO DI MILANO
SCUOLA DEL DESIGN
Corso di studi in Design&Engineering

**PROGETTAZIONE DI UN INTERNO EMS
E DI UN SEDILE AERONAUTICO PER UN ELICOTTERO AW 139
ADIBITO ALL'ELISOCCORSO**

Relatore: **Francesco Trabucco**
Correlatore: **Matteo Ingaramo**

Autori
Simone Martin 765182
Filippo Moscatelli 766284

A.A. 2011/2012

Indice della Tesi

1) Introduzione e premesse	Pag. 9
<hr/>	
1.1 Cenni storici sull'azienda AgustaWestland	Pag. 10
1.1.1 <i>Dalla passione per il volo all'industria aeronautica</i>	<i>Pag. 10</i>
1.1.2 <i>Una diversificazione di successo: Le moto Agusta</i>	<i>Pag. 10</i>
1.1.3 <i>Gli elicotteri</i>	<i>Pag. 11</i>
1.1.4 <i>AgustaWestland</i>	<i>Pag. 13</i>
1.2 L'esperienza di tirocinio e il Customization Office	Pag. 14
1.3 Motivazioni e nascita dell'idea di Tesi	Pag. 16
2) Ricerca e documentazione	Pag. 19
<hr/>	
2.1 Segmentazione del mercato globale	Pag. 19
2.1.1 <i>Macchine civili e governative</i>	<i>Pag. 19</i>
2.1.2 <i>Elicotteri civili e l'offerta di AgustaWestland</i>	<i>Pag. 22</i>
2.1.3 <i>139 EMS tra domanda e offerta</i>	<i>Pag. 24</i>
2.2 AgustaWestland nel mercato HEMS	Pag. 28
2.3 Competitors	Pag. 28
3) 139 EMS	Pag. 35
<hr/>	
3.1 La macchina AW 139	Pag. 35
3.1.1 <i>Dati tecnici AW139</i>	<i>Pag. 36</i>
3.2 139 EMS (Emergency Medical Service)	Pag. 40
3.2.1 <i>Dati tecnici AW139 EMS</i>	<i>Pag. 41</i>
3.3 La produzione	Pag. 42
3.3.1 <i>AW 139 Production Flow Chart</i>	<i>Pag. 43</i>

3.4 Tipologie di missioni	Pag. 44
3.5 Equipaggiamento	Pag. 45
3.6 Configurazioni	Pag. 47
3.6.1 <i>Configurazioni possibili di sedute e barelle</i>	<i>Pag. 47</i>
3.7 139 EMS Interiors Procurement	Pag. 49
3.8 Stato dell'arte	Pag. 50
4 La Progettazione	Pag. 53
<hr/>	
4.1 Rilievo cabina passeggeri	Pag. 53
4.2 Concept	Pag. 54
4.3 La nuova configurazione	Pag. 55
4.5 Superfici interne e Rigid Liners	Pag. 55
4.6 Illuminazione a soffitto	Pag. 60
4.7 Mounting solution	Pag. 61
4.8 Parete attrezzata per sistemi elettromedicali	Pag. 63
4.9 Sedili aeronautici	Pag. 63
4.9.1 <i>Il sistema Crashworthy</i>	<i>Pag. 64</i>
4.9.2 <i>Tolleranza umana e sopravvivenza agli impatti</i>	<i>Pag. 66</i>
4.9.3 <i>Processo di Qualifica e Certificazione</i>	<i>Pag. 67</i>
4.9.4 <i>Focus sui sistemi di sicurezza</i>	<i>Pag. 68</i>
4.10 Il nuovo Sedile Foldable per AW 139 EMS	Pag. 69
4.10.1 <i>Descrizione Sedile foldable dedicato AW139 EMS</i>	<i>Pag. 69</i>
4.10.2 <i>Pesi</i>	<i>Pag. 71</i>
4.10.3 <i>Seduta swiveling</i>	<i>Pag. 72</i>
4.10.4 <i>Componenti ingegnerizzate</i>	<i>Pag. 78</i>
4.11 Braccio della seduta	Pag. 79
4.11.1 <i>Semplificazione della struttura e forze in gioco</i>	<i>Pag. 80</i>

4.12 Il giunto seduta	Pag. 83
4.12.1 <i>Semplificazione della struttura e forze in gioco</i>	Pag. 84
4.13 Screening materiali	Pag. 86
4.13.1 <i>Dati sensibili</i>	Pag. 90
4.13.2 <i>Calcoli inversi</i>	Pag. 90
4.14 Conclusioni e scelta finale	Pag. 92
4.14.1 <i>Alluminio serie 2000 e 7000 - Documentazione</i>	Pag. 93
4.15 Braccio: Carichi statici - Verifica ad elementi finiti	Pag. 95
4.15.1 <i>In conclusione</i>	Pag. 98
4.16 Giunto: Carichi statici - Verifica ad elementi finiti	Pag. 99
4.16.1 <i>In conclusione</i>	Pag. 99
4.17 Tecnologia di produzione per giunto e braccio	Pag. 102
4.18 Lo schienale	Pag. 104
4.18.1 <i>Semplificazione della struttura e forze in gioco</i>	Pag. 105
4.18.2 <i>Disposizione delle fibre e processo produttivo</i>	Pag. 109
4.18.3 <i>La fibra di carbonio sulla mappa di Ashby</i>	Pag. 110
4.18.4 <i>Prodotti in commercio Alluminio serie 7000</i>	Pag. 112
4.18.5 <i>Prodotti in commercio fibra di carbonio</i>	Pag. 113
4.19 Focus sulle schiume per la seduta e lo schienale	Pag. 114
4.19.1 <i>Ritardanti di fiamma</i>	Pag. 114
4.19.2 <i>Uso dei ritardanti di fiamma</i>	Pag. 114
4.19.3 <i>Che cosa sono i ritardanti di fiamma</i>	Pag. 115
4.19.4 <i>Perchè proibire i ritardanti di fiamma?</i>	Pag. 115
4.20 Trattamenti superficiali	Pag. 116
4.20.1 <i>Tipologie di corrosione interessate</i>	Pag. 116

4.20.2 *Accorgimenti progettuali per contrastare i fenomeni corrosivi*

Pag. 118

4.20.3 *Ricapitolando*

Pag. 121

5 Conclusioni

Pag. 125

5.1 Innovazione

Pag. 125

5.1.1 *Componenti del sistema RFID UHF*

Pag. 126

5.1.2 *Funzionamento*

Pag. 126

5.1.3 *Personalizzazione*

Pag. 126

5.1.4 *Perchè utilizzare la tecnologia RFID UHF*

Pag. 127

5.1.5 *Azienda di riferimento*

Pag. 127

5.2 Iter progettuale ed esperienza

Pag. 128

Bibliografia

Pag. 130

Sitografia

Pag. 131

Indice dei riferimenti

Tutti i riferimenti di immagini, grafici e tabelle sono state pubblicate con il pieno consenso di Agusta Westland, reperiti su brochure pubbliche aziendali o attraverso ricerca in rete.

Immagini

- Figura 1.1 Pag.8, Agusta Westland location*
- Figura 1.2 Pag.10, Giacomo Agostini*
- Figura 1.3 Pag.11, Meccanica Verghera logo*
- Fig. 1.4 Pag.12, Bell 48A*
- Fig. 1.5 Pag.13, Logo AW*
- Fig. 1.6 Pag.15, Cascina Costa top view*
- Fig. 1.7 Pag.17, AW 139 EMS*
- Fig. 2.1 Pag.20/21, Elicotteri in produzione*
- Fig. 2.1b Pag.29, AW Competitors logo*
- Fig. 2.2 Pag.31, AW 139 EMS Australia*
- Fig. 3.1 Pag.42, Assemblaggio Philadelphia*
- Fig. 3.1b Pag.43, Production Flow Chart*
- Fig. 3.2 Pag.45, Tipologia di missioni*
- Fig. 3.3 Pag.46, Attrezzature Elettromedicali*
- Fig. 3.4 Pag. 47/48, Configurazioni*
- Fig. 3.5 Pag.51, Stato dell'arte: Interni di AW139*
- Fig. 4.1 Pag.60, Sezione soffitto*
- Fig. 4.1a Pag.61, Ferno Aviation logo*
- Fig. 4.1b Pag.62, Ferno standard retainer*
- Fig. 4.1c Pag.65, John Stapp*
- Fig. 4.1d Pag.68, Sbracciamento cinture pelviche*
- Fig. 4.1e Pag.68, Sbracciamento cinture toraciche*
- Fig. 4.2 Pag.78, Strategie di selezione dei materiali*
- Fig. 4.3 Pag.79, Il braccio della seduta*
- Fig. 4.4 Pag.80, La sezione del braccio*
- Fig. 4.5 Pag.81, Semplificazione della struttura*
- Fig. 4.6 Pag.82, Riferimenti momento d'inerzia*
- Fig. 4.7 Pag.83, Il giunto della seduta*
- Fig. 4.8 Pag.84, Sezione resistente*

Fig. 4.9 Pag.85, Semplificazione struttura
Fig. 4.10 Pag.86, Sezione resistente
Fig. 4.11 Pag.87, Mappa Densità-modulo
Fig. 4.12 Pag.87, Mappa Hasby close up
Fig. 4.13 Pag.89, Modulo
Fig. 4.14 Pag.89, Densità
Fig. 4.15 Pag.89, Prezzo
Fig. 4.17 Pag.92, Radar materiali
Fig. 4.18 Pag.94, Tabelle
Fig. 4.19 Pag.95, Componente
Fig. 4.20 Pag.95, Forze in gioco
Fig. 4.21 Pag.96, Mesh mode
Fig. 4.22 Pag.97, Stress nei nodi
Fig. 4.23 Pag.97, Sforzi a trazione e compressione
Fig. 4.24 Pag.98, Deformazione struttura
Fig. 4.25 Pag.99, Il componente e le forze
Fig. 4.26 Pag.100, Mesh componente
Fig. 4.27 Pag.100, Stress nei nodi
Fig. 4.28 Pag.101, Sforzi a trazione e compressione
Fig. 4.29 Pag.101, Deformazione componente
Fig. 4.30 Pag.103, Fresatura

Grafici

Grafico 1 Pag.23
Grafico 2 Pag.24
Grafico 3 Pag.25
Grafico 4 Pag.26/27
Grafico 5 Pag.28
Grafico 6 Pag.30
Grafico 7 Pag.30

Tabelle

Tabella n°1 Pag.67, Human tolerance limits

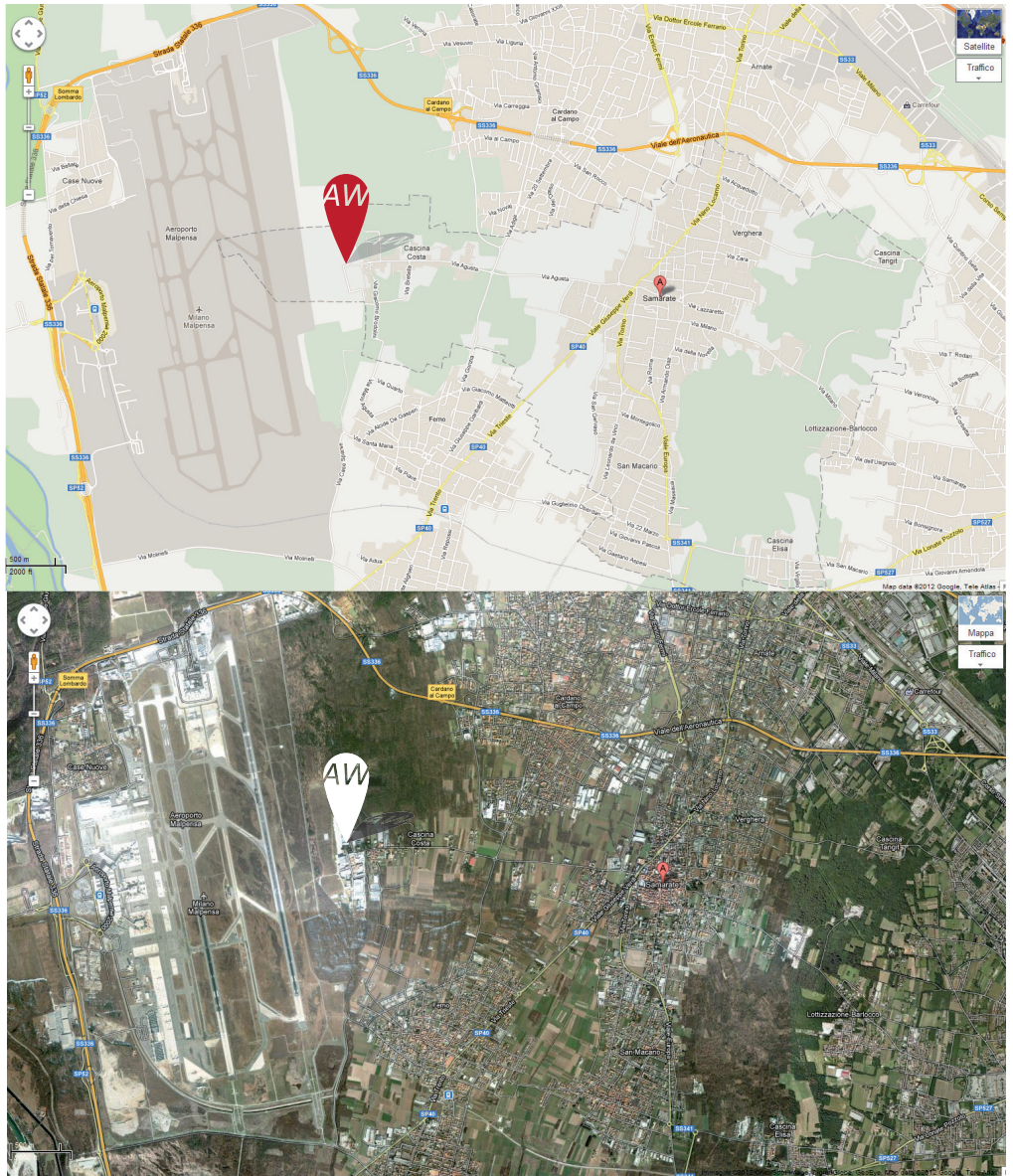


Fig 1.1 Agusta Westland,
via Giovanni Agusta 520.
Casina Costa di Samarate,
VA, 21017 Italy

Introduzione e premesse

Questo Progetto di Tesi nasce dall'esperienza di tirocinio condotta presso l'AgustaWestland di Cascina Costa a Samarate (VA). Nei sei mesi di stage all'interno del Customization Office dell'azienda è stato possibile incominciare a conoscere l'iter progettuale e produttivo di un elicottero approfondendo sia aspetti molto tecnici ed ingegneristici che aspetti gestionali e di marketing aziendale. Durante il periodo di tirocinio ci è stata data la possibilità di entrare in contatto con alcune figure professionali che ci hanno proposto di iniziare un lavoro di riflessione su un particolare modello di elicottero adibito all'elisoccorso. L'incontro con operatori quotidianamente in servizio su questo tipo di macchine è stato decisivo per evolvere le riflessioni fatte in ipotesi e successivamente in soluzioni progettuali potenzialmente capaci di rispondere alle esigenze in continua evoluzione dell'utenza.

Il lavoro imbastito in questi mesi può considerarsi un'indagine ben articolata intorno al tema del pronto soccorso aereo inteso come recupero e trasporto di persone in difficoltà o in gravi condizioni fisiche e di salute. L'analisi ha successivamente preso corpo e forma in un progetto di riqualificazione dell'ambiente e degli spazi della cabina passeggeri di un elicottero AW139 di produzione AgustaWestland e in una conseguente ingegnerizzazione di un sedile foldable per il personale medico di bordo.

Il mondo della progettazione e produzione aeronautica è un sistema che ha poco da condividere con il mondo della produzione industriale al quale siamo stati introdotti nel corso dei cinque anni di università, segue delle logiche di costi e di processi che potrebbero essere considerati elitari o di nicchia ma che allo stesso tempo permettono di ottenere un prodotto d'avanguardia e molto spesso capace di aprire nuove strade all'innovazione. I materiali di settore utilizzati sono specializzati e con proprietà dai requisiti molto alti. I processi che portano alla costruzione del prodotto sono caratterizzati da tempi molto lunghi e intervallati da momenti di test e di valutazioni necessarie alla certificazione della qualità e della sicurezza richiesta dalle normative Europee ed internazionali.

Sicuramente l'ingegneria è la disciplina senza la quale questo settore non si sarebbe potuto sviluppare e men che meno oggi potrebbe rinnovarsi continuamente. Con questa tesi di laurea il Design come disciplina di pensiero e di progetto dimostra di essere l'altra faccia della medaglia nella creazione di un prodotto non solo funzionante ma anche e soprattutto funzionale.

Cenni storici sull'azienda AgustaWestland

Dalla passione per il volo all'industria aeronautica

Il nome Agusta compare sin dai primordi della storia dell'aviazione. Giovanni Agusta, nato a Parma nel 1879, già agli inizi del secolo scorso è più che un appassionato del volo. Nel 1907 progetta e realizza il suo primo velivolo, l'AG-1, un aliante biplano che compie il primo volo sulla piazza d'armi di Capua, al traino di un'automobile e il cui sviluppo proseguirà sino al 1911. Nella guerra italo-turca di quell'anno, Giovanni Agusta è in Libia come volontario, quindi viene assunto nel 1913 alla Caproni. Dopo la prima guerra mondiale, lasciata la Caproni, fonda la ditta Costruzioni Aeronautiche Giovanni Agusta, con officine a Tripoli, Bengasi e Foggia. Nel 1923 Giovanni, con la moglie Giuseppina e i figli Domenico, Vincenzo e Mario, si trasferisce a Cascina Costa (VA), sul campo di volo "Gaspare Bolla" dove avvia l'attività di riparazione e revisione dei trimotori Caproni. Nello stesso anno nasce Corrado Agusta. Nel 1927 Giovanni Agusta muore prematuramente e l'azienda passa sotto la guida della moglie Giuseppina e del primogenito Domenico. A Cascina Costa l'Agusta amplia la propria attività, soprattutto dopo lo scoppio della seconda guerra mondiale, lavorando e producendo su licenza velivoli Fiat, Breda, IMAM e SIAI.

10

Una diversificazione di successo: Le moto Agusta

Con la fine del secondo conflitto mondiale Agusta viene a trovarsi in una fase di stallo a causa del divieto posto dagli alleati alla prosecuzione della produzione aeronautica. Approfittando del boom del settore motociclistico e della superiorità delle proprie conoscenze nel settore meccanico, Domenico Agusta, ormai da solo a capo dell'azienda, decide di fondare una società per la produzione e la commercializzazione di motoveicoli. Nasce così, il 12 febbraio 1945, la Mec-



Fig 1.2 Giacomo Agostini
in sella alla MV numero 1

canica Verghera che produrrà oltre trenta modelli, in varie versioni, di grandissimo successo. Ma è al Reparto Corse che MV Agusta deve la propria fama e notorietà. Costituito alla fine degli anni Quaranta, il Reparto corse dal 1952 al 1976 riuscirà a portare i propri piloti sul gradino più alto del podio per ben tremila volte.

Nonostante i grandi successi, con l'affermarsi dell'Azienda in campo elicotteristico e la concomitante profonda crisi del settore motociclistico, nella stagione 1977 l'attività agonistica viene sospesa e cinque anni dopo, nel 1982, l'attività motociclistica della MV Agusta cesserà per sempre. Nessuno sentì più parlare di MV fino al 1991 quando il marchio venne acquisito dal gruppo Cagiva Motor. Dal '91 ad oggi si susseguirono momenti di crisi e di rinnovo che portarono l'MV alla realtà del giorno d'oggi.

Gli elicotteri

Nel 1950, venute meno le restrizioni poste dagli alleati, a Cascina Costa riprende l'attività aeronautica con la realizzazione di una piccola serie di biplani. L'anno successivo, Domenico Agusta, crea un nuovo ufficio tecnico affidandolo all'ingegnere Filippo Zappata a cui sono indissolubilmente legati i progetti dell'AZ1, bimotore da trasporto, ed il quadrimotore AZ8. Ma è nel 1952 che le sorti aeronautiche dell'Agusta subiscono una svolta decisiva. In quell'anno la società americana Bell, produttrice dell'elicottero "Model 47" che sta dimostrando le sue grandi qualità e potenzialità nella Guerra di Corea, è alla ricerca di un'azienda in grado di costruire lo stesso elicottero in Europa. Ed è proprio presso Agusta che la Bell trova interesse e attenzione per la sua proposta. Così, il 22 maggio 1952, l'Agusta firma un accordo con la Bell Aircraft Corporation e raccoglie la sfida del futuro, costruire e vendere elicotteri. Il 22 maggio 1954, pilotato dal collaudatore Ottorino Lancia, decolla da Cascina Costa il primo elicottero realizzato dall'azienda - l'Agusta-Bell 47G - e due anni più tardi, il 13 maggio 1956, sono già 100 gli elicotteri consegnati agli operatori in tutt'Europa. Acquisita una buona conoscenza della tecnologia elicotteristica ed in grado di rispondere in maniera sempre più esaustiva alle richieste del cliente con un'attenta e puntuale personalizzazione dell'elicottero, negli anni sessanta l'Agusta amplia la propria gamma di produzioni su licenza e grazie ad un'aggressiva politica commerciale s'impone nel difficile mercato mondiale dell'ala rotante. Nel 1961 entra in produzione l'AB201 Huey, il primo elicottero a turbina realizzato a Cascina Costa. Nel 1965 la ditta inizia a costruire anche l'AB205, evoluzione del precedente AB204, che coglierà grandi successi di vendita. Nello stesso anno viene acquisita anche la licenza per il modello AB206 Jet Ranger, un velivolo leggero per uso civile e militare. Nel 1967 l'imponente aumento del volume produttivo rende insufficiente lo stabilimento di Cascina Costa; viene avviata a Frosinone

Fig 1.3 Il logo storico della Meccanica Verghera



una nuova società denominata Elicotteri Meridionali che costituisce su licenza Boeing-Vertol il birotore CH-47 Chinook. successivamente Agusta si assicura la costruzione del Sikorsky SH-3D Sea King, una macchina per impiego navale. Nel 1970, infine, parte la produzione su licenza dell'AB212 Twin Huey, versione bimotore dell'AB205. Sin dal 1958 l'Agusta si dedica alla costruzione di elicotteri di propria progettazione. Vengono realizzate e sperimentate in volo varie macchine, dal pesante A101G ai leggeri A103, A104 e A105, all'A106 per la Marina Militare. La produzione rimane limitata a pochi prototipi, ma questi progetti permettono all'azienda di sviluppare una completa capacità di progettazione autonoma. Il 4 agosto 1971, a pochi mesi dalla morte di Domenico Agusta, vola per la prima volta l'A109, un elegante e veloce quadripala, con caratteristiche innovative ed alte prestazioni che entra in produzione nel 1975 come multiruolo, adatto per trasporto VIP, per soccorso e impiego militare. L'elicottero ha un grande successo in tutto il mondo e viene venduto in centinaia di esemplari. Pochi anni dopo, Agusta decide di realizzare anche un elicottero da combattimento per rispondere alle esigenze dell'esercito. Nasce così l'A129 Mangusta, il primo elicottero da combattimento ad essere progettato e realizzato interamente in Europa che dimostra la capacità di Agusta di soddisfare anche i requisiti tec-

12



Fig 1.4 Un Bell 48A in ispezione a Cascina Costa

nici più complessi. Si tratta di un bimotore biposto in tandem che compie il primo volo l'11 settembre 1983. Con l'A109 e l'A129 Mangusta, Agusta entra a pieno titolo nel ristretto numero delle aziende elicotteristiche leader a livello mondiale.

AgustaWestland

AgustaWestland è la fusione di due grandi compagnie elicotteristiche con una lunga e ricca storia alle spalle risalente agli inizi della produzione avionistica dei primi anni del 20° secolo. Il pedigree di Agusta e di Westland in qualità di aziende manifatturiere nell'ambito dell'elicottero è databile ai primi anni 50 quando entrambe le compagnie adottarono strategie decisionali atte a muovere i primi passi all'interno della produzione di velivoli ad ala rotante.

La prima collaborazione tra Agusta e Westland fu nel 1960 quando la Westland diede il via alla produzione sotto licenza dell'Agusta AB47G, meglio conosciuto come "Sioux". Avviata nel 1964, la Westland costruì 250 di questi piccoli elicotteri a Yeovil. La partnership tra Agusta e Westland si protrasse per più di 20 anni anche attraverso la collaborazione allo sviluppo e nella produzione del 16 tonnellate multi ruolo EH101. Questa associazione ha costruito piano piano le basi che hanno consentito alle due società di concludere una rapida ed efficace fusione, quando nel 2001 l'Italiana Finmeccanica S.p.A. e l'Inglese GKN plc hanno firmato l'accordo per la costituzione in una società 50/50 denominata AgustaWestland. Nel Dicembre 2004 Finmeccanica acquisì anche il 50% delle azioni AgustaWestland di GKN.

13



Fig 1.5 Il logo attuale della AgustaWestland

Un evento significativo nella storia delle due compagnie avvenne nei primi mesi del 2010 con l'acquisizione delle azioni dell'azienda polacca PZL Swidnik acquistando così anche una delle più grandi e originali aziende produttrici di elicotteri Europee. Con la totale acquisizione di PZL Swidnik, AgustaWestland spinse la sua presenza nel centro Europa rafforzando il suo sistema produttivo e ampliando il suo portfolio di prodotti presenti sul mercato.

AgustaWestland, una società Finmeccanica con base a Cascina Costa di Samarate (VA), è uno dei protagonisti tecnologicamente più avanzati e competitivi del mercato elicotteristico mondiale le cui attività produttive sono concentrate in Italia, Regno Unito e Stati Uniti. La società vanta collaborazioni strategiche con altri produttori elicotteristici su scala globale e dispone della più completa gamma di prodotti per usi commerciali e per la difesa. Gli elicotteri in produzione coprono tutte le principali categorie di peso, dal monomotore da 2,8 tonnellate al trimotore da 16 tonnellate, ed utilizzano soluzioni tecnologiche all'avanguardia grazie agli investimenti in ricerca e sviluppo finalizzati all'introduzione di soluzioni all'avanguardia grazie agli investimenti in ricerca e sviluppo sia nel settore degli elicotteri convenzionali che nello sviluppo delle tecnologie del tiltrotor e del tiltwing. La società pone inoltre particolare cura nel garantire ai propri clienti un efficace supporto logistico e manutentivo al fine di incrementare le capacità operative riducendo al contempo i costi di gestione. Nel campo dell'addestramento, AgustaWestland offre un'ampia gamma di soluzioni a livello globale sviluppate in maniera da soddisfare ogni singola specifica esigenza degli operatori commerciali e militari.

(Taken from AW Company Profile 2010)

L'esperienza di tirocinio e il Customization Office

Entrare in contatto con un mondo sconosciuto e altamente specializzato come quello della progettazione degli elicotteri non è un'impresa scontata. Il primo periodo è stato interamente dedicato all'apprendimento dei meccanismi tecnici e burocratici, delle terminologie e dei luoghi nei quali avvengono l'ideazione e la produzione di queste macchine. Ovviamente il primo passo è stato entrare in contatto diretto con la macchina e le sue parti principali. Ci siamo recati presso la linea volo di Vergiate dove avviene l'assemblaggio finale e dove è concentrato il grosso della mano d'opera specializzata dell'azienda. Grazie al supporto del personale dedicato abbiamo conosciuto da vicino un AW139 ma non è stato assolutamente semplice comprendere il ruolo di ogni componente di un elicottero lungo 16 metri e pesante 4000kg in poco tempo.

Passate le prime settimane di ambientamento, è iniziato il vero lavoro per il

quale siamo stati assunti dall'azienda come tirocinanti. All'interno del Customization Office abbiamo imparato progressivamente a seguire i clienti durante tutto il processo di customizzazione di interni ed esterni delle loro macchine supportandoli nella scelta dei materiali, delle configurazioni e dei kit tecnici descritti nei cataloghi delle offerte. Quotidianamente abbiamo tenuto i contatti con clienti italiani, europei ed extracomunitari supportandoli nella scelta dei *Painting Scheme* delle livree, delle finiture, delle vernici e per quanto riguarda gli interni la tipologia di pelle per i sedili, la qualità delle finiture e dei tessuti. Con il tempo si è instaurato un progressivo rapporto con i diversi fornitori che giornalmente approvvigionano l'AgustaWestland di tutto il necessario per la presentazione dei materiali ai clienti. Particolarmente decisiva si è dimostrata la collaborazione con gli uffici tecnici interni come quello dedicato all'elaborazione dei disegni tecnici per la verniciatura esterna degli elicotteri o come quello che segue l'ingegnerizzazione degli arredi per gli interni.

Il customization Office è uno dei punti di forza di AgustaWestland, che la aiuta a porsi un passo più avanti rispetto ai principali competitors; non è assolutamente scontato un servizio al cliente così organizzato e dedicato alla customizzazione, è per questo che su questo ufficio ricade gran parte delle responsabilità burocratiche e contrattuali e molta attenzione gli è riservata da tutti i reparti interni.



Fig 1.6 Lo stabilimento di Cascina Costa in veduta aerea. Sullo sfondo si può vedere anche la piste di decollo e atterraggio di Malpensa

L'accettazione di un elicottero da parte del cliente pone fine al processo di competenza dell'ufficio e sancisce il passaggio di responsabilità dal Customization Office all'organico del Customer Support che supporta letteralmente il cliente nella fase post-vendita.

Oltre che seguire il cliente nella progettazione dell'elicottero tra i mesi di febbraio e marzo ci è stato chiesto dal responsabile dell'ufficio stile di sviluppare un nuovo concept per un cabinet VIP per l'arredo dell'AW139. Con l'aiuto di tutto il team sono stati fissati gli obiettivi e i requisiti del nuovo prodotto e sono state successivamente formulate due proposte dalle quali è stata poi fatta una sintesi. Il cabinet è ad ora in fase di ingegnerizzazione presso l'ufficio tecnico e speriamo a breve di riuscire a vedere il prototipo.

I mesi successivi hanno visto formarsi diversi altri progetti di "straordinaria amministrazione" come l'elaborazione di nuovi trimming per i sedili, la progettazione di un nuovo showroom all'interno degli spazi aziendali, nuovi painting scheme di verniciatura per le livree e soprattutto il lavoro di questa tesi di Laurea Magistrale per la progettazione di un nuovo interno per un AW139 EMS. Decisamente ricca e produttiva è stata questa esperienza lavorativa attraverso la quale ci è stato permesso di esplorare un mondo produttivo a noi sconosciuto mettendo alla prova le nostre capacità progettuali e relazionali apprese durante i cinque anni di università passati al Politecnico.

Motivazioni e nascita dell'idea di tesi

La proposta di tesi nasce dal desiderio di Agusta di avvicinare a sé la produzione degli interni della categoria EMS. Attualmente il processo di ideazione, di progettazione e preparazione tecnica dell'arredo sono affidate ad una società esterna che lavora non solo per Agusta ma anche per altre aziende elicotteristiche mondiali; questa ragione facilita la diffusione di un prodotto omogeneo in tutto il mercato elicotteristico. Mentre l'azienda di Cascina Costa si riserva il compito di realizzare la macchina funzionale nei suoi più piccoli dettagli tecnici, ad un fornitore esterno è affidato il design degli interni dalla versione Utility a quella VIP. Si può affermare con sicurezza che ad oggi lo sviluppo dello stato dell'arte dal punto di vista del design e dell'innovazione è fermo e ormai da dieci anni vede un appiattimento e un'omologazione dell'offerta dato dal fatto che le aziende non investono in ricerca e men che meno nello sviluppo di nuove soluzioni tecnico-ergonomiche per gli interni. Quanto descritto ora è la situazione che interessa soprattutto il mercato degli Interiors HEMS (Helos emergency medical service) che sempre di più si sta sviluppando manifestando un'urgenza progettuale attraverso soprattutto il feedback dei clienti e degli operatori. Molte sono le questioni irrisolte e gli aspetti ergonomici migliorabili, sempre più frequenti

inoltre sono le segnalazioni di problematiche legate alla vivibilità degli spazi da parte di medici e personale di bordo. La proposta di Agusta di sviluppare una nuova proposta spaziale per una cabina passeggeri di un AW139 EMS è stata accolta da noi come una grande possibilità di innovazione e di miglioramento reale dello stato dell'arte. Con questa mossa l'azienda tenta di farsi promotrice di una risposta concreta alla frequente domanda del mercato di nuove soluzioni vivibili più vicine alle reali esigenze di chi lavora sopra queste macchine.

Nel corso dei mesi di tirocinio presso il Customization Office dell'AgustaWestland è stata condotta un'analisi approfondita della domanda e dell'offerta che interessa questa fetta del mercato elicotteristico, appoggiandoci per il reperimento dei dati all'ufficio Marketing dell'azienda. Sotto la supervisione di alcuni responsabili della produzione ci siamo addentrati nella riprogettazione degli spazi interni di un EMS e successivamente nell'ingegnerizzazione di un sedile dedicato per i medici di bordo. Frequenti confronti e revisioni con il personale specializzato che lavora su questi elicotteri hanno intervallato i periodi di intensa progettazione risultando fondamentali per l'avanzamento del lavoro.

Il risultato a cui siamo giunti, pensiamo sia interessante e potenzialmente utile allo sviluppo del settore analizzato. Ciò che è sicuro è che per l'azienda è stato un importante momento di riflessione interna sulle proprie capacità e responsabilità. Speriamo vivamente possa essere un punto di partenza per lo sviluppo concreto di una risposta alla continua e frequente domanda di mercato.

17



Fig 1.7 Un AW139 EMS per il mercato Canadese



Ricerca e documentazione

2

Il servizio medico d'aria è richiesto come mai prima d'ora. L'elicottero supera le barriere di luoghi inaccessibili e lontani geograficamente, la congestione urbana e le lacune del servizio specialistico a livello locale a disposizione. Esso gioca un ruolo vitale nel salvataggio di vite offrendo un moderno ed efficiente sistema di assistenza sanitaria.

Lo sviluppo economico e la riscoperta dell'importanza della vita, della persona e della sua incolumità da parte di molti paesi del mondo sta portando ad un costante innalzamento della domanda globale di elicotteri dedicati al pronto soccorso e all'assistenza medica aerea.

In questo capitolo si tenterà di descrivere, utilizzando dati recuperati all'interno dell'ufficio *Marketing* dell'AgustaWestland, lo scenario entro il quale verrà a posizionarsi il nostro progetto di tesi. Le informazioni qui riportate tentano di delineare il campo d'azione della progettazione senza però volerne dare un'interpretazione esaustiva e assoluta.

Segmentazione del mercato globale

Macchine civili e governative

Il mercato dell'elicottero si divide in due macro settori: quello delle macchine governative e quello riguardante le macchine per uso civile. A livello globale la domanda è divisa quasi equamente fra queste due tipologie di prodotto e i Player del settore rispondono in entrambi i casi utilizzando una considerevole gamma di macchine monomotore e bimotores in diverse conformazioni e configurazioni. Secondo i dati forniti dall' *AW Marketing Fleet Database* risalenti all'Ottobre 2011, ad oggi si contano circa 43.850 elicotteri volabili dislocati in tutto il mondo di cui circa 22.700 compongono la flotta dei militari e circa 21.360 quella dei civili. L'AgustaWestland come anche tutte le più grandi compagnie elicotteristiche non hanno (a parte pochissimi modelli) macchine progettate esclusivamente per il civile o per il militare: anche se la base strutturale di partenza è la stessa, gli elicotteri vengono successivamente arredati ed attrezzati in maniera diversa e assolutamente dedicata arrivando ad essere macchine totalmente diverse in prestazioni ed utilizzi.



Fig 2.1 Tutti gli elicotteri in produzione, classificati per dimensione



Elicotteri civili e l'offerta di AgustaWestland

Il mercato delle macchine civili fa raggiungere quasi la metà del fatturato di AgustaWestland. Il portfolio delle offerte di elicotteri di parte di AgustaWestland è riportato nel *grafico n°1*. All'interno della classe dei civili trova spazio ogni categoria di peso, dal prodotto più Light (AW119Ke) al Medium/Heavy (AW101).

La flotta dei velivoli civili si presenta divisa in 7 sottogruppi corrispondenti a 7 diversi ambienti operativi quali sono:

- Corporate/VIP
- Air Taxi/Charter
- EMS
- Oil & Gas
- Law Enforcement
- Utility

Ogni area è seguita da venditori strutturati divisi per aree geografiche che, attraverso le indicazioni fornite loro dall'ufficio marketing dell'azienda, esplorano ininterrottamente il mercato alla caccia di sempre nuovi acquirenti. Le poche fiere di settore organizzate per il mondo sono delle tappe obbligate per venditori e contract manager incaricati di procacciare e ufficializzare i contratti con i clienti: le varie declinazioni del mercato civile hanno caratteristiche e peculiarità differenti anche perchè trattasi di utenti molto diversi tra loro.

Il mercato Offshore indirizzato al mondo dell'Oil & Gas ha il compito principale di supportare le grandi e piccole compagnie petrolifere nel trasporto dei propri dipendenti dalla costa (dove solitamente risiedono con le loro famiglie) alle basi d'estrazione sul mare. Ecco che per esempio in questo caso le prestazioni tecniche e di potenza diventano prioritarie mentre nel caso di un modello VIP o Corporate l'interno e il lusso nell'arredo e negli accessori passano nettamente in primo piano. Ognuno di questi settori operativi compone una precisa fetta del mercato civile, nel grafico n°2 è descritta la ripartizione del Civil Market per ruolo. Come si può osservare dal grafico a torta in esame il commercio Utility è quello più sviluppato, seguito dal VIP e dall'Offshore. Il VIP immette il 15% di macchine nel totale della flotta ad oggi volante e secondo le stime delle Deliveries 2010 di AW è il settore che ha conseguito il maggior fatturato di tutto il civile.

Grazie agli studi e alle previsioni dell'ufficio Marketing dell'azienda, è interessante notare il trend della richiesta per quanto riguarda gli EMS: esso è in continua crescita (anche se con un tasso non costante) e uno dei settori più promettenti che si prospetta diventare uno dei nuovi punti di riferimento del mercato.

GRAFICO 1



























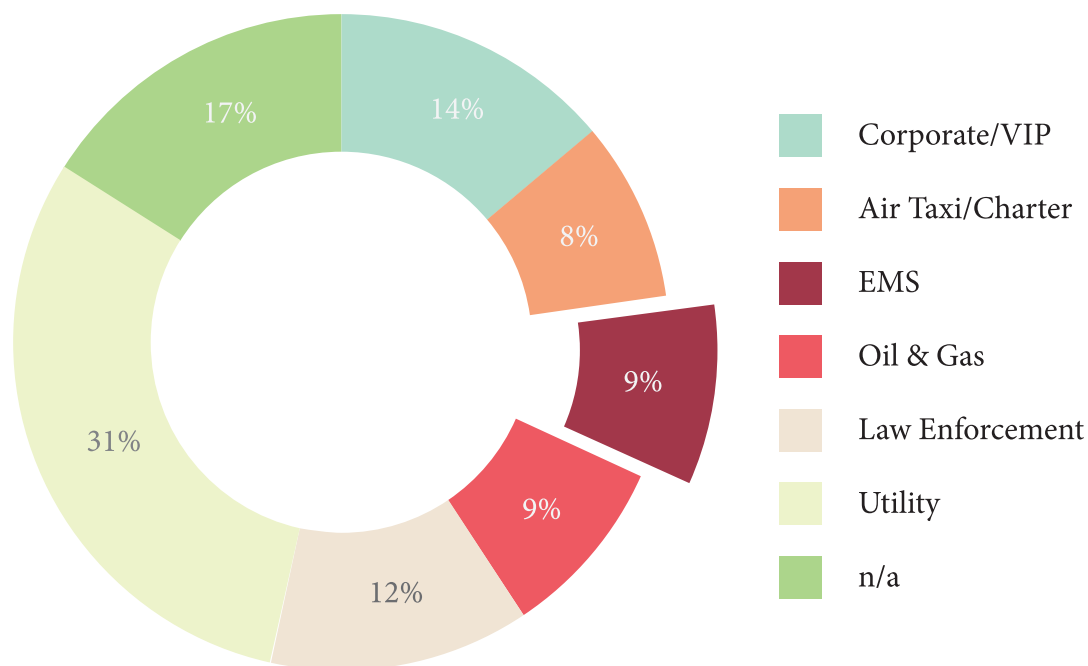
	light	light/intermediate	intermediate	medium	medium/heavy	heavy	
CIVIL	 SW-4  AW119Ke  AW109Power  GrandNew	 AW169	 AW139  W-3A SOKÓŁ	 AW189	 AW101		
	 SW-4  AW119	 AW109 LUH	 T129  W-3 SOKÓŁ  AW139M  SL300  AW159	 AW149  Apache AH Mk1  NH90 NFH  NH90 TTH	 AW101 Naval  AW101 Lift  AW101 SAR	 CH-47F	
			 AW609				
	TILTROTOR						

GRAFICO 2



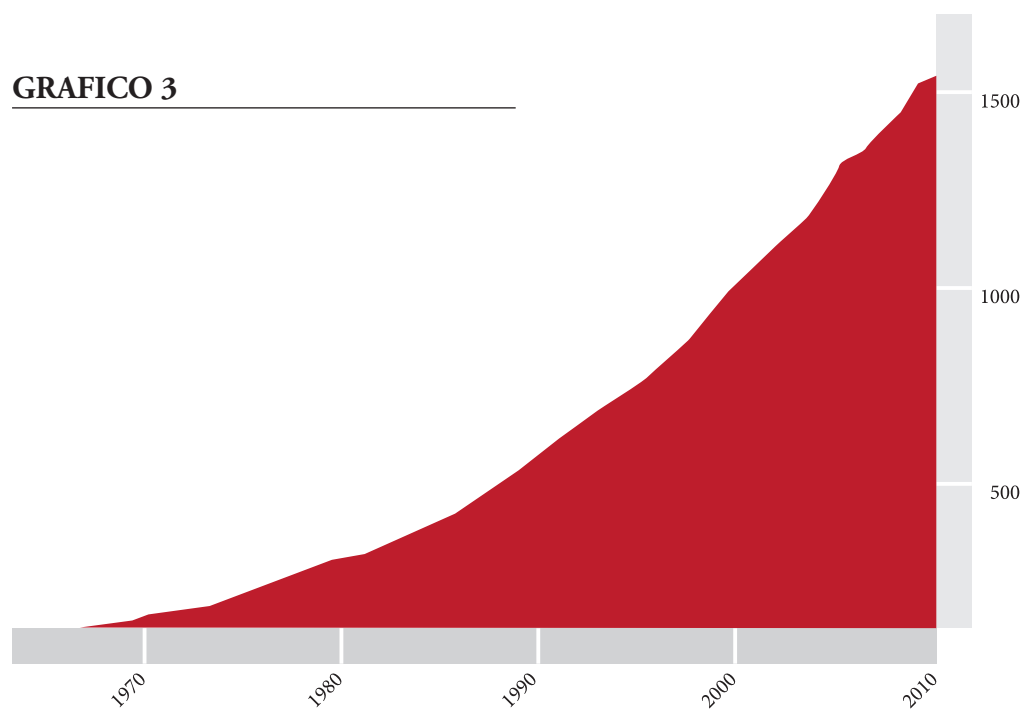
139 EMS tra domanda ed offerta

L'uso di elicotteri nel settore del trasporto medico si è sempre trasformato fin dai primi interventi di elisoccorso conosciuti nei primi anni 70. Mentre in queste prime missioni venivano utilizzati elicotteri esistenti semplicemente adattandoli al trasporto di vittime, la comunità attualmente impiegata di aeromobili è stata interamente progettata e adibita al compito, possiedono un alto grado di sofisticazione e sono in grado di soddisfare le richieste delle missioni più impegnative. La flotta globale di aeromobili per il pronto soccorso ad oggi si sta espandendo con quasi 2000 velivoli dedicati in continua crescita. A mercati maturi nel campo HEMS come USA, Europa, Australia e Giappone si stanno affiancando nuovi paesi dell'America Latina, dell'Asia e dell'Africa. Ciò è dovuto anche al fatto che la popolazione di questi paesi in via di sviluppo sta acquisendo una nuova consapevolezza del ruolo essenziale che ha la persona e l'incolumità della vita. La mappa di pagina n° registra la crescita della flotta HEMS nel mondo dal 1990 al 2010. Ci sono molti fattori che influenzeranno l'espansione delle operazioni HEMS nel prossimo decennio, uno di questi è la misura con la quale i governi abbracceranno il concetto di parità e di accesso alle cure sanitarie per tutti i

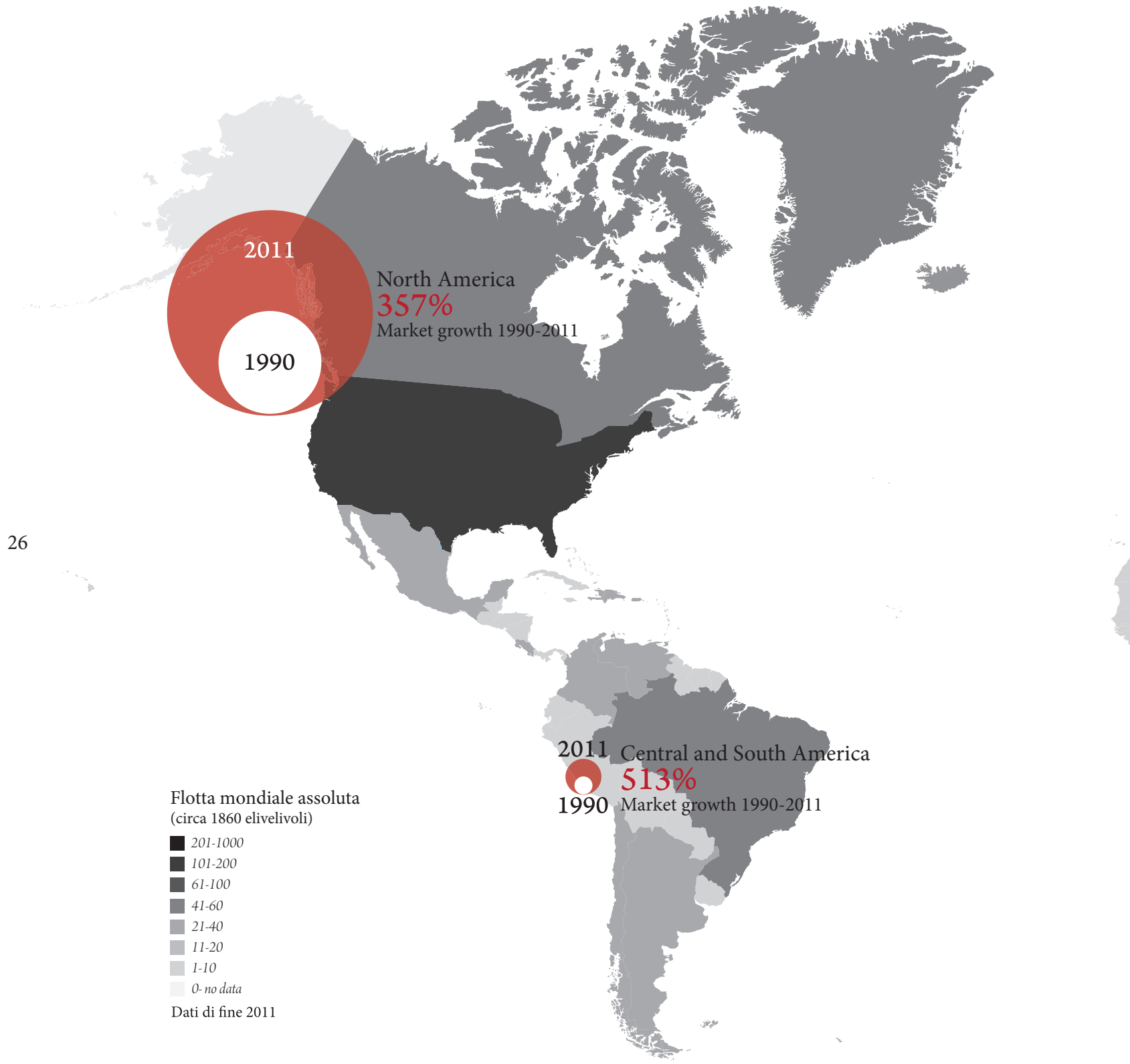
cittadini, indipendentemente da dove vivono. Le missioni operative compiute da questi particolari velivoli si dividono in missioni primarie e missioni secondarie. Le prime servono per indicare quelle situazioni nelle quali l'elicottero viene mandato direttamente sulla scena dell'incidente per il recupero e il soccorso dei feriti, mentre le missioni secondarie rappresentano tutte quelle situazioni nelle quali il velivolo è utilizzato per trasportare il paziente da ospedale a ospedale quando il servizio da terra risulta essere troppo lento o addirittura impossibile. Mentre le missioni primarie rimarranno la pietra angolare delle operazioni HEMS, il trend di espansione delle missioni secondarie è destinata ad aumentare esponenzialmente. La probabile crescita della complessità delle missioni significherebbe ulteriori investimenti in sofisticate tecnologie meccaniche e avioniche a disposizione dell'equipaggio a bordo. Qualche raro caso di sperimentazione su questa tipologia di elicotteri è già stata avviata e l'idea di un centro traumatologico di volo, replicando molti dei servizi di terapia intensiva disponibili in un comune ospedale è ormai una realtà in diverse regioni. Il trend in continua crescita della domanda sta portando l'AgustaWestland insieme a tutte le principali compagnie elicotteristiche a ripensare la progettazione e l'organizzazione di questo business per rendersi competitive in uno scenario che prossimamente promette di diventare uno dei nuovi punti di riferimento del mercato degli elicotteri civili. Nel *grafico 3* la crescita della flotta EMS dal 1970 ad oggi.

AgustaWestland nel mercato HEMS

GRAFICO 3



Flotta mondiale HEMS



26

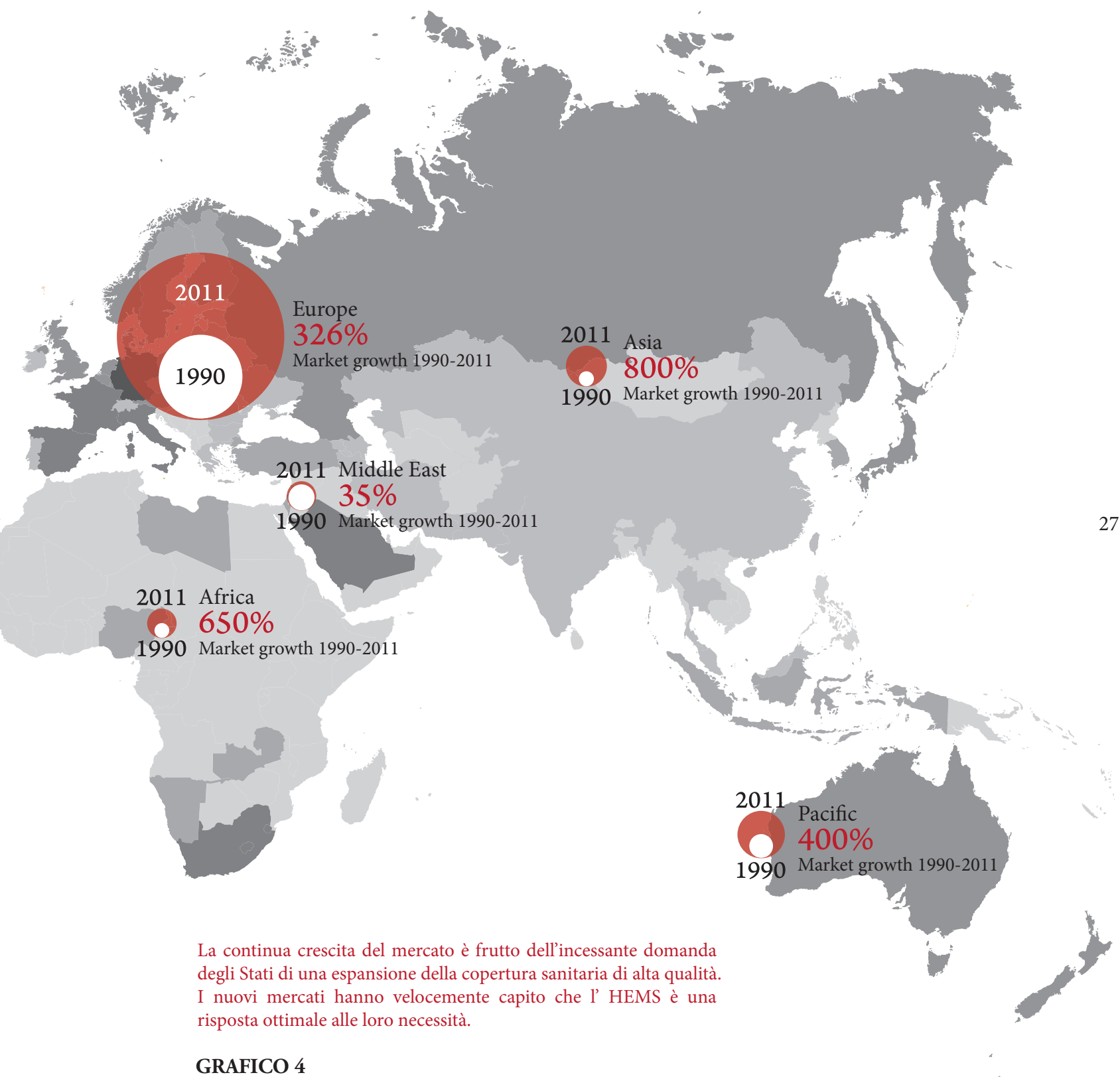
Flotta mondiale assoluta
(circa 1860 elivelivoli)

- 201-1000
- 101-200
- 61-100
- 41-60
- 21-40
- 11-20
- 1-10
- 0- no data

Dati di fine 2011

2011 Central and South America
1990 Market growth 1990-2011
513%

North America
Market growth 1990-2011
357%



La continua crescita del mercato è frutto dell'incessante domanda degli Stati di una espansione della copertura sanitaria di alta qualità. I nuovi mercati hanno velocemente capito che l' HEMS è una risposta ottimale alle loro necessità.

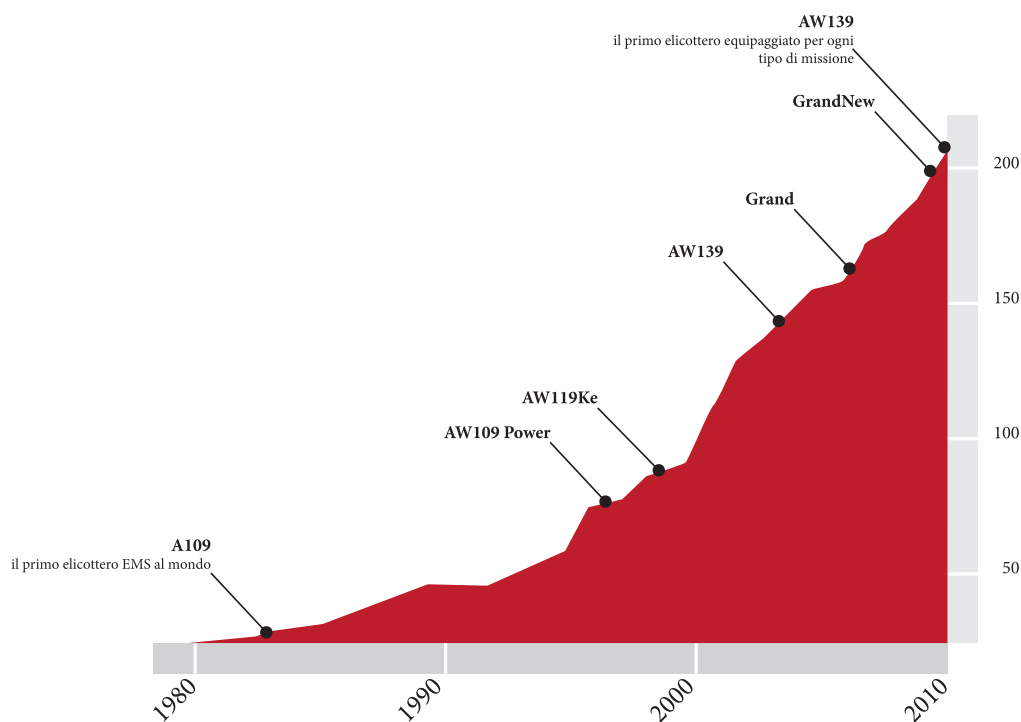
GRAFICO 4

Dal 1990 AgustaWestland ha aumentato di dieci volte la sua flotta EMS, incrementando la sua quota di mercato di oltre il 160%, registrando una crescita media del 13% anno dopo anno. Nei primi anni 80 l'A109 diventa il primo elicottero EMS dedicato ed equipaggiato per affrontare missioni IFR. Tre decenni dopo l'AW139 stabilisce un nuovo punto di riferimento, diventando il primo elicottero EMS in grado di operare in condizioni di ghiaccio grazie ad un particolare sistema di Ice Detection (Full Ice Protection System). Nel *grafico 5* è descritta la crescita della flotta AgustaWestland nel mondo scandita dalle svolte innovative determinate dall'incessante ricerca di miglioramento aziendale. Secondo una stima dell'ufficio Marketing dell'AgustaWestland risalente al Marzo 2011, la flotta EMS volante in tutto il globo è di 320 macchine distribuite in 37 paesi come riportato nel *grafico 4* di pagina precedente. Come già dimostrato precedentemente il trend è in continua crescita soprattutto nei paesi in via di sviluppo.

Competitors

GRAFICO 5

28



Nel mercato elicotteristico per l'elisoccorso si affacciano diversi attori che insieme all'AgustaWestland si dividono i ricavi di questo business. Le compagnie elicotteristiche capaci di offrire al consumatore una risposta nel settore degli HEMS qualitativamente paragonabile a quello dell'azienda di Cascina Costa sono anche i principali competitors nel civile e militare:

- Sikorsky
- Eurocopter
- Boeing
- Bell

Nel *grafico 6* (di pagina seguente) viene descritto come è ripartito il mercato globale degli elicotteri EMS mentre nel *grafico 7* (di pagina seguente) è rappresentata la risposta alla domanda di HEMS per tipologia di prodotto di AW. Dai dati consultati si può tranquillamente affermare che l'AW139 è la macchina di media-grande categoria di peso che non ha rivali per quanto riguarda potenza motori, resa oraria e prestazioni sul campo. Questo tipo di velivolo viene usato soprattutto in ambienti impervi e in cui le manovre e la guida risultano difficili. Per missioni di piccola entità in città o di seconda categoria vengono preferibilmente impiegati elicotteri più piccoli con prestazioni inferiori. Ciò che determina la qualità di queste macchine oltre alla carta tecnica sono sicuramente il layout interno, l'attrezzatura e l'arredo. Una precisa progettazione degli interni diventa il fattore discriminante nella scelta dell'operatore da parte del cliente. Questa è la ragione principale per cui lentamente i principali produttori di elicotteri EMS si stanno riorganizzando sia nell'area tecnica che commerciale con l'intento di sviluppare nuove idee e nuovi scenari d'utilizzo.

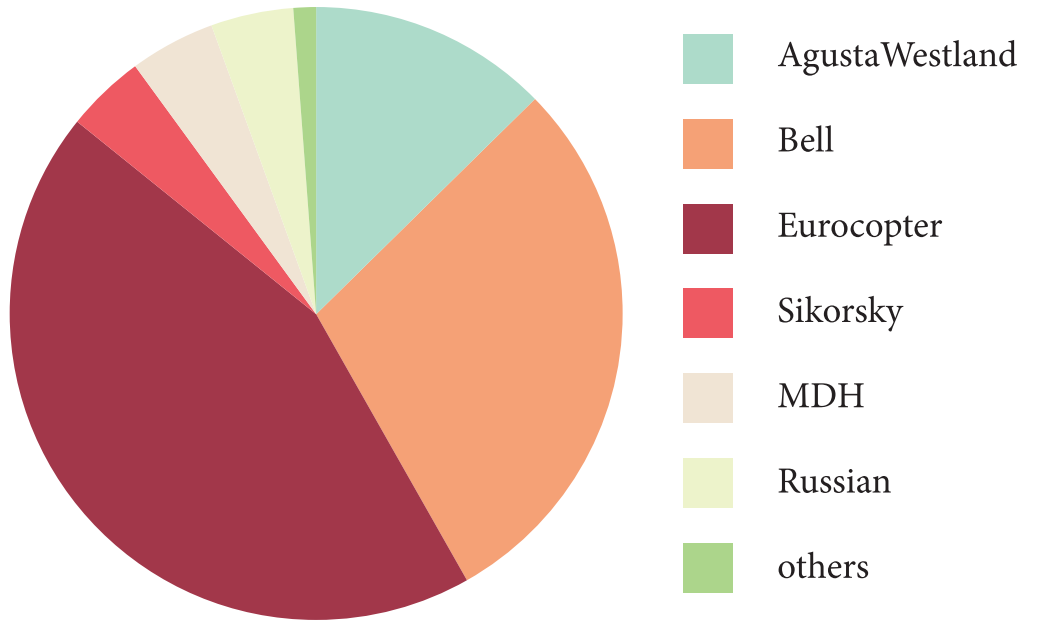
Il progetto di Laurea raccontato in questa Tesi si articolerà in uno studio approfondito della macchina AW139 adibita ad EMS in quanto è stata considerata la più performante e la più ricca di spunti progettuali per il miglioramento ergonomico e degli spazi interni. L'AW139 si viene a posizionare tra le macchine più all'avanguardia dei competitors di settore per prestazioni e funzionalità.

29

Fig 2.1b AgustaWestland competitors logo



GRAFICO 6



30

GRAFICO 7

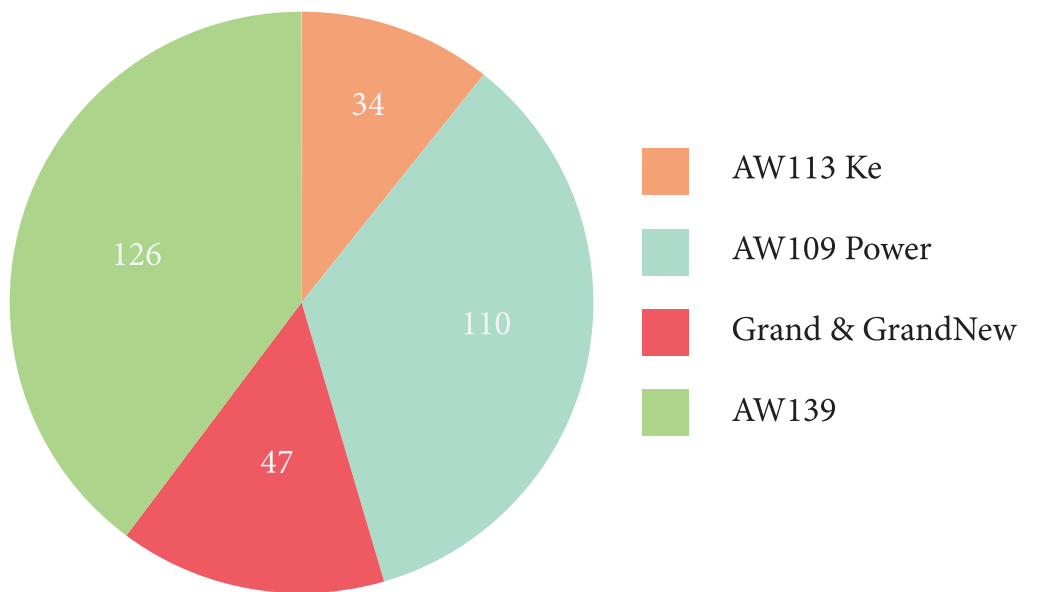




Fig 2.2 Un AW139 EMS per il mercato Australiano

AW119 EMS

Dati caratteristici	
Equipaggio	2 Piloti + 2 Medici + 1 Paziente
Max Range	667 Km
Massima velocità di crociera	260 Km/h
Motore	1x Pratt & Whitney PT6B-37A
Potenza	1001 CV

AW109 *Power* EMS

Dati caratteristici	
Equipaggio	2 Piloti + 2 Medici + 1 Paziente
Max Range	500 Km
Massima velocità di crociera	287 Km/h
Motore	2x Pratt & Whitney PW206C
Potenza	1272 CV

Grand new EMS

Dati caratteristici	
Equipaggio	2 Piloti + 2 Medici + 1 Paziente
Max Range	565 Km
Massima velocità di crociera	288 Km/h
Motore	2x Pratt & Whitney PW207C
Potenza	1490 CV

AW139 EMS

Dati caratteristici	
Equipaggio	2 Piloti + 5 Medici + 2 Pazienti
Max Range	964 Km
Massima velocità di crociera	311 Km/h
Motore	2x Pratt & Whitney PT6C-67C
Potenza	1872 CV

AW609 EMS

Dati caratteristici	
Equipaggio	2 Piloti + 3 Medici + 1 Paziente
Max Range	1205 Km
Massima velocità di crociera	509 Km/h
Motore	2x Pratt & Whitney PT6C-67A
Potenza	3880 CV

In questa doppia pagina è possibile confrontare le principali caratteristiche degli elicotteri EMS prodotti da AgustaWestland, in ordine di grandezza. Il AW609 è una macchina ancora in studio di fattibilità che entrerà in produzione nei prossimi anni. La versione EMS è stata solamente idealizzata e questi dati sono stimati sulla base delle prestazioni e delle dimensioni del convertiplano.



139 EMS

3

La Macchina AW 139

L' AW139, prodotto da AgustaWestland, è un elicottero di medio peso a doppia turbina, che ha riscritto completamente gli standard con cui gli elicotteri di media categoria sono misurati. Progettato per essere usato in diverse tipologie di missioni, è capace di trasportare ad elevate velocità fino a 15 passeggeri in una cabina spaziosa e confortevole mantenendo nei limiti la propagazione del rumore dei rotori all'interno. Inizialmente progettato entro una collaborazione tra Agusta e l'americana Bell l'AB139 è successivamente diventato un progetto interamente di proprietà dell'azienda di Cascina Costa. Nel 2000 grazie alla fusione con la Westland e l'abbandono del progetto da parte della Bell, è stato rinominato AW139. Il doppio motore a turbina Pratt & Whitney PT6C-67C, assieme al rotore principale a cinque pale e un rotore di coda a 4 pale, garantisce la migliore performance nel settore degli elicotteri di media categoria in ogni condizione e tipologia di carico, compresa la "hot and high" una situazione di scarsa pressione ed elevata altitudine che mette a dura prova qualsiasi tipo di aeromobile. Grazie a queste sue particolari caratteristiche è stato inserito nella categoria "A" che esclude qualsiasi tipo di limitazioni al volo. Un sistema di avionica all'avanguardia e una cabina piloti di ultima generazione rendono l'AW139 un elicottero leader anche per quanto riguarda la strumentazione di bordo. Viene dotato su richiesta del cliente anche di un sistema antighiaccio per essere utilizzato in paesi con temperature molto basse.

Il 139 effettuò il suo primo volo il 3 febbraio 2001 presso lo stabilimento dell'AgustaWestland di Cascina Costa, vicino a Samarate, mentre il primo esemplare di produzione vide la luce nel giugno 2002. La prima consegna di questo modello arriva nel 2003 ed è per l'elisoccorso di Como che presso lo stabilimento di Vergiate, dove avviene la produzione, ritira l'elicottero e inaugura la stagione delle vendite. Attualmente gli ordini per il 139 sono più di 620, 500.

Le possibili applicazioni e configurazioni dell' AW139 sono:

- **Corporate/VIP:** Finiture di pregio e interni extralusso per un allestimento ricercato nello stile e nel comfort.
- **EMS (Emergency Medical Service):** Le grandi dimensioni della cabina del

139 rendono possibile un utilizzo medico dedicato. Gli interni sono allestiti come delle ambulanze. Il pavimento e i rigid liners delle pareti sono pensati per una veloce riconfigurazione delle disposizioni di sedili e alloggiamenti.

- **Harbour Pilot Shuttle:** Grazie alle elevate capacità di manovrabilità e performance il 139 è ideale per operazioni marittime, di supporto e di trasporto.

- **Law Enforcement:** L' AW139, a livello mondiale, è l'elicottero più richiesto dai corpi di Polizia grazie alle sue particolari caratteristiche di peso, di manovrabilità e quindi di resa oraria. Ovviamente è una macchina pensata fin dall'inizio per superare le rigorose richieste delle autorità federali, di stato e locali. Le grandi potenzialità espresse dalle tecnologie avioniche inserite nella cabina passeggeri e nel cockpit fanno del 139 l'elicottero più efficace in assoluto in questo campo.

- **Offshore:** La possibilità di trasportare fino a 15 passeggeri e l'elevata velocità di crociera rendono il 139 adatto al trasporto degli utenti dalla costa alle piattaforme offshore in ogni parte del mondo riuscendo ad affrontare ogni tipo di situazione e condizione atmosferica.

- **SAR:** Gli operatori Search and Rescue possono valorizzare al meglio le prestazioni dell' AW139 : la velocità, la capacità di carico, la stabilità e la guidabilità ottime garantiscono infatti elevata sicurezza durante le operazioni di salvataggio.

(Taken from AW Company Profile / Products 2010)

Dati tecnici AW139

Dimensioni esterne - AW139	
Lunghezza totale	16.66m
Lunghezza solo fusoliera	13.77m
Larghezza solo fusoliera	2.26m
Altezza massima	4.98m
Diametro del rotore principale in rotazione	13.80m
Diametro del rotore di coda in rotazione	2.70m
Altezza minima da terra del rotore principale	3.01m

Dimensioni e volumi interni - Cockpit

Lunghezza massima	1.62m
Larghezza massima	2.08m
Altezza massima	1.42m
Volume	2.53m ³

Dimensioni e volumi interni - Cabina

Lunghezza massima	2.70m
Larghezza massima	2.10m
Altezza massima	1.42m
Volume	8.00m ³
Area pavimento	5.50m ²

Dimensioni e volumi interni - Bagagliaio

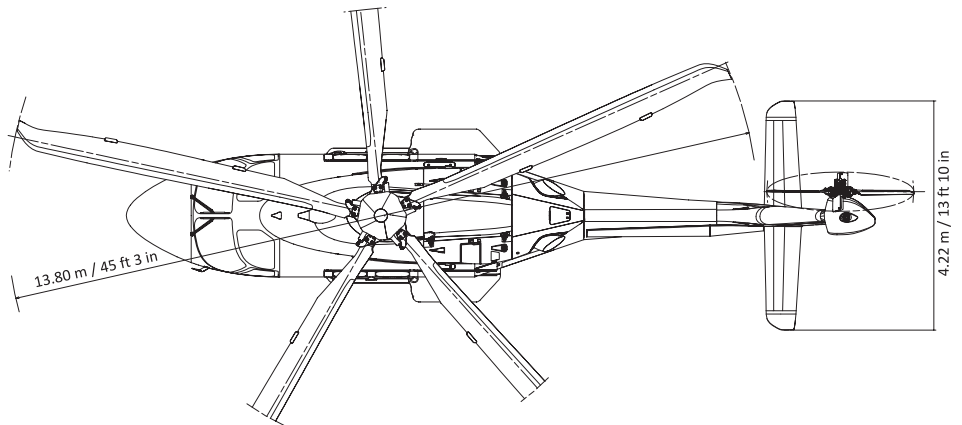
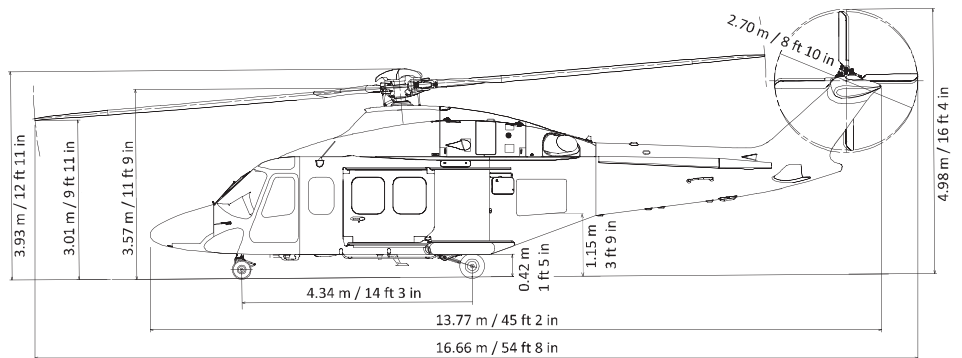
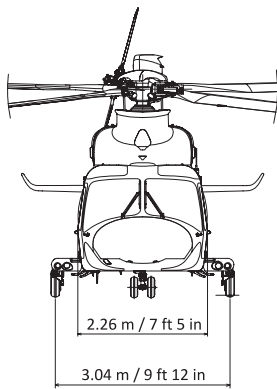
Lunghezza massima	3.00m
Larghezza massima	1.60m
Altezza massima	1.02m
Volume	3.40m ³
Area pavimento	3.60m ²

fonte: AgustaWestland internal datasheets

Pesi

Peso a pieno carico al decollo (carichi interni)	6.400kg
Peso a pieno carico al decollo (carichi esterni)	6.800kg
Peso a secco	3.730kg
Peso interno sfruttabile	2.670kg
Peso esterno sfruttabile	3.070kg
Sistema standard a due celle del carburante	1.254kg
Una cella ausiliaria di carburante	400kg

38



Performance - Sea level	6.000kg		
	ISA	ISA+20°	ISA+30°
Velocità di crociera massima	309 km/h	313 km/h	283 km/h
Velocità di crociare raccomandata	280 km/h	278 km/h	278 km/h
Velocità di risalita	12.14 m/s	12.14 m/s	12.14 m/s
Velocità di crociera ottimale	259 km/h	259 km/h	259 km/h
Distanza massima raggiungibile (senza riserva) con 1254kg di carburante	809 km	817 km	820 km
Durata massima di percorrenza (senza riserva) con 1254kg di carburante	4:02 h	3:57 h	3:55 h
Distanza massima raggiungibile (senza riserva) con 1654kg di carburante	1.076 km	1.085 km	1.091 km
Durata massima di percorrenza (senza riserva) con 1654kg di carburante	5:25 h	5:19 h	5:15 h

Performance - 6.000 ft	6.000kg		
	ISA	ISA+20°	ISA+30°
Velocità di crociera massima	317 km/h	317 km/h	287 km/h
Velocità di crociare raccomandata	276 km/h	278 km/h	280 km/h
Velocità di risalita	12.19 m/s	12.19 m/s	10.67 m/s
Velocità di crociera ottimale	259 km/h	259 km/h	259 km/h
Distanza massima raggiungibile (senza riserva) con 1254kg di carburante	957 km	956 km	952 km
Durata massima di percorrenza (senza riserva) con 1254kg di carburante	4:35 h	4:30 h	4:27 h
Distanza massima raggiungibile (senza riserva) con 1654kg di carburante	1.278 km	1.282 km	1.276 km
Durata massima di percorrenza (senza riserva) con 1654kg di carburante	6:08 h	6:03 h	5:58 h

fonte: AgustaWestland internal datasheets

139 EMS (Emergency Medical Service)

L'elicottero AW139 nella versione Emergency Medical Service è il punto di riferimento del settore degli HEMS. La base da cui si articola l'equipaggiamento specifico è un elicottero di potenza e performance ineguagliabile, la grande cabina passeggeri riadattata ad air ambulance garantisce un comfort e una flessibilità superiori ad ogni competitor; la OEI capability, ossia la possibilità di completare la missione con un solo motore funzionante, fornisce una certezza in più agli operatori del settore e rende questa macchina la più affidabile tra quelle esistenti. Il 139 è stato progettato per essere altamente versatile, può essere facilmente e velocemente convertito da una configurazione EMS ad una MEDEVAC o Medical Evacuation che prevede l'assenza di sedili per aumentare la capienza della cabina passeggeri in caso di evacuazione.

Le potenzialità del sistema avionico alleggeriscono il carico di lavoro dei piloti e permettono all'equipaggio di concentrarsi unicamente sulla missione in corso. La cabina, con i suoi 8 metri cubici di spazio, più il vano bagagli sul retro di 3,4 metri cubici, rendono il 139 il più grande e spazioso elicottero di peso medio. Le porte di accesso ed evacuazione possono essere scorrevoli o incernierate a seconda dell'uso finale a cui la macchina è destinata. La versione porta incernierata offre un maggiore isolamento acustico e schermatura alle vibrazioni, mentre la versione porta scorrevole lascia più spazio di movimento all'equipaggio in qualsiasi situazione di recupero o di salvataggio.

Le potenzialità di un AW139 EMS sono le seguenti:

- *Sicurezza della crew grazie alla distanza del verricello dai i rotori*
- *Rotore di coda a 4 pale per una stabilità elevata*
- *Ice-detection e Active-protection (optional)*
- *Rotore principale a 5 pale*
- *Grande cabina passeggeri*
- *Liners continui e privi di superfici aggettanti*
- *Visibilità eccellente*
- *Visori notturni per i piloti e possibilità di pilotarlo anche con scarsa visibilità*
- *Sedili dotati di Crashworthy (protezione per l'impatto)*
- *Un sistema di galleggiamento per l'ammarraggio (optional)*
- *Due porte scorrevoli da 1,68 metri (più del 60% della lunghezza della cabina)*
- *Grosso vano portabagagli accessibile dall'interno e dall'esterno*

Le capacità di un 139 EMS vanno oltre i requisiti normativi imposti e questo lo rende il più affidabile e richiesto tra l'offerta del portfolio prodotti AgustaWest-

land. Può effettuare missioni a lungo raggio affrontando le condizioni climatiche più avverse e può essere attrezzato con speciali equipaggiamenti per qualsiasi tipologia di emergenza.

Dati tecnici AW139 EMS

Pesi	
Peso a pieno carico al decollo (carichi interni)	6.400/6.800kg
Peso a pieno carico al decollo (carichi esterni)	6.800kg
Peso a secco	3.730kg
Peso tipico dell'equipaggiamento EMS	4.400kg

Capacità	
Equipaggio piloti	1-2
Sedili passeggeri	fino a 12 in configurazione trasporto passeggeri
Barelle	2-4 + fino a 5 utenti del personale medico
Scompartimento bagagli	3,4m ³

Performance - Sea level	
Potenza motori al decollo	1396kW 1872cv
Velocità di crociera massima	306km/h
Velocità di risalita	10.9m/s
Distanza massima raggiungibile (senza riserva) con 1654kg di carburante	1.061km
Durata massima di percorrenza (senza riserva) con 1654kg di carburante	5:13h

fonte: AgustaWestland internal datasheets

Produzione

Le tempistiche e la time line di montaggio sono alla base del processo di produzione di un elicottero. A Vergiate, dove è concentrato il grosso della catena di montaggio, ad ogni step i meccanici fanno riferimento alle tempistiche indicate sui documenti tecnici per rimanere al passo con le deliveries. Si consideri che da quando un cliente incontra uno dei venditori per definire i dettagli di contratto del suo modello alla giornata dedicata in cui viene consegnata la macchina finita, passano da un minimo di uno, a un massimo di due anni. Le componenti meccaniche e strutturali dell'elicottero seguono un lungo processo nell'area del Procurement prima di arrivare sul luogo dell'assemblaggio: Ingengeri e personale specializzato si preoccupa nei primi mesi dall'avvio della commessa, di contattare tutti i fornitori e di gestire gli ordini di ogni singolo componente. Successivamente i Product Manager ricevono la responsabilità di seguire il processo di assemblaggio e di assicurarsi che ogni ordine fatto dall'area Procurement arrivi nella precisa area competente per le valutazioni, i test e infine il montaggio. L'intero ciclo produttivo è davvero molto lungo, e le tempistiche vengono notevolmente allungate a causa soprattutto dei rigidi test obbligatori previsti dalle normative europee e internazionali.

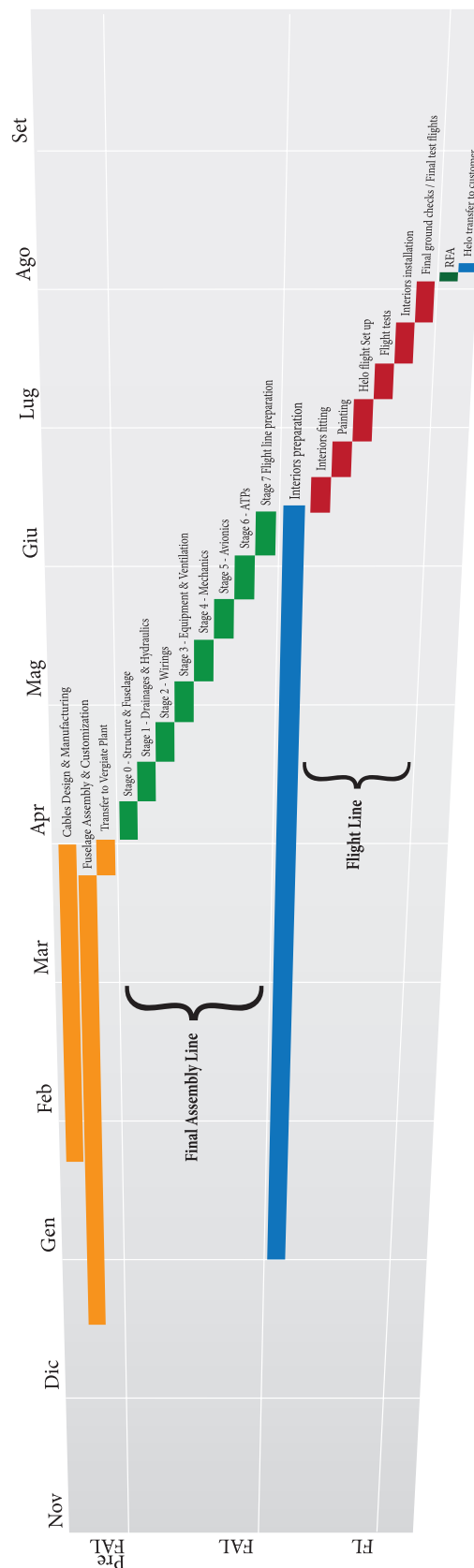
42



Fig 3.1 La sede di
assemblaggio di Philadelphia.
Una delle numerose stazioni
dell'AW139

Nel grafico AW139 Production Flow Chart è rappresentata la parte conclusiva, ovvero la fase dell'assemblaggio. Le fasi che costituiscono l'assemblaggio sono tre: La PRE Fal, la Fal (Final Assembly Line) e la FL (Flight Line). Queste tre fasi, conclusive di tutto il progetto, durano circa 7, 8 mesi. La parte definita dalla sezione blu del grafico, è la preparazione degli esterni da parte del fornitore incaricato. Durante la Flight Line, fase in cui l'elicottero sostiene i test di volo, gli interni della macchina EMS vengono installati sulla struttura del AW139, che fino ad allora non presentava alcuna differenza da un AW139 con altre finalità. Se tutti i test andranno a buon fine, se il controllo qualità verrà superato e se il cliente rimarrà in fine soddisfatto, si procederà con la RFA (Ready For Acceptance), la presentazione ufficiale al cliente e la delivery.

AW139 Production Flow Chart



Tipologie di missioni

L'elisoccorso è un'attività di soccorso sanitario effettuata mediante l'impiego di elicotteri dedicati. Lo scopo principale dei servizi di elisoccorso è duplice: garantire un'assistenza sanitaria in tempi molto rapidi, specie in località isolate o remote e permettere una veloce traduzione della vittima dal luogo dell'incidente alla struttura ospedaliera idonea, anche se questa è distante dal luogo dell'evento. Il trasporto via aria risulta, oltre che molto più rapido di un qualsiasi trasporto di terra, anche più confortevole e potenzialmente meno rischioso, specialmente per i pazienti con traumi multipli (si pensi alle vibrazioni durante un tragitto via terra in ambulanza).

L'equipaggio di un velivolo adibito ad elisoccorso è così composto:

Pilota/comandante, tecnico elicotterista e verricellista, medico specializzato in anestesia, terapia intensiva e rianimazione, infermiere d'area critica dipendente del Servizio 118 Emergenza Sanitaria.

Il personale aeronautico è dipendente della società esercente il servizio, il personale sanitario invece è dipendente del servizio sanitario pubblico (ASL).

Tipologie di intervento:

Gli interventi di elisoccorso sono classificabili in varie categorie. Seguendo la più comune classificazione italiana:

- Interventi primari, quando l'elicottero viene inviato direttamente sulla scena dell'incidente per recuperare l'infortunato o portare i primi aiuti di pronto soccorso.

- Interventi secondari, nei casi in cui l'elicottero viene impiegato per il trasporto di un paziente critico da un ospedale all'altro, tipicamente verso un centro ospedaliero dotato di strutture specialistiche che sono assenti nel presidio inviante.

Seguendo invece la classificazione anglosassone:

- Interventi HEMS, interventi di soccorso sanitario direttamente sulla scena dell'evento, quindi con atterraggio "fuori campo", ma comunque in ambiente non ostile, cioè senza impiego di tecniche particolari per il raggiungimento della vittima e il suo recupero.

- Interventi SAR, soccorso sanitario direttamente sulla scena dell'evento e contemporanea presenza di ambiente ostile che impone l'adozione di tecniche specialistiche dallo sbarco dell'equipe sanitaria in hovering fino all'impiego del verricello per il raggiungimento e il recupero della vittima.

- Interventi AA (air ambulance) in pratica sovrapponibile alla definizione italiana degli interventi secondari, cioè quelle situazioni in cui la missione risulta

pianificabile e vengono utilizzate superfici idonee per l'imbarco e lo sbarco del paziente.

Sempre più spesso, gli elicotteri stanno ricoprendo un ruolo fondamentale nelle operazioni di soccorso a livello nazionale e internazionale, per garantire la sicurezza nazionale e portare soccorsi in caso di calamità naturali.

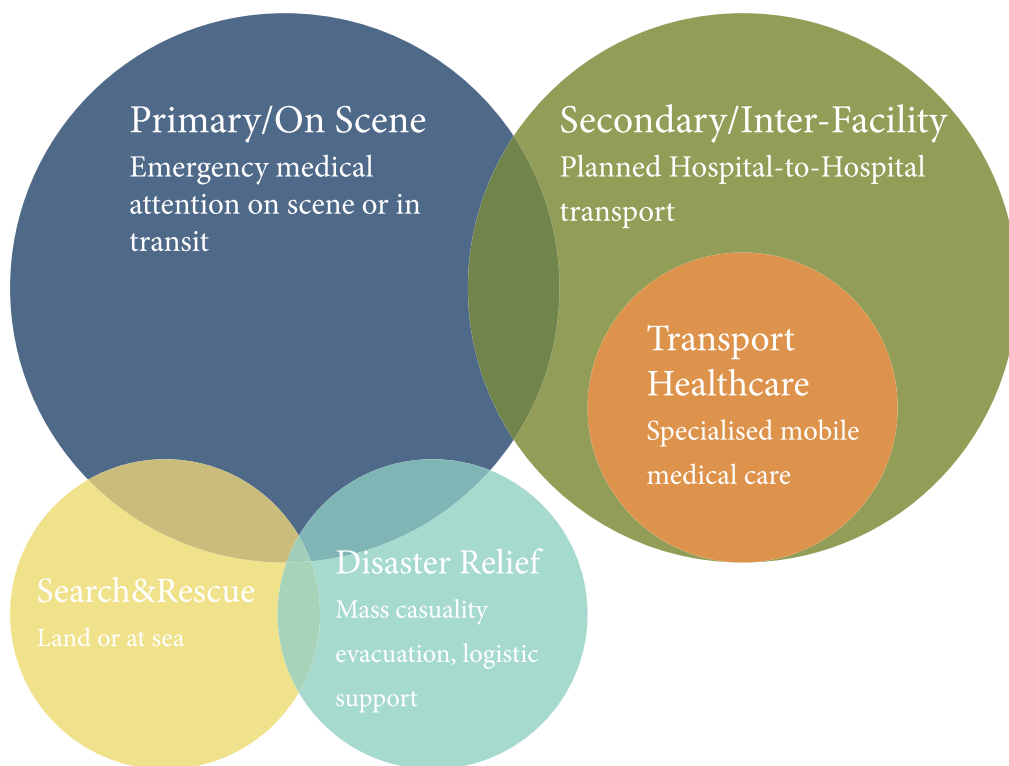


Fig 3.2 Tipologia di missioni

Equipaggiamento

Dotazione sanitaria:

Il materiale sanitario e i farmaci in dotazione permettono l'esecuzione di manovre rianimatorie avanzate (A.L.S. Advanced Life Support) e il trattamento dei politraumatizzati. A bordo di un velivolo EMS possono anche essere presenti dei kit dedicati a situazioni particolari (grandi ustionati, pediatrici, infettivi, amputazioni, ecc.)

Per quanto riguarda il materiale elettromedicale di bordo sono presenti:

- Monitor defibrillatore cardiaco portatile di solito integrato con
- stimolatore cardiaco transcutaneo (Pace-maker esterno),
- ECG a 12 derivazioni,
- monitoraggio Saturazione O2 periferica,
- monitoraggio CO2 espirata,
- monitoraggio Pressione Arteriosa (invasiva e non invasiva).

In aggiunta (facoltativi):

- Respiratore automatico.
- Serbatoio e impianto per Ossigenoterapia.
- Aspiratore.
- Pompe a siringa per la somministrazione di farmaci.

Il materiale di immobilizzazione tipo è rappresentato da:

- Tavola spinale.
- Materasso a depressione.
- Immobilizzatori per arti (stecche a depressione).
- Dispositivo di estricazione.
- Serie di collari (Collarino cervicale).

Tutto il materiale di bordo è asportabile, gli elettromedicali hanno sufficiente autonomia per operare a batteria, sul velivolo sono comunque previsti punti di approvvigionamento di corrente elettrica e ossigeno.

46

(fonte: <http://www.118italia.net/>)



Configurazioni

Equipaggiamento base di un AW 139 EMS

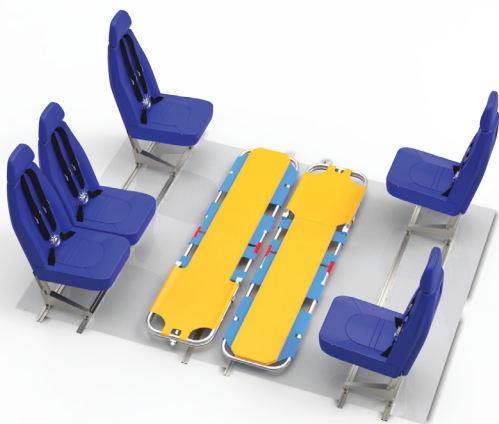
- Singolo o doppio verricello di emergenza (da 272kg e 90 metri di cavo)
- Gancio di carico (da 2200kg)
- Luce per la ricerca
- Radar per la ricerca con scarsa visibilità
- Luci esterne per salvataggi notturni
- TCAS (Traffic & Collision Avoidance System)
- HUMS (Health and Usage Monitoring System)
- HFDM (Helicopter Flight Data Monitoring)
- EGPWS (Enhanced Ground Proximity Warning System)
- Galleggianti per ammaraggio e zattere
- Radio per telecomunicazioni
- Serbatoi ausiliari
- Sistema di Ice-detection
- Multipli layout per le barelle

(fonte <http://www.agustawestland.com/product/aw139-0>)

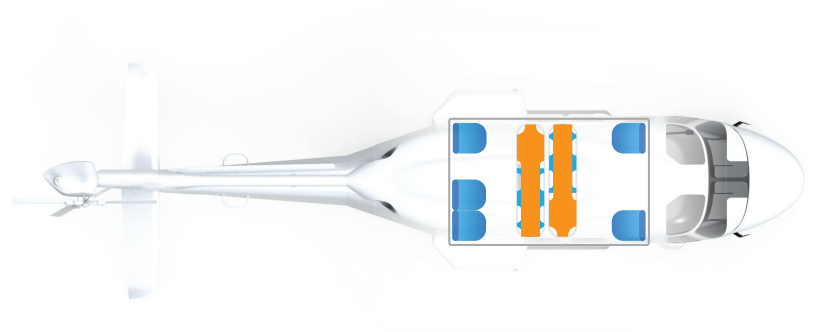
47

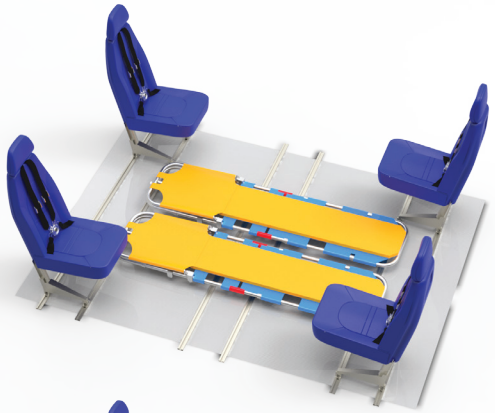
Configurazioni possibili di sedute e barelle

Le sei configurazioni in esame sono presentate secondo un ordine gerarchico definito principalmente dalle esperienze raccolte attraverso un confronto diretto con medici di ruolo su elicotteri EMS e con gli addetti di AgustaWestland incaricati di gestire il rapporto con il cliente. La configurazione che è stata scelta per definire il nuovo interno in esame è una 5posti + 2barelle con tre

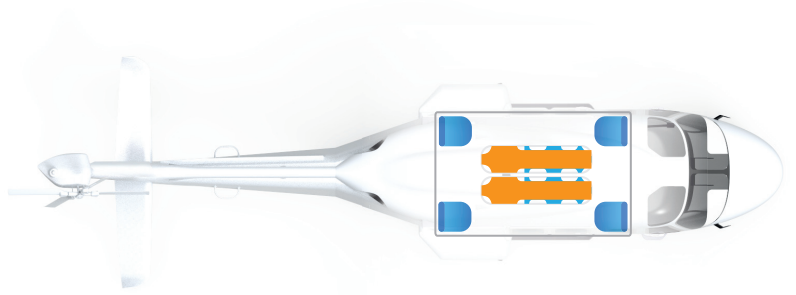


1

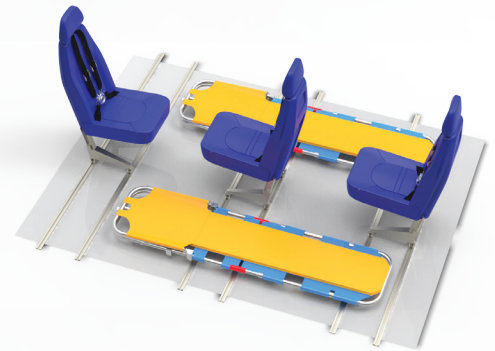
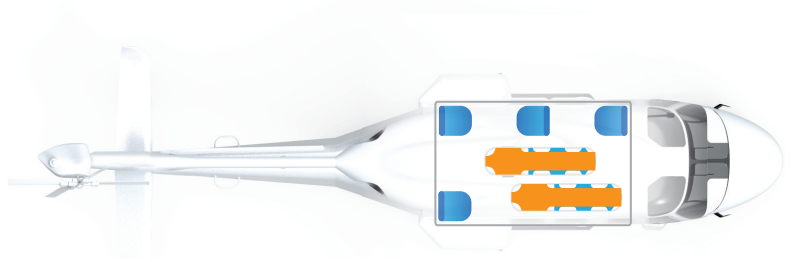




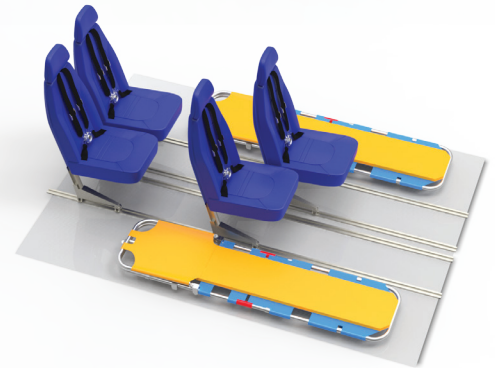
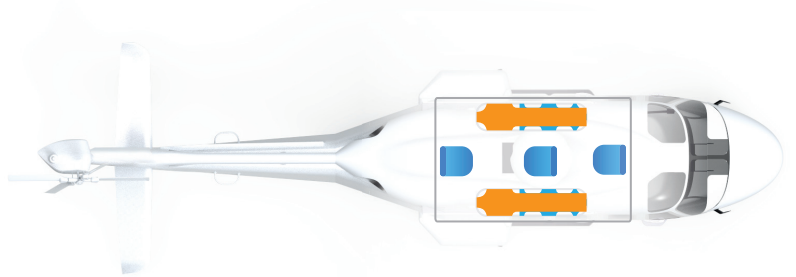
2



3



4



5



sedili posizionati fronte marcia e due contro marcia. Mantenere quattro sedili ai quattro angoli della cabina permette di avere una copertura complessiva adeguata, il sedile in più permette di caricare il numero massimo di addetti e lo posiziona in un punto in cui può gestire l'accesso al gavone posteriore e alle strumentazioni di volo. Le altre configurazioni sono tutte potenziali risis-temazioni della #1 grazie al mantenimento delle guide a terra, quindi rimane comunque possibile ridefinire il layout interno solamente spostando i sedili e le barelle seguendo le proprie esigenze.

139 EMS Interiors procurement

Quando si parla di HEMS, oltre che di prestazioni fisiologiche legate alla meccanica e all'ingegneria della macchina, si deve prestare necessariamente molta attenzione alle attrezzature interne, alla possibilità di configurazioni, alla progettazione degli spazi e agli optional funzionali che possono aiutare e migliorare il lavoro degli operatori durante una missione.

Nel caso di AgustaWestland la progettazione delle risorse interne è affidata ad un fornitore esterno che, lavorando a stretto contatto con l'azienda elabora e certifica l'interno delle macchine EMS. Diversi sono i terzisti incaricati di seguire la definizione degli arredi suddividendosi le varie categorie di macchine dalle Offshore ai VIP fino alle EMS. Per quest'ultima categoria di elicotteri molte sono le maestranze che collaborano con i fornitori, diretti responsabili dell'interior layout: stretta è la collaborazione con le aziende che producono elettromedicali con le quali il fornitore valuta caso per caso che la configurazione risponda positivamente ai requisiti e alle normative internazionali di sicurezza e certificazione. L'AgustaWestland periodicamente organizza incontri di revisione con operatori di bordo, medici specializzati e produttori per riunire i feedback di tutte le diverse utenze che abitualmente o per un determinato lasso di tempo usano e vivono gli spazi e le attrezzature di queste macchine adibite all'elisoccorso. Lento è il processo che dall'ideazione porta alla fabbricazione di questi elicotteri e sicuramente la fase di qualifica e di certificazione occupa più della metà di tutto il percorso; ogni componente che concorre ad arredare gli spazi interni deve passare una rigida fase di test strutturali, di durabilità e di sicurezza ormai condivisi sia a livello europeo che internazionale. Il requisito fondamentale a cui gli arredi devono rispondere e che l'Agusta si riserva di certificare è che qualsiasi oggetto installato, in caso di crash o di incidente non si stacchi e non abbandoni la propria sede fissa e non cominci ad orbitare all'interno della cabina rischiando di colpire o ferire gli occupanti. I retainer e le strutture di sostegno degli elettromedicali sono le parti da questo punto di vista più critiche e impegnative

per la progettazione anche perchè necessitano di costosi test di verifica che ne attestino l'idoneità installativa.

Con la crescita della domanda di elicotteri EMS, crescono e diventano sempre più esigenti anche le richieste legate alle configurazioni, alle strutture e ai macchinari che arredano gli interni di queste particolari ambulanze del cielo:

Rendere più confortevole possibile il tragitto del paziente e aiutare il lavoro dell'equipaggio medico attraverso una buona riprogettazione degli spazi e degli apparati è la frontiera verso la quale si sta muovendo il mercato elicotteristico attuale.

Stato dell'arte

Le macchine EMS ad oggi in commercio sono studiate ad hoc per ogni singolo cliente, che a seconda delle proprie esigenze customizza i propri interni attrezzandoli con elettromedicali e configurazioni particolari.

Grazie al feedback di diversi operatori che lavorano quotidianamente su questo tipo di velivoli si è riusciti a tratteggiare lo stato dell'arte con i problemi e i disagi ad esso connesso. Gli ambienti sono sempre troppo piccoli e stretti, l'illuminazione è scarsa e le superfici sono sempre più difficili da pulire e mantenere sterilizzate.

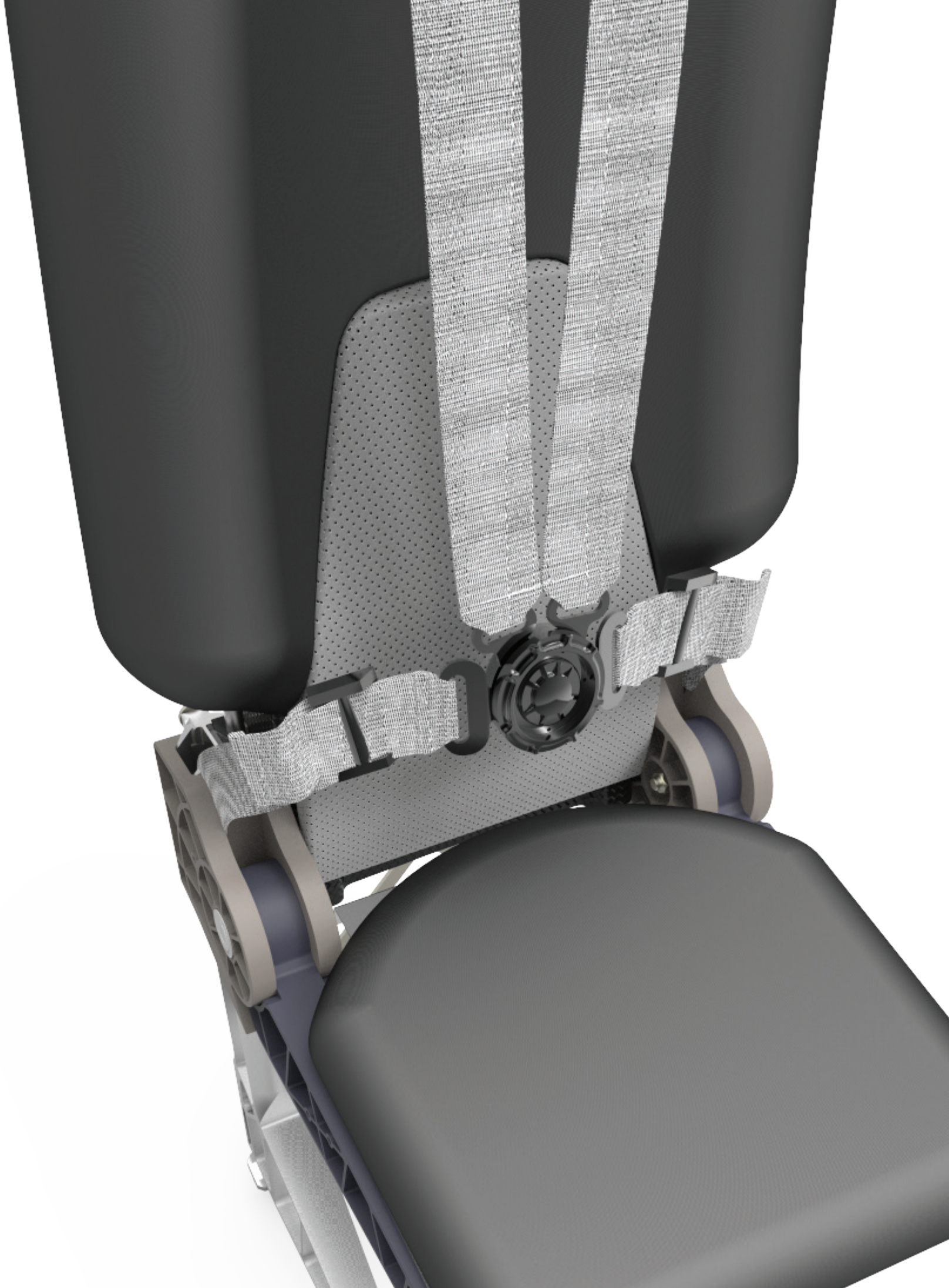
Gli elettromedicali difficilmente trovano un posto ed un orientamento adeguato per essere facilmente regolati e consultati dall'equipaggio di bordo e troppi sono i sostegni e i pesanti retainer che intralciano le traiettorie degli operatori sempre in movimento. Il ceiling dal quale dipartono gli approvvigionamenti di ossigeno ed elettricità ospita frequentemente schermi ingombranti che salgono e scendono dallo stesso per essere consultati dai medici e i sedili sono spesso ingombranti e poco pratici durante le missioni operative. Se le esigenze degli operatori sono di avere una maggiore e migliore libertà di movimento, l'azienda fornisce dei particolari sedili swiveling capaci di ruotare su sé stessi di 180° ma con il difetto di essere eccessivamente pesanti ed ingombranti incidendo in questo modo sulle prestazioni di potenza e resa oraria della macchina.

Pochi sono i punti di visualizzazione delle informazioni di bordo riguardanti la missione o dello stato di salute del paziente; questi punti si riducono nella maggioranza dei casi ad un monitor 11' affrancato al soffitto e difficilmente visibile contemporaneamente da entrambi gli operatori seduti nei due sensi di marcia. Il gavone (la stiva situata nella coda dal velivolo) non è sfruttato pienamente nelle capacità del suo volume o è spesso sfruttato a pieno ma in modo disordinato per stivare zaini e attrezzatura di bordo. I punti di approvvigionamento di ossigeno e corrente non hanno una logica di posizionamento e spesso sono lontani dalla

zona in cui si trova la testa del paziente, dove invece sarebbe utile si trovassero. L'illuminazione della cabina passeggeri è stata pensata per un interno VIP o Offshore ma si sposa male con i requisiti di illuminazione di una cabina EMS. Luci spot si alternano a liners stretti lungo il ceiling che emettono luce diffusa, resta però il problema che i medici hanno proiettate perennemente le ombre delle loro teste sul paziente peggiorando senza volerlo le condizioni di lavoro e di operazione verso il paziente. Sulla base di tutte queste premesse quantitative e qualitative hanno preso forma le riflessioni e le considerazioni che costituiscono il nostro Progetto di Tesi.

Alcune immagini di interni di 139 EMS





La Progettazione

4

Lo studio preliminare delle aree d'interesse gravitanti attorno l'AW 139 EMS ha portato gradualmente alla definizione di un concept di progetto. Insieme ai Product Manager dell'azienda responsabili di questa tipologia di macchina si sono dapprima focalizzate le richieste dei clienti (intesi come organizzazioni pubbliche e private operanti nel settore dell'elisoccorso) e successivamente sono state formulate delle ipotesi d'intervento. Le precedenti esperienze progettuali condotte e realizzate dall'AgustaWestland nell'arco degli ultimi anni si sono offerte come casi studio per la definizione dei requisiti e degli optional necessari per i nuovi interni oggetto di questo progetto di tesi. Utile, nella fase di definizione del concept, è stata l'intervista condotta ad un operatore medico abitualmente in servizio su un mezzo adibito all'elisoccorso. Un momento di rilievo metrico della cabina passeggeri ha preceduto la progettazione vera e propria. Il risultato ottenuto è un interno EMS con una configurazione base ottimizzata in spazi e prestazioni, con superfici più stondate e curveggianti per agevolarne la pulizia e conservare l'igiene. Un secondo step del lavoro di tesi si è focalizzato sulla progettazione e ingegnerizzazione di un sedile foldable che favorisca l'economia degli spazi e una parete attrezzata per il supporto delle attrezzature elettromedicali con la funzione ulteriore di divisorio tra cabina passeggeri e cockpit.

Rilievo cabina passeggeri

Durante la giornata programmata di Giovedì 21 Marzo 2012 ci siamo recati allo stabilimento produttivo di Vergiate per il rilievo degli interni di un AW 139 EMS. La macchina al momento del rilievo è stata trovata in fase di assemblaggio, non erano stati ancora installati i sedili e i rigid liners per questo è stato possibile rilevare i constraint e le posizioni delle strutture principali ricavando così la base per la nostra progettazione. Grazie al rilievo condotto abbiamo potuto annotare le posizioni dei gruppi avionici e meccanici d'interesse per le frequenti ispezioni di manutenzione. Insieme al personale tecnico operante nello stabilimento di Vergiate è stato possibile conoscere direttamente la macchina nelle sue diverse parti, studiarne le potenzialità ergonomiche e cominciare a ipotizzare soluzioni progettuali in risposta alle criticità sull'usabilità e viabilità degli spazi.

I dati numerici ottenuti sono risultati utili per la modellazione cad subordinata alla definizione del concept.

Concept

L'idea che sta alla base di questo progetto di tesi è quella di proporre una serie di soluzioni progettuali che costituiscano un nuovo interno per un AW139 più spazioso, più leggero e attrezzato in modo da contenere tutto ciò che serve in una missione EMS mantenendo le superfici interne più morbide e tondeggianti possibili per agevolarne la pulizia e la sterilizzazione dopo l'utilizzo. Come si è già ricordato nel capitolo dedicato all'Interiors procurement, attualmente gli interni EMS per le macchine AgustaWestland vengono interamente realizzati da fornitori esterni all'azienda che oltre alla progettazione provvedono anche alla certificazione degli stessi, scaricando in questo modo l'AgustaWestland da qualsiasi tipo di responsabilità: Essa si incaricherà solamente di certificare l'installazione degli stessi sulle macchine assicurandone la volabilità. Questo passaggio evita spese legate ai processi di certificazione ma porta con sé una serie di conseguenze che penalizzano il processo industriale e commerciale della flotta interessata. Come prima cosa lo stato dell'arte del design degli interni risulta obsoleto dal punto di vista dei materiali, poco ergonomico, eccessivamente pesante e peggiorativo dal punto di vista dell'igiene dell'ambiente. In secondo luogo la poca flessibilità e componibilità del sistema attualmente fornito dai fornitori e le diverse esigenze da parte dei diversi clienti impone all'AgustaWestland di dover ogni volta avviare un nuovo processo di certificazione differente da macchina a macchina. Per questo il nuovo concept prevede nel suo layout una nuova configurazione base per i sedili e le barelle con la possibilità di modificare velocemente la loro disposizione preservando l'accesso ad ogni tipo di supply center presente sulla macchina e a tutti gli elettromedicali in dotazione. I rigid liners costituenti le pareti della cabina passeggeri risultano più stonati ed esplicitano l'intenzione di integrare il più possibile gli elementi operativi come elettromedicali, prese di corrente, prese d'ossigeno e schermi per la visualizzazione di dati medici e di gestione della missione. La gestione degli spazi viene ottimizzata con l'inserimento di un nuovo sedile foldable che chiudendosi quando non utilizzato, permette una maggiore articolazione dei movimenti degli operatori e dei pazienti. Miglioramento dell'ergonomia, maggiore pulizia delle superfici, ottimizzazione dei pesi e degli spazi, materiali più leggeri e sostenibili, integrazione necessaria di apparecchiature e supply center nelle superfici di base, sono solo alcune delle specifiche della nuova macchina.

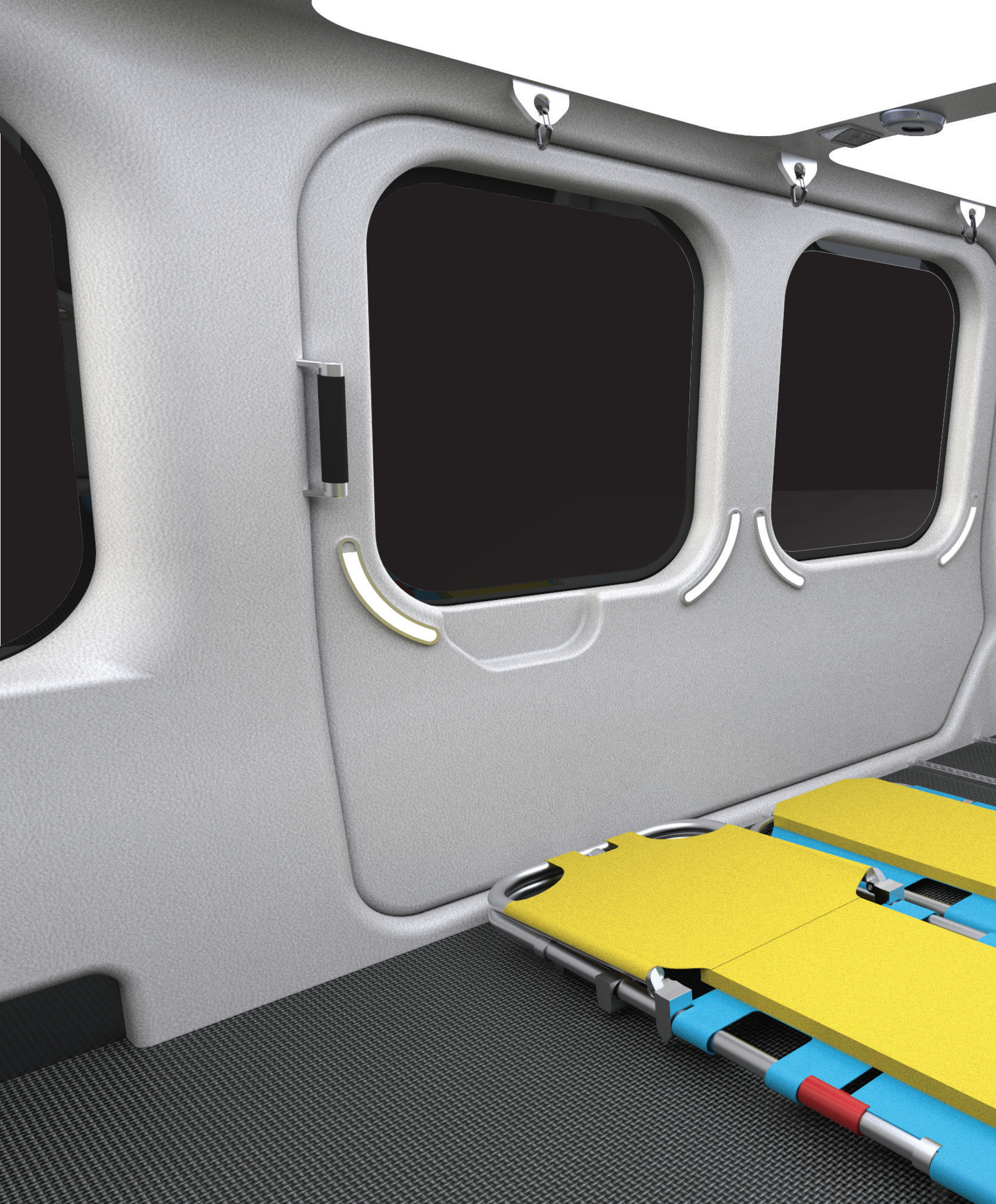
La nuova configurazione

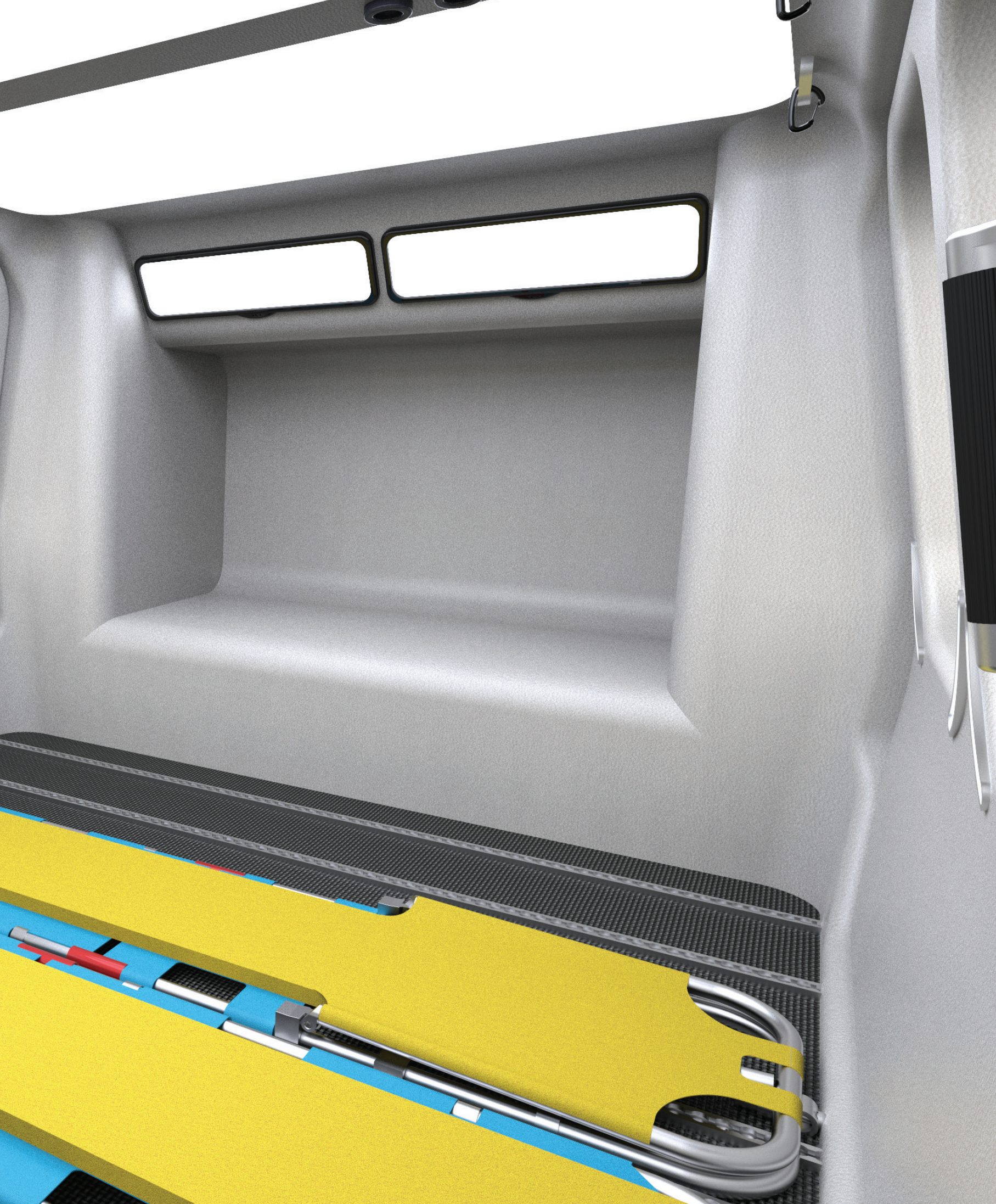
Durante la fase di analisi, nella quale sono state raccolte anche le testimonianze di operatori del campo, è stata individuata una particolare configurazione di sedili e barelle, tra le tante possibili, e valutata come la più performante considerando le novità dei nuovi interni. La necessità di avere almeno un posto per il medico di bordo vicino alla testa di ogni paziente ha costretto a ripensare il layout interno arrivando ad un compromesso tra il numero di sedili equipaggio e numero barelle per i pazienti. La nuova configurazione prevede 5 posti per l'equipaggio (2 contro marcia e 3 senso marcia) e lo spazio per due barelle trasversali. I due sedili contro marcia sono ai lati della parete attrezzata con gli apparecchi elettromedicali, consentendo a due operatori di essere sempre disponibili per qualsiasi tipo di calibrazione degli stessi. I tre sedili senso marcia invece sono disposti su una stessa fila subito davanti al bagagliaio o diversamente chiamato gavone. I due ai lati sono fissi mentre il terzo al centro può essere arbitrariamente affiancato al sedile di destra o a quello di sinistra conservando sempre una zona libera per l'accesso alla stiva. Le due barelle centrali sono disposte una di fianco all'altra e già rivolte verso le uscite scorrevoli laterali dalle quali verranno facilmente evaquate e caricate.

Superfici interne e rigid liners

Le superfici dei liner che compongono sostanzialmente le pareti della cabina passeggeri sono state volutamente addolcite e messe in continuità tra di loro in modo da avere una superficie interna il più tondeggianti possibile per essere lavata e sterilizzata con facilità. I raggi di curvatura negli angoli della struttura risultano ora molto più ampi rispetto a quelli che caratterizzano l'attuale 139 senza però compromettere la capienza complessiva dell'abitacolo.

Le superfici del ceiling sono state mantenute a raso della struttura subito sotto al rotore principale massimizzando così lo spazio interno. Il precedente soffitto attrezzato è stato liberato dagli ingombranti retainer per monitor foldable ed elettromedicali per far posto a pannelli traslucidi contenenti il sistema di illuminazione diffusa che conferisce alla cabina la giusta illuminazione ambiente non ostacolando il lavoro degli operatori: è stato riscontrato in fase di analisi e di ricerca che il sistema di luce diffusa attuale non era sufficiente a rischiare l'ambiente e le sole luci spot installate sul ceiling proiettando l'ombra della testa del medico sul paziente ne ostacolavano il lavoro compromettendone la buona riuscita. Il soffitto rigido è stato così sostituito con un soffitto illuminante studiato con un sistema illuminotecnico ad hoc che sarà illustrato più avanti









nell'elaborato. La superficie del ceiling continuando verso la coda entra nel gavone (stiva) ricreando la superficie adatta ad ospitare due monitor di grandi dimensioni per la visualizzazione dei dati inerenti alla missione e delle informazioni mediche legate alla salute del paziente. L'idea progettuale nasce dall'incontro e dal confronto con medici specializzati abitualmente in servizio su questa tipologia di macchine che hanno manifestato il bisogno di avere un punto bene in vista che non fosse d'intralcio o ancorato al soffitto per la visualizzazione di tali informazioni. I monitor sono rivolti verso il personale seduto contromarcia in quanto solamente nella zona del gavone è stata individuata l'area ottimale per ospitare gli schermi e non ostacolare nel contempo il lavoro degli operatori. La tecnologia di produzione dei liner, che ad oggi sono in fibra di vetro, è stato scelto di convertirla in termoformatura per abbattere il costo al pezzo e i tempi di fabbricazione; in questo modo si dà un'alternativa valida che ha da una parte una maggiore possibilità di customizzazione in texture e colori senza bisogno di trattamenti superficiali, dall'altra non avendo una funzione strutturale nella cabina risulta essere assai più economica e celere rispetto al processo lungo e costoso della produzione di componenti in fibra di vetro.

Illuminazione a soffitto

60

L'illuminazione è gestita per essere il più diffusa possibile, per non creare ombre sul paziente e per agevolare al massimo il lavoro dei medici. Sfruttando come spunto il soffitto tripartito degli elicotteri VIP, è stata creata una soffittatura con tre ampie zone di luce. Si tratta di tre superfici leggermente bombate (per evitare vibrazioni spiacevoli) di policarbonato opalino. Dei led sono posizionati (come da figura) sul perimetro delle lastre di policarbonato; questa disposizione permette alla luce di filtrare nel policarbonato. Se poi si dipingesse la superficie superiore della lastra di nero opaco, e si desse una finitura ruvida alla superficie esterna inferiore, si avrebbe come risultato una rifrazione completa verso il basso e una diffusione generale ed omogenea della luce. In figura 4.1 da notare la sezione della lastra che spiega schematicamente la sua funzione.

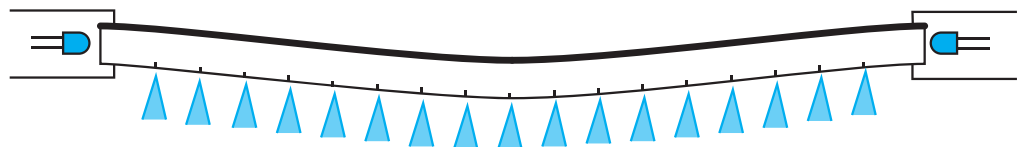


Fig 4.1 La sezione della struttura illuminante

Mounting solution

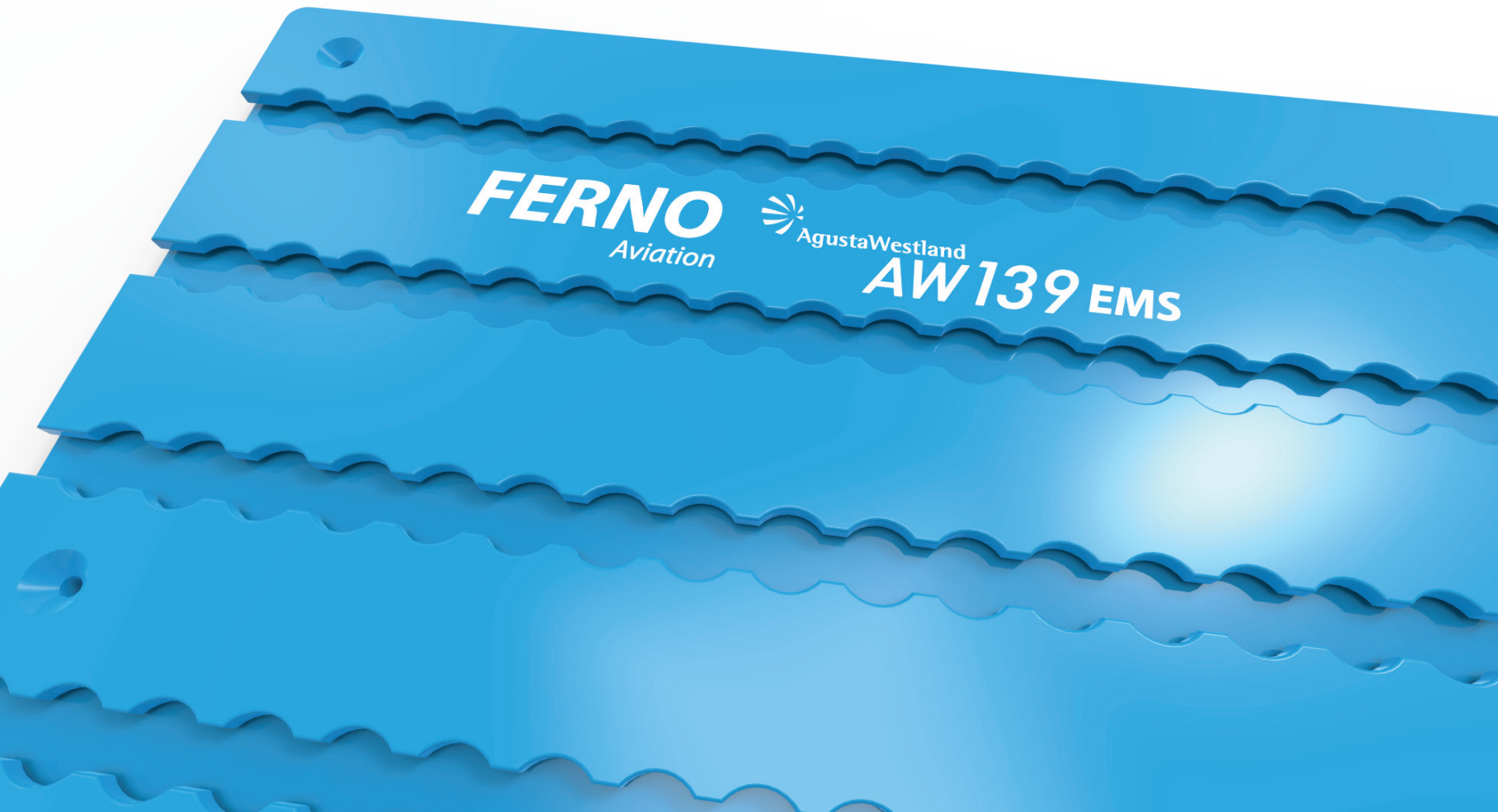
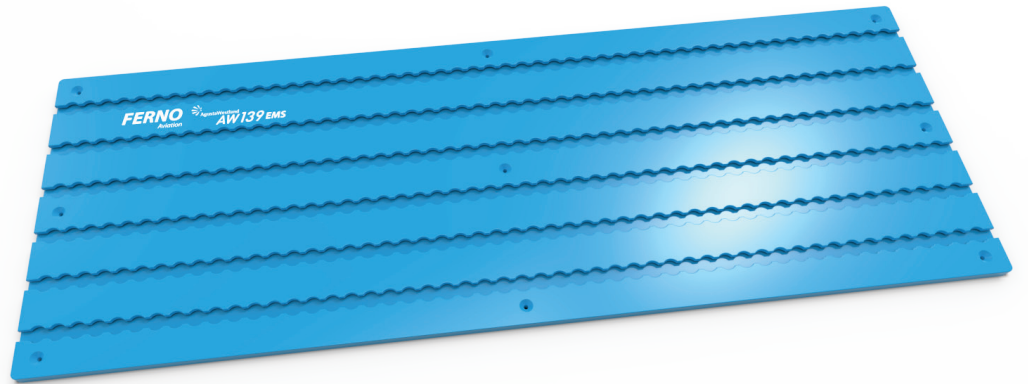
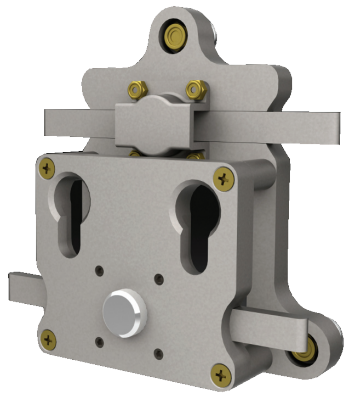
Per mounting solution si intende il rack per l'alloggiamento degli elettromedicali. Il sistema è composto da una parete, detta anche Standard Track, ricavata dal pieno da alluminio aeronautico. La piastra di supporto può essere installata su ogni superficie orizzontale e verticale, incluse le soffittature, su ogni tipologia di elivelivolo. Valore in più di questa installazione è la possibilità di cambiare continuamente la disposizione dei componenti elettromedicali, che si agganciano al track mediante dei supporti studiati ad hoc per tipologia di macchinario. Gli attacchi sono delle strutture, sempre macchinate da alluminio aeronautico che si fissano alla parte per tre o quattro punti di contatto circolari.

Il track è pensato in modo che gli attacchi possano facilmente scorrere da una posizione ad un'altra in linea retta seguendo la guida ma possono anche essere staccati e ricollegati alla struttura in modo da spostarli perpendicolarmente alle guide stesse.

E' importante considerare che la struttura e i retainer sono testati a 20g esattamente come da normativa aeronautica. Le componenti necessarie sono fornite da una azienda esterna di nome Ferno Aviation con la sede in Georgia (USA) che produce sia la struttura sia i mounting devices.



Adottare questa tecnologia significa dare la possibilità di avere una struttura leggera e resistente che permette un altissimo livello di personalizzazione degli alloggiamenti degli elettromedicali. La velocità di aggancio/sgancio permette inoltre di disinstallare le strumentazioni al momento di non utilizzo, in modo da prevedere uscite in missione senza strumentazioni inutili, oppure la rapida riconfigurazione in Search and Rescue.



Parete attrezzata per sistemi elettromedicali

Un'altra novità presentante in questo concept di prodotto consiste nella parete attrezzata composta da binari della Ferno Corporation uniti tra loro tramite due piastre in acciaio inossidabile compatibile con l'acciaio dei binari. La parete è stata pensata per essere attrezzata con gli elettromedicali necessari alla missione EMS, essi vengono semplicemente affrancati alla struttura mediante specifici re-tainer in dotazione presso la stessa azienda che produce le apparecchiature componendo così una zona tecnologica di riferimento per i medici di bordo. Tutte le apparecchiature elettromedicali sono state volutamente riunite e raggruppate in questa zona per facilitare il reperimento delle informazioni e limitare l'accesso ai soli due medici contromarcia. Sempre grazie all'incontro con medici specializzati in servizio su questi elicotteri è stato possibile apprendere che tipo di situazioni si ricreano di norma all'interno di questi spazi. Occorrerebbe più spazio libero per i movimenti, più ordine nella disposizione delle apparecchiature, più luce e meno sporco. Da queste considerazioni ha preso corpo il concept di layout ora illustrato in queste pagine. Concentrando le apparecchiature in una ristretta zona del velivolo si facilita e si velocizza il reperimento delle informazioni senza creare intralcio tra il personale operante e limitando l'intralcio di ingombri sul soffitto e sulle altre pareti della cabina. La parete attrezzata si trova subito dietro il Cockpit nella direzione opposta alla marcia.

63

Sedili aeronautici

I sedili usati sui velivoli, soprattutto se si tratta di elicotteri, devono soddisfare rigide normative internazionali che ne garantiscono la sicurezza e quindi l'installabilità sopra le strutture. L'architettura dei sedili aeronautici si sviluppa su una base certificata costituita da un meccanismo anti-urto che in caso d'impatto dovrebbe garantire la sopravvivenza del passeggero.

Il nuovo sedile foldable è stato da noi sviluppato partendo dagli incombri generali del sistema Crashworthy attualmente utilizzato in tutti i sedili utility, EMS ed offshore. Il mantenimento della base ha permesso di concentrarsi sulla struttura superiore e sul giunto che rende il sedile foldable, evitando di compromettere le certificazioni che garantiscono la funzionalità del sedile e la possibilità di installazione sulle macchine AgustaWestland.

Il sistema Crashworthy

“Crashworthiness” dall’inglese, è l’abilità di una struttura di resistere agli impatti proteggendo i suoi occupanti da danni irreversibili. Essa è comunemente utilizzata per stabilire il livello di sicurezza espresso da un elicottero, un aereo o un qualsiasi altro veicolo. In relazione al tipo di impatto vengono studiati diversi criteri per determinare la resistenza della struttura. Questi esami vengono realizzati in diversi modi: con simulazioni tramite software dedicati, con crash test fisici, e con analisi di incidenti realmente accaduti. La probabilità di subire dei danni è stabilita mediante l’utilizzo di alcuni criteri, principalmente parametri meccanici (come ad esempio la forza, l’accelerazione, la deformazione), correlati a valori limiti sostenibili da un corpo umano; essi corrispondono a valori di rischio prefissati e usati come termini di paragone universali per la progettazione areospaziale. Un criterio comune è per esempio l’HIC: Head Impact Criterion. Il livello di sicurezza della struttura, detto semplicemente Crashworthiness, è invece stabilito e confermato solo dall’analisi di incidenti già avvenuti o da test guidati che sottopongono a situazioni limite la struttura e tutte le parti comprensive del sistema in studio. La storia delle investigazioni sulla sicurezza negli incidenti comincia con le ricerche di John Stapp (11 luglio 1910 - 13 Novembre 1999), un colonnello dell’esercito americano, che, nel lontano 1940, comincia la sperimentazione, sulla sua pelle, della resistenza estrema alla forza G applicabile a un corpo umano. Tra gli anni ‘50 e ‘60 viene stabilita la AvSER, Aviation Safety Engineering and Research, una organizzazione no-profit con lo scopo di investigare le principali cause di danno in caso di incidente aereo. L’interesse per questo genere di investigazioni nasce con il bisogno di evitare al massimo i possibili danni a piloti ed equipaggio negli incidenti di elicotteri durante la guerra in Vietnam, in quanto, in quel periodo l’esercito americano inizia ad utilizzare pesantemente gli elicotteri per le loro doti di agilità e velocità d’azione. Tutte le investigazioni precedenti furono effettuate solamente con lo scopo di definire le motivazioni dell’incidente e non i meccanismi dei danni ricevuti dall’equipaggio. Le prime conclusioni portarono a determinare che fosse estremamente più efficace mantenere le sedute attaccate alla struttura del velivolo e tentare di scaricare il più possibile il peso applicato alla schiena del passeggero durante gli incidenti che provocavano un forte urto parallelo alla spina dorsale dell’occupante. Si determinò come regola e si decise di adottare come sistema di riferimento associato il fatto che un uomo riesca a sopportare meglio gli urti in avanti (X) e laterali (Y), piuttosto che quelli verticali (Z). Limitare il carico sulle Z avrebbe portato ad aumentare considerevolmente le chance di sopravvivenza dell’equipaggio, e la minimizzazione dei potenziali danni alla colonna vertebrale. Nel 1967 venne pubblicata la prima versione del Aircraft Crash Survival Design Guide, un saggio di aiuto alla progettazione nei termini della sicurezza, continuamente aggiornato con le più recenti conoscenze e che

tutt'ora, nella sua ultima versione, viene ancora utilizzato.

Il più efficiente e quindi più efficace metodo per limitare i carichi è l'assorbimento totale o parziale dell'energia che si viene a creare con l'urto. Strutture capaci di questo genere di compito sono state proposte, analizzate, testate, scartate, adattate e sviluppate in enormi quantità. Come informazione generale riportiamo i principali concept suggeriti ed analizzati durante gli anni '60 '70. Le versioni che attualmente troviamo in utilizzo sono riadattamenti e riammodernamenti di strutture presenti in questo elenco (presentate in inglese perchè tratte da "Aircraft Crash Survival Design Guide").

Crushable column

Rolling torus

Inversion tube

Cutting or Slitting

Tube and Die

Rolling/Flattening tube

Strap, Rod or Wire bender

Wire-through-Platen

Deformable links

Elongation of tube, Strap or Cable

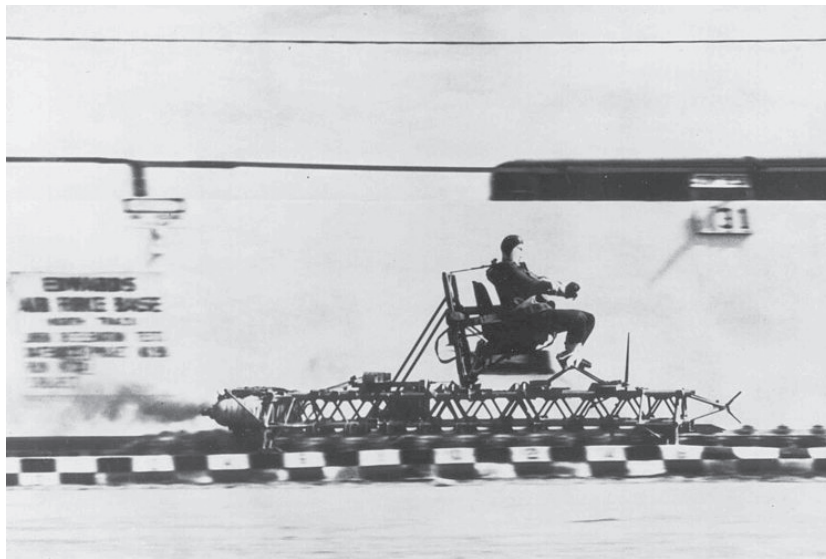
Tube flaring

Housed Coiled Cable

Bar-through-Die

Hydraulic

Pneumatic



La tipologia di Crashworthy attualmente utilizzata su sedili Vip, Offshore e Utility dall'AgustaWestland è la Tube and Die, ossia Tubo e matrice. Questo dispositivo utilizza la forza necessaria alla riduzione del diametro del tubo forzato attraverso la matrice, per dissipare l'energia dell'incidente. La forza utile a superare le forze di attrito e di frizione contribuiscono ad alleviare le spinte risultanti sulla seduta stessa e quindi sul passeggero. Il sedile foldable crashworthy studiato presenterà questa medesima tipologia di sistema di sicurezza, parzialmente riadattata al nuovo utilizzo del sedile. Gli studi effettuati sui sistemi crashworthy sono stati utilizzati principalmente per scopi militari, tuttavia essi sono assolutamente riconducibili e applicabili anche a situazioni di elicotteri civili. Il processo per la certificazione dei sedili civili richiede un crash test da effettuare solamente con un crash test dummy (il modello umano utilizzato nei crash test) del 50esimo percentile. I test con altre dimensioni umane non sono mai stati effettuati perchè non sono richiesti dalle regolamentazioni. Risulta ovvio concludere che un test così limitato non accoglie tutte le possibili eccezioni

Fig A John Stapp in un momento di sperimentazione

e quindi, i sedili, potrebbero non essere sufficientemente efficaci per persone più pesanti del 50esimo percentile. Questa mancanza nelle certificazioni però gioca a favore dei produttori che possono contenere le dimensioni delle strutture e quindi dedicare più spazio ad altre funzioni necessarie o meno, all'interno di un elicottero. Comunque sia, in conclusione, è stato comprovato anche grazie ad incidenti realmente avvenuti, che il sedile crashworthy è un validissimo supporto di sicurezza che non assicura ma contribuisce alla salvaguardia dell'incolumità dei passeggeri. Oltremodo è indiscutibile che esso debba essere ulteriormente potenziato per tutti i percentili.

Tolleranza umana e sopravvivenza agli impatti

Gli infortuni negli incidenti elicotteristici sono il risultato della risposta fisica alle forze d'impatto applicate al corpo umano. La possibilità di sopravvivenza in caso di crash della macchina è favorita da un'attenta e mirata progettazione dell'ambiente e dei sistemi di seduta ospitati. Si è stimato che approssimativamente l'85 % degli incidenti elicotteristici hanno salvaguardato l'incolumità dei passeggeri evitando seri infortuni agli occupanti. Questa stima si è basata sulla verifica che l'85% degli incidenti analizzati ha risposto positivamente a due principali criteri di valutazione. Il primo che le forze coinvolte nell'impatto fossero dentro i limiti di sopportazione umana. Secondo che la struttura interna ospitante i passeggeri avesse resistito all'impatto riportando cedimenti solamente nella pancia del velivolo mantenendo però intatto il volume occupato dalle persone. All'interno di questo progetto di tesi verranno contemplati e studiati i fattori in gioco gravitanti attorno ad un sistema di seduta pensato per sopportare determinati sforzi d'impatto e salvaguardare l'incolumità del passeggero.

Una conoscenza della resistenza umana ad una accelerazione improvvisa è essenziale per lo sviluppo di un appropriato sistema crashworthiness di un qualsiasi velivolo. Se si conoscesse l'ambiente a cui un certo velivolo viene esposto e i limiti di tolleranza umana all'accelerazione, si potrebbe potenzialmente sviluppare un sistema di protezione denominato appunto Crashworthy System che protegga gli occupanti in un eventuale incidente. In generale la tolleranza umana all'accelerazione è funzione di diversi fattori esterni. Questi fattori sono connessi alle caratteristiche dell'impulso d'impatto e al design dei sedili e al sistema di frenaggio. I fattori in gioco possono essere riassunti in: *-Dimensione dell'accelerazione -Direzione dell'accelerazione -Durata -Posizione e natura dei sistemi di trattenuta del passeggero*

Oltre a questi fattori esterni vi sono da contemplare dei fattori connessi al singolo soggetto implicato nell'impatto, quali: *-Età del soggetto -Salute -Sesso*

Nella *tabella n°1* sono riportate le stime dei limiti di sopportazione umana

dell'accelerazione in caso di crash usando come sistema di riferimento il baricentro di una persona seduta. Gli infortuni all'interno di un elicottero possono essere causati principalmente da due fenomeni di impatto: nel primo l'onda d'urto viene trasmessa attraverso il sedile al corpo del passeggero, nel secondo l'impatto avviene con un potenziale oggetto lesionante libero di muoversi all'interno della cabina. Queste due tipologie di impatto possono essere evitati accertandosi che nella progettazione dell'abitacolo vengano rispettate le seguenti normative:

- Evitare preventivamente ogni possibile espulsione dell'occupante dal sedile
- Evitare ogni possibilità d'urto tra l'occupante e le strutture interne dell'abitacolo
- Assicurarsi che l'onda d'urto venga distribuita sulla più ampia area possibile del corpo umano provvedendo ad un'opportuna progettazione delle cinture.

Human Tolerance Limits

Direction of Accelerative Force	Occupant's Inertial Response	Tolerance Level
Headward (+ Gz)	Eyeballs Down	20-25 G
Tailward (- Gz)	Eyeballs Up	15 G
Lateral Right (+ Gy)	Eyeballs Left	20 G
Lateral Left (- Gy)	Eyeballs Right	20 G
Back to Chest (+Gx)	Eyeballs Out	45 G
Chest to Back (- Gx)	Eyeballs In	45 G

Note: Reference: Crash Survival Design Guide, TR 79-22.
(0.10 Second time duration of crash pulse; full restraint)

Gr. 1 Human tolerance limits

Processo di Qualifica e certificazione

Gli step necessari alla messa in norma di un sedile aeronautico sono numerosi e richiedono la partecipazione di più figure specializzate. Nel caso in analisi la progettazione meccanica-strutturale dei sedili è affidata ad un fornitore esterno che si incarica di svolgere e ufficializzare tutti i test necessari alla qualifica del sedile aeronautico. Questa tipologia di test di resistenza meccanica vengono svolti cercando di soddisfare le richieste di sicurezza esplicitate nei documenti di normativa europea:

ETSO-C127a, 24.10.2003, European Technical Standard Order, rotorcraft, transport airplane and normal and utility airplane seating systems

SAE AS8049A, Settembre 1997, Performance standard for seats in civil rotorcraft, transport aircraft, and General Aviation Aircraft

FAR Part 29, Airworthiness standard, transport category rotorcraft

Ognuno di questi documenti traccia delle direttive legali e di progettazione alle quali i produttori di velivoli devono attenersi garantendo così un determinato livello di survivability per i passeggeri in caso di impatto. Per l'installazione del

sedile sull'elicottero AgustaWestland stessa si incarica di verificarne l'idoneità e che non ci siano interferenze tra gli agganci a pavimento e la struttura del sedile. L'azienda deve assicurare all'autorità legale che tutti gli elementi e le strutture presenti all'interno dell'abitacolo della macchina, in caso di crash non si staccino dalle rispettive sedi e non intralcino le traiettorie delle teste e degli arti degli occupanti. Questo appena descritto prende il nome di processo di certificazione.

Focus sui sistemi di sicurezza

Prevenire le collisioni secondarie è essenziale per evitare morti accidentali durante un incidente in elicottero. Per collisioni accidentali si intendono tutti gli impatti tra il corpo del passeggero e la struttura interna del velivolo. Ci sono diversi tipi di di cinture di sicurezza disponibili oggi sul mercato, ma le più diffuse sono le cinture che abbracciano la cintura pelvica e quelle che immobilizzano il busto scendendo dalle spalle. Solitamente si opta per un mix dei due tipi descritti per distribuire meglio la forza di impatto. Le sole cinture lombali consentono un immenso sbracciamento in caso di crash. La *figura n°2* descrive lo sbracciamento del torso di un passeggero soggetto a 30G senso marcia e 30G laterali per un'accelerazione orizzontale. Nell'*immagine n°3* viene raccontato come i limiti dello sbracciamento vengono assai ridotti nel caso della convivenza dei due sistemi: cinture lombali e del torso.

68

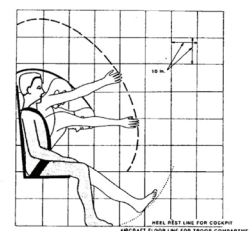
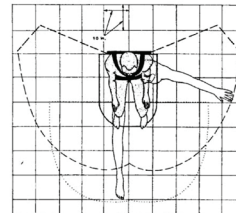
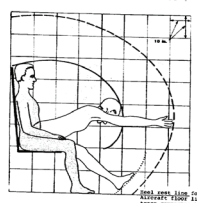
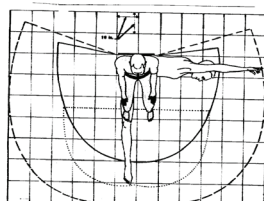
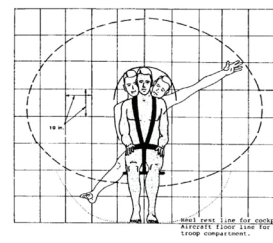
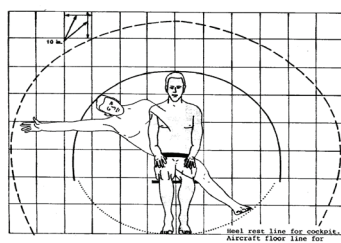


Fig 2 Sbracciamento con sole cinture pelviche

Fig 3 Sbracciamento con cinture pelviche e toraciche

Il nuovo Sedile foldable per AW139 EMS

Il sedile è stato disegnato tenendo conto dei requisiti di sicurezza riportati all'interno dei seguenti documenti di riferimento internazionale:

ETSO-C127a, 24.10.2003, European Technical Standard Order, rotorcraft, transport airplane and normal and utility airplane seating systems

SAE AS8049A, Settembre 1997, Performance standard for seats in civil rotorcraft, transport aircraft, and General Aviation Aircraft

FAR Part 29, Airworthiness standard, transport category rotorcraft

Nel rispetto dei requisiti di certificazione ETSO-C127a e di installazione sull'elicottero FAR 27/29, considerando un peso medio dell'occupante di 77Kg e un peso proprio del sedile di 15Kg, anteriormente e posteriormente il sedile resiste ai seguenti carichi:

16g	FORWARD	16 x 9,81 m/s² x (15+77) Kg = 14441 N
16g	REARWARD	16 x 9,81 m/s² x (15+77) Kg = 14441 N
8g	SIDEWARD	8 x 9,81 m/s² x (15+77) Kg = 7221 N
4g	UPWARD	4 x 9,81 m/s² x (15+77) Kg = 3611 N
20g	DOWNWARD	20 x 9,81 m/s² x (15+77) Kg = 18051 N

Il sedile è saldamente fissato in 4 punti a dei binari in acciaio sul pavimento. Ogni binario lungo 152,4 mm è ricavato da un resistente profilo in MS33601A (7075 T6 lega di alluminio) e fissato al pavimento con viti M8.

Descrizione Sedile Foldable dedicato AW139 EMS

Il sedile si sviluppa intorno alla struttura crashworthy già certificata e già in possesso di qualifica installativa per ogni tipo di macchina AgustaWestland.

I fattori innovativi introdotti nel prodotto sono:

-Giunto foldable che rimpiazza il predecessore fisso introducendo la possibilità di ottimizzare e utilizzare a pieno lo spazio della cabina.

-Una piastra rotante nella seduta che aumenta la libertà dei movimenti del medico permettendogli di accedere alle apparecchiature elettromedicali e di occuparsi del paziente rimanendo in sicurezza.

-Struttura schienale ottimizzata nel numero di pezzi e nel costo delle tecnologie di produzione: più leggero e aderente alle schiume.

-Nuove schiume antifiamma con ritardanti di fiamma al cromo.



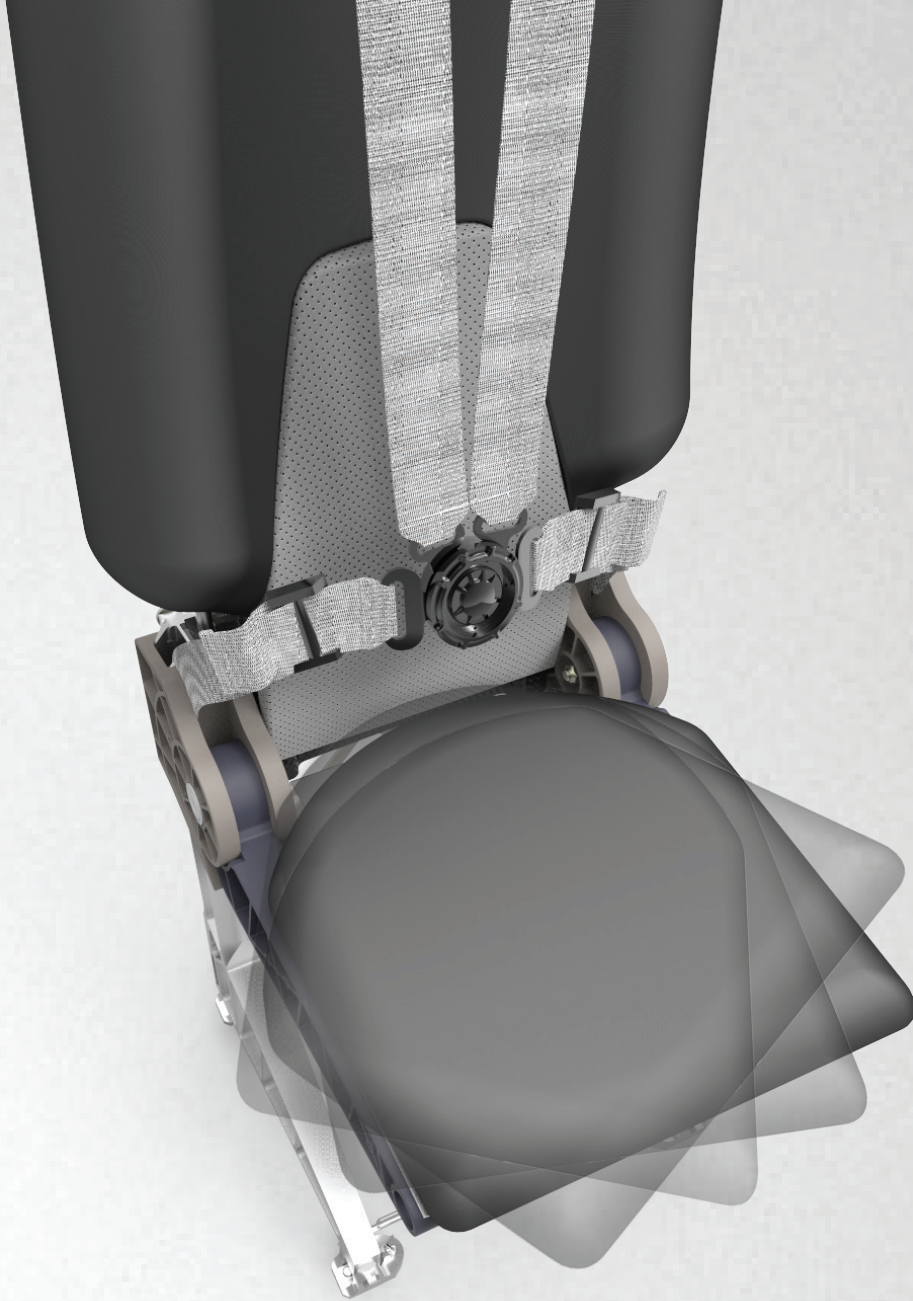
**SCHIUME POLIETILENICHE FR
con ritardanti di fiamma HBCD**

**Rispondo alle normative
*Federal Aviation Regulation
FAR 25.853 (a)***

*Radiant Panel Test di Calore
FAR 25.856 (a)*

Bassa densità di fumi emessi
Basso Calore emesso
Bassa emissione di gas tossici

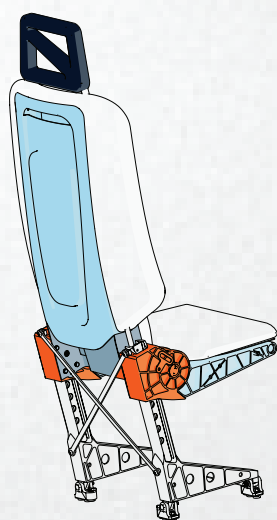
TMax d'esercizio 160°C
Struttura a cellule chiuse
Bassa densità



Pesi

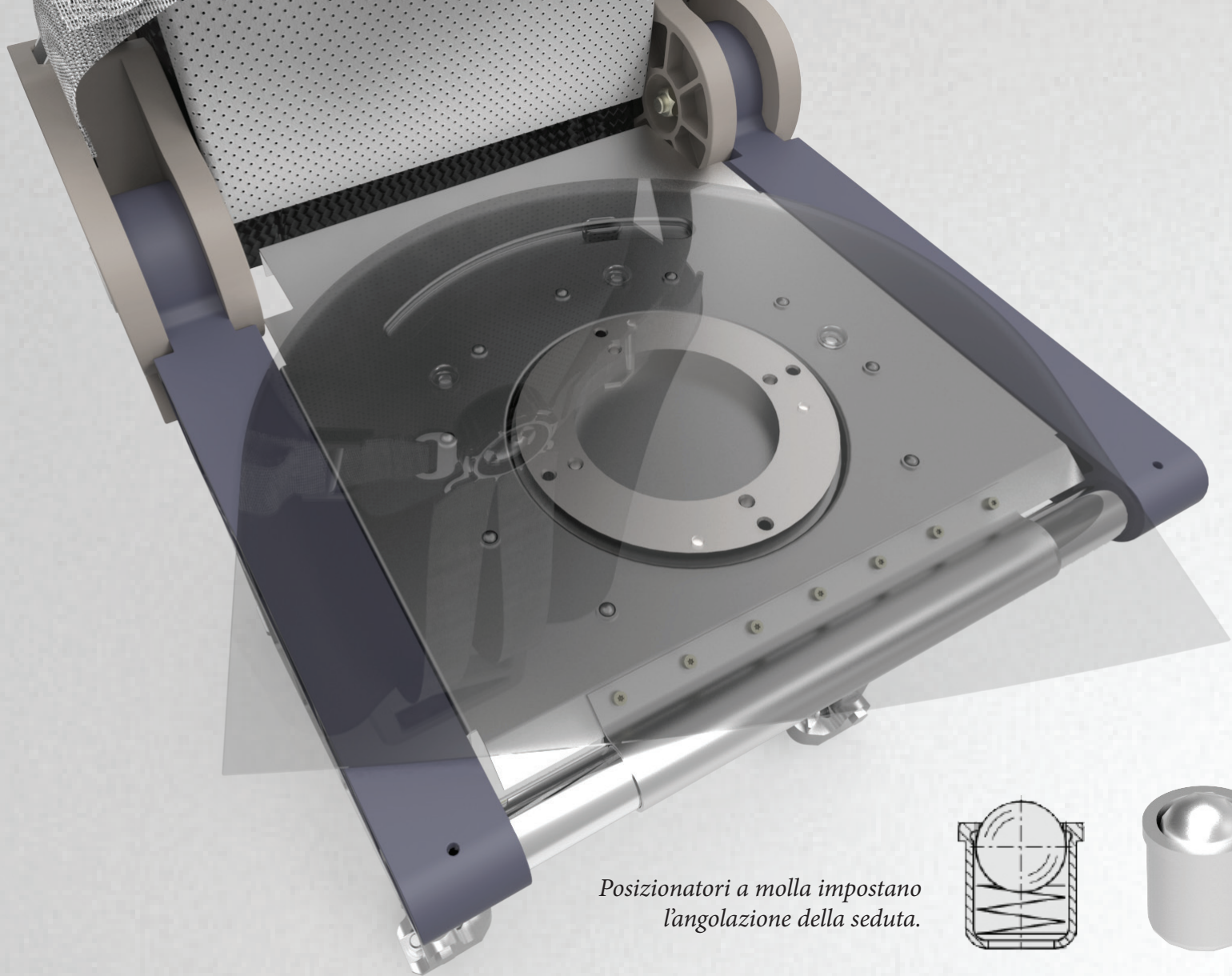
In aeronautica, ogni chilogrammo risparmiato, si traduce in un guadagno di carburante, di velocità, di distanza percorribile. Per questo, si deve essere sempre molto attenti a quanto può pesare una nuova struttura da inserire su un elivolo e se effettivamente rappresenta un miglioramento rispetto alla versione precedente dello stesso prodotto.

Per valorizzare le capacità del nostro sedile, risulta importante valutarne il peso complessivo e confrontarlo con il peso del sedile che andrebbe a sostituire. La seduta tuttora in produzione e presente sulle macchine AW139 EMS, garantita dall'azienda produttrice e da AgustaWestland stessa pesa tra i 10 e i 15 chilogrammi. Per migliorare questo aspetto occorre effettuare una misurazione sulle parti più pesanti e ingombranti del nuovo sedile foldable. In figura **TOT** si possono notare le pesistiche distribuite per componente. La struttura complessiva risulta pesare all'incirca 10Kg. Contando solamente le parti evidenziate il peso rimane addirittura sotto i 10Kg, aggiungendo poi viteria e altre strutture minori si guadagnano circa 1,5/2Kg. Infine vanno aggiunte le schiume, il cui peso rimane entro il chilo. In totale quindi il sedile completo arriva a pesare 13Kg, una cifra non di molto inferiore al peso del precedente sedile. Ciò nonostante, eguagliare il peso rimane un successo, infatti, sebbene siano state aggiunte diverse features (seduta rotante e giunti foldabili) l'impatto del sedile rimane esattamente lo stesso.

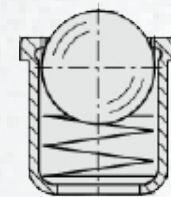


	Struttura Crashworthy:	2,5kg
	Braccio foldabile:	0,75Kg x 2
	Giunto:	1,26Kg x 2
	Schienale in fibra:	0,95Kg
	Fairing:	0,55Kg
	Poggiatesta:	1,0Kg

Kg tot per la struttura < 10Kg



Posizionatori a molla impostano l'angolazione della seduta.

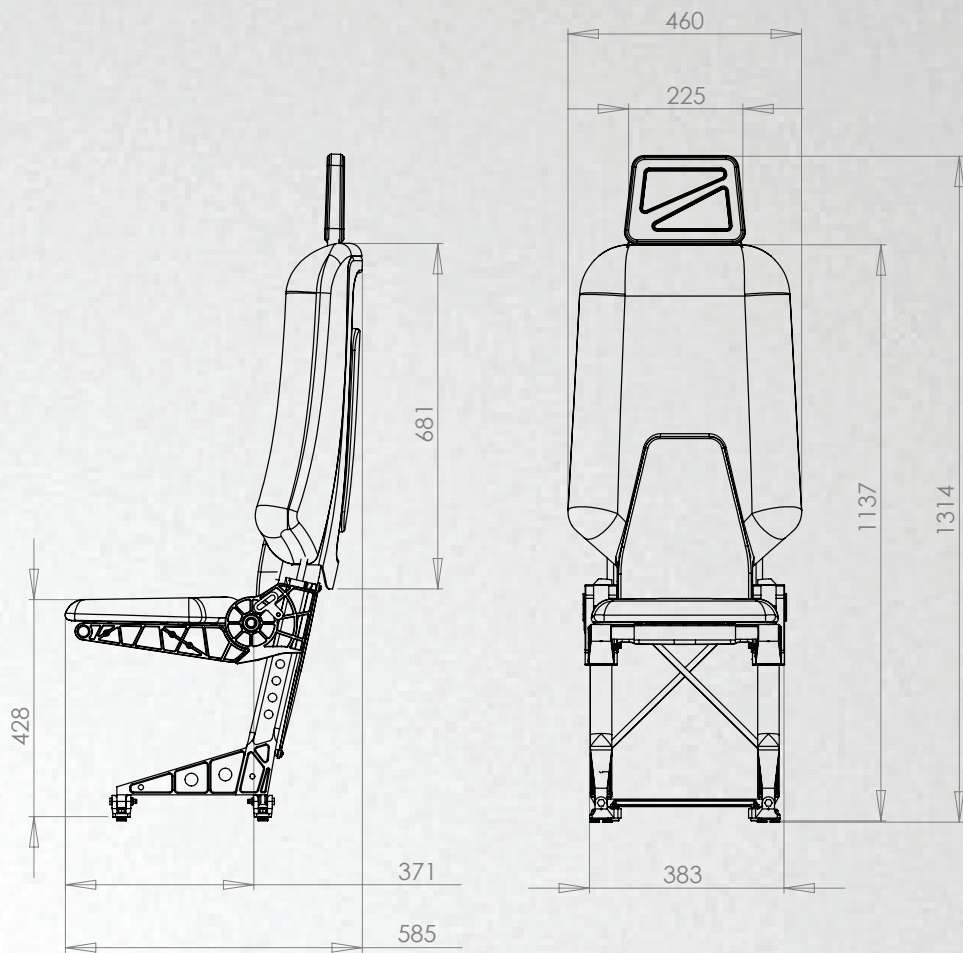


Seduta swiveling

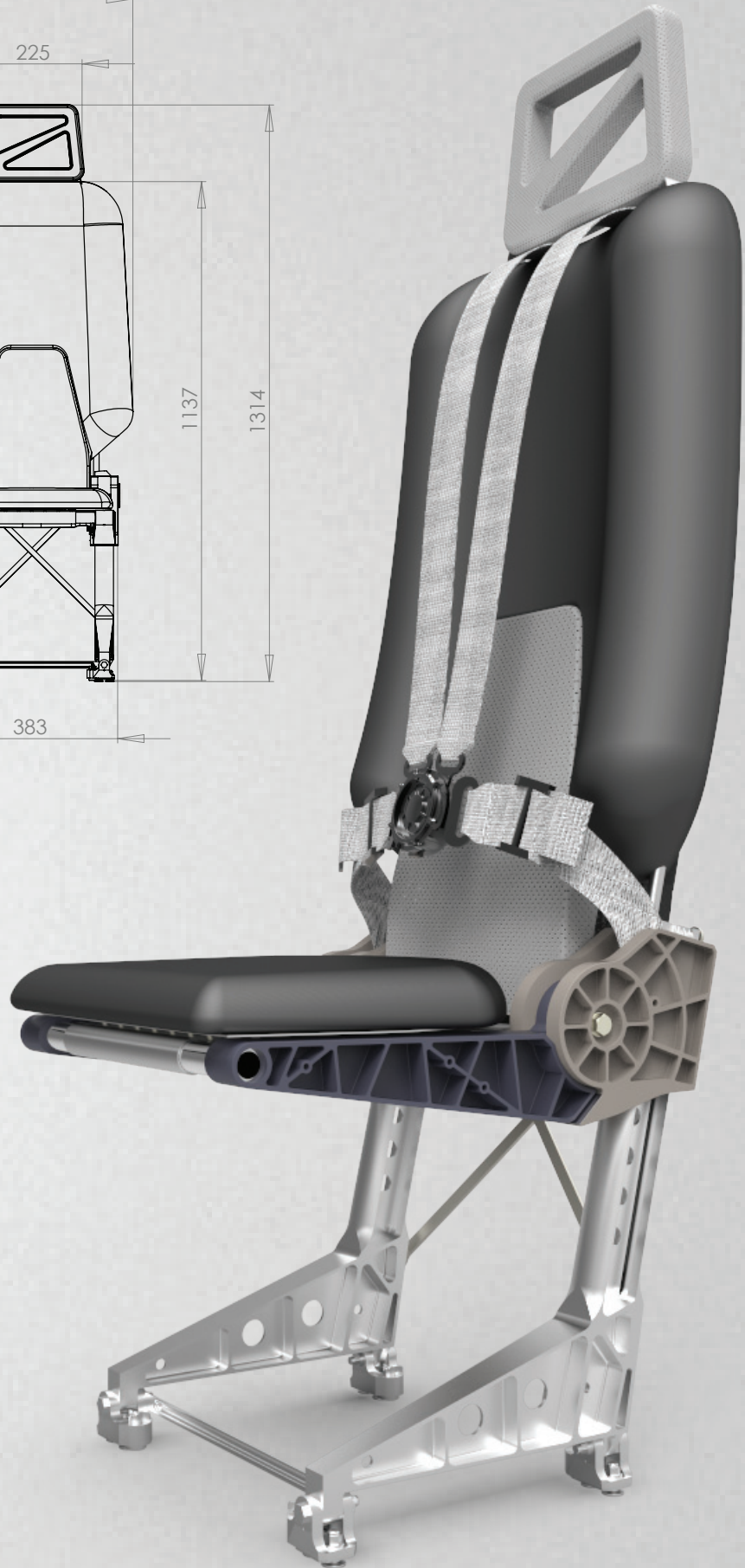
La seduta presenta due features molto importanti, una di cui abbiamo già parlato, ossia la capacità di foldarsi, e una seconda, la possibilità di far ruotare la seduta. Questo valore aggiunto va a facilitare il medico nel momento in cui servisse essere più mobile una volta sganciato dalle cinture e nel bel mezzo di un soccorso. Potersi ruotare a sinistra e a destra, senza dover necessariamente scivolare sulla seduta, aiuta il raggiungimento di posizioni, fino a prima, più scomode e garantisce un appoggio costante. Le operazioni principali da compiere ruotando sulla seduta sono:

- raggiungere il paziente
- girarsi verso altri punti della cabina per raggiungere elettromedicali o zaini o altri strumenti posizionati nel gavone.

Strutturalmente la seduta si appoggia su una coppia di lamierati in alluminio aeronautico assiemati da un giunto rotante chiamato volgarmente Lazy Susan, che ricorda un cuscinetto a sfera sovradimensionato e capace di resistere a diversi chilogrammi di carico. Ovviamente la rotazione non può essere libera ma va guidata con degli step, soprattutto perchè è importante che l'utilizzatore riconosca la posizione 0, cioè la seduta perfettamente allineata alla struttura del sedile, per potersi allacciare le cinture e prepararsi per ogni emergenza. Gli step sono dei passaggi obbligati in cui si sente un piccolo blocco che mantiene la seduta in posizione. Sono in tutto 5, una posizione neutra, una posizione intermedia a sinistra e a destra e un punto estremo di rotazione a sinistra e a destra; è presente inoltre un blocco meccanico che limita la rotazione.



Gli step (o incastrì) si vengono a creare grazie all'accoppiamento di un pressore a molla, un piccolo cilindro di alluminio in cui è montata una sfera di 6,5mm di diametro tenuta in spinta da una molla di acciaio, posizionati sulla piastra inferiore e una serie di 3 fori sulla piastra superiore che combacia perfettamente con i pressori e genera l'incastrò. Basta una forza rotazionale di 35N per contrastare la molla e per permettere alla seduta di ruotare.





400mm

-71%

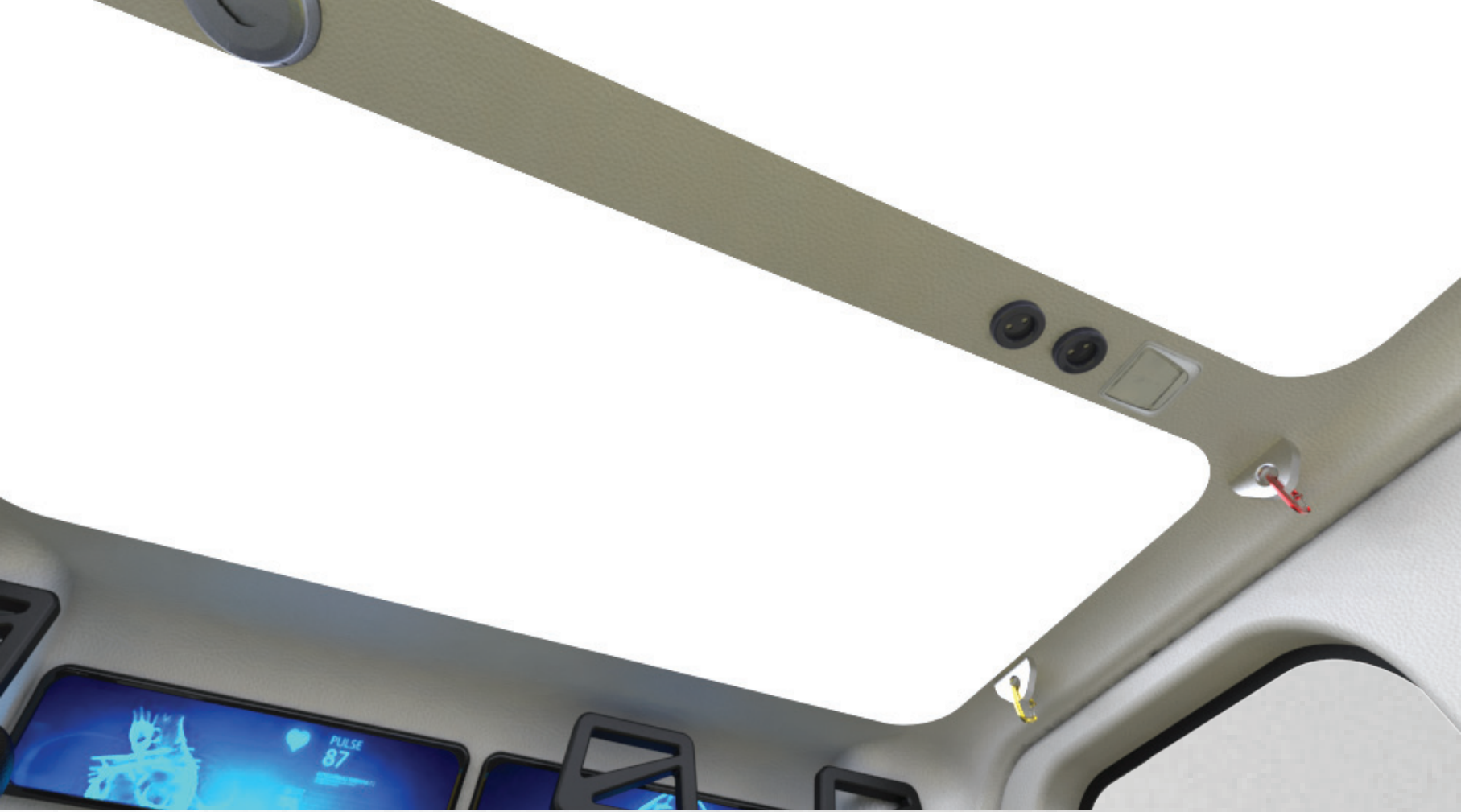
285mm





76





77



La ricerca del materiale più idoneo per ogni componente si è rivelato essere un processo lungo e articolato. Partendo dalla definizione dei requisiti principali di ogni parte strutturale si è passati alla fase di selezione del materiale sfruttando i vincoli di resistenza agli sforzi e alle condizioni ambiente imposti ad ogni pezzo analizzato. I calcoli effettuati per la definizione dei vincoli hanno permesso di entrare nel vivo della fase di screening, identificare un numero più ristretto di materiali e successivamente stilare una graduatoria assegnando una priorità e un punteggio ad ogni proprietà. La geometria di ogni componente è stata assegnata dopo aver elaborato i calcoli necessari al dimensionamento. Da ultimo si è condotta una ricerca sui possibili rivestimenti superficiali per massimizzare determinate proprietà o per raggiungere determinati obiettivi e requisiti come la resistenza a corrosione o la resistenza alla fiamma. Concludendo la fase di ricerca ci siamo documentati sui possibili campi d'impiego del materiale scelto e dello stato dell'arte nel quale è attualmente coinvolto: Una tecnologia di produzione e un trattamento superficiale adeguato, il tutto giustificato per soddisfare gli obiettivi definiti in principio.

La strategia di selezione dei materiali segue dei passaggi logici che portano a generare una graduatoria e una conseguente classifica, definita da dei punteggi che vengono assegnati alle diverse proprietà intrinseche dei materiali a seconda delle risposdenze con gli obiettivi prefissati per il componente. Per ordinare ulteriormente i materiali che superano la prima classificazione, si utilizzano gli *indici dei materiali*, dei criteri di selezione che quantificano il livello di soddisfacimento di una determinata qualità. Alla fine di questo dettagliato processo si giunge ad un solo e unico risultato. Risulta però utile riportare il risultato trovato, con una serie di documentazioni relative a prodotti già presenti sul mercato con simili caratteristiche. In questo specifico caso, nell'ambito della progettazione aeronautica e all'interno di una azienda leader del settore, con un know-how così radicato e inconfutabile, è opportuno paragonare i risultati ottenuti con le scelte progettuali stabilite da AgustaWestland e dai propri fornitori in altre occasioni.

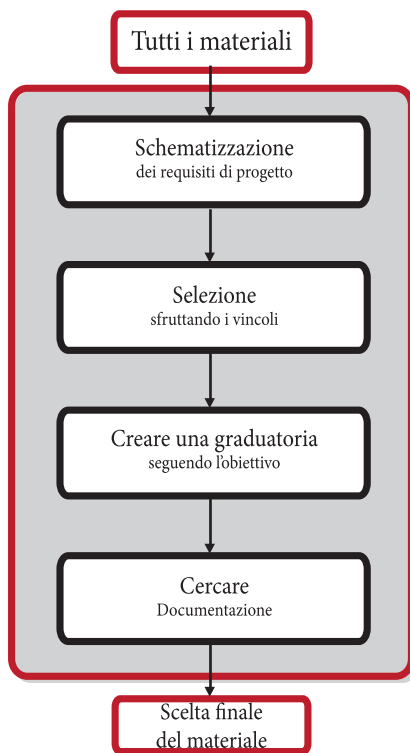


Fig 4.2 Strategia di selezione dei materiali

Componenti ingegnerizzate

- Il braccio della seduta - Il giunto della seduta - Lo schienale

La loro analisi prevede essenzialmente tre diversi percorsi e tre risultati che saranno presentati nelle pagine a seguire. Per agevolare lo studio, sono stati ridotti a dei modelli ingegneristici di analisi statica basilari con cui sono stati eseguiti screening e dimensionamenti. Grazie all'utilizzo di software tridimensionali dotati di funzioni di simulazione statica e dinamica abbiamo ulteriormente affinato la ricerca e abbiamo dimostrato che il materiale, i dimensionamenti e le scelte effettuate, sono tutte altamente plausibili.

Il braccio della seduta

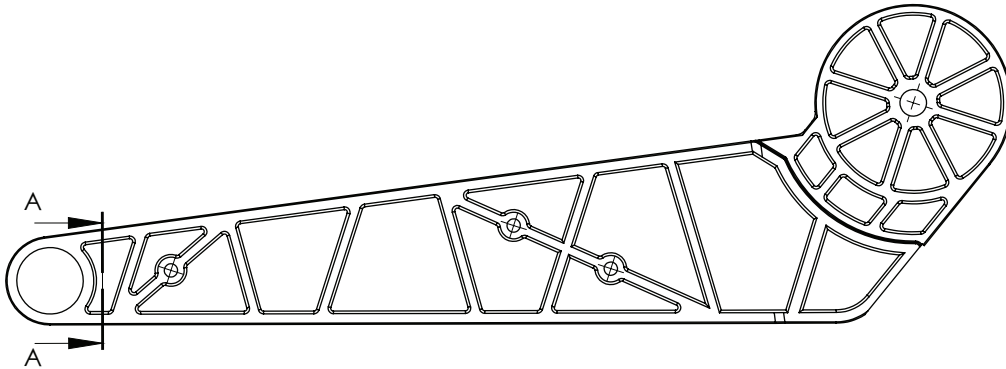


Fig.4 .3 Il braccio

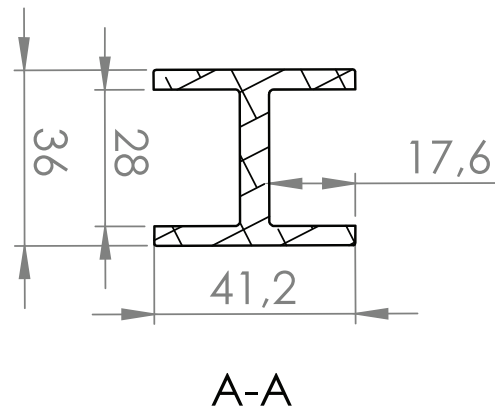
Il braccio anteriore che permette alla seduta di *foldarsi* è una struttura metallica, imperniata in un giunto. La seduta di un elicottero deve poter resistere a un forte impatto che arriva a generare una forza devastante, quantificata in 20g dati anche i fattori di sicurezza, e considerando come riferimento un peso di 80Kg per l'occupante, circa 16000 Newton. Per effettuare i calcoli useremo 9000N ossia il 56% del totale perchè la forza complessiva deve essere ripartita tra i due bracci che formano la seduta. In Fig. 2 è rappresentata la proiezione ortogonale del braccio con la sezione su cui è stata calcolata la sezione resistente.

Obiettivo dello screening è creare una struttura resistente ed elastica, minimizzarne il peso e renderla resistente alla corrosione di acqua e altri fluidi come saponi o addirittura sangue.

Vincoli:

- Materiale resistente a corrosione
- Sopportare una sollecitazione a flessione di 9000N e una deflessione massima di 25mm
- Il peso deve stare entro i 1,5Kg
- Il braccio è lungo 331mm
- Il materiale deve rispondere alle norme aeronautiche.
- Le dimensioni corrispondenti alle sezione resistente minima da considerare sono le seguenti(Fig.3):

Fig 4.4 La sezione



Semplificazione della struttura e forze in gioco

Requisito da ottimizzare:

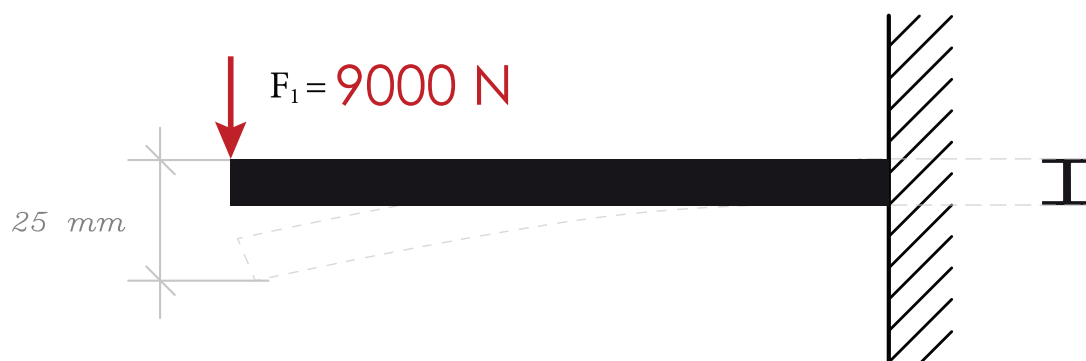
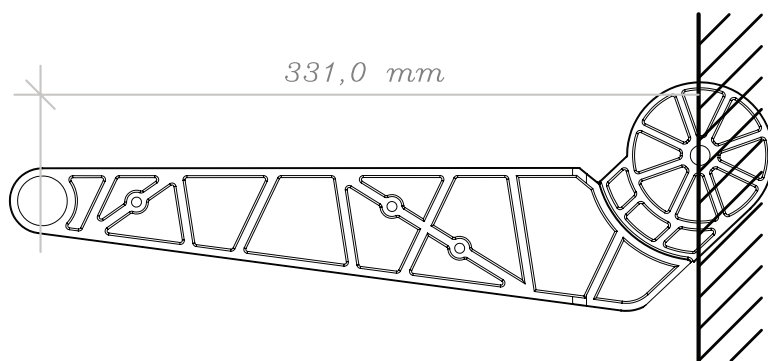
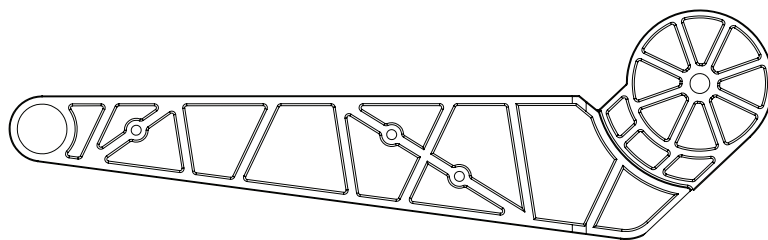
il peso del braccio, dettato principalmente dallo spessore della sezione, quindi:

- Rigidezza per $F = 9000\text{N}$ e $\delta_{\text{max}} = 25\text{mm}$

Il sistema meccanico in esame può essere facilmente semplificato fino a renderlo una trave incastrata. In questo modo, sapendo la forma della sezione resistente e conoscendo altre misure sensibili come la forza applicata e la lunghezza della leva, è possibile calcolare Momento di Inerzia e Modulo di Elasticità minimo necessario affinché la struttura possa resistere alla sollecitazione.



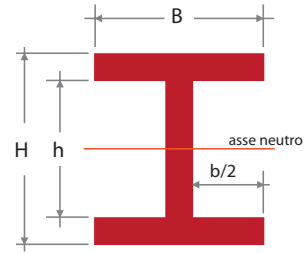
Fig.4.5 Semplificazione della struttura



Il momento di inerzia di una trave a doppia T si calcola con la seguente formula:

$$I = \frac{BH^3 - bh^3}{12} \quad \text{con B, H, b, h indicate in Fig 4.5}$$

Fig 4.6



$$I = 95793 \text{ mm}^4$$

Ne deriva che per calcolare il Modulo Elastico minimo si debba usare la formula:

$$\delta = FL^3 / 3EI \leq 25 \text{ mm}$$

$$E \geq FL^3 / 3I\delta$$

Quindi:

$$E \geq 46 \text{ GPa}$$

Dove:

$$F = 9000 \text{ N}$$

$$L = 331 \text{ mm}$$

$$\delta = 25 \text{ mm}$$

In conclusione, per soddisfare i limiti di resistenza elastica rinvenuti nell' esame della sezione centrale del braccio foldabile, occorre un materiale che oltre a soddisfare i vincoli precedentemente posti, abbia un Modulo Elastico superiore a 46GPa.

Il giunto della seduta

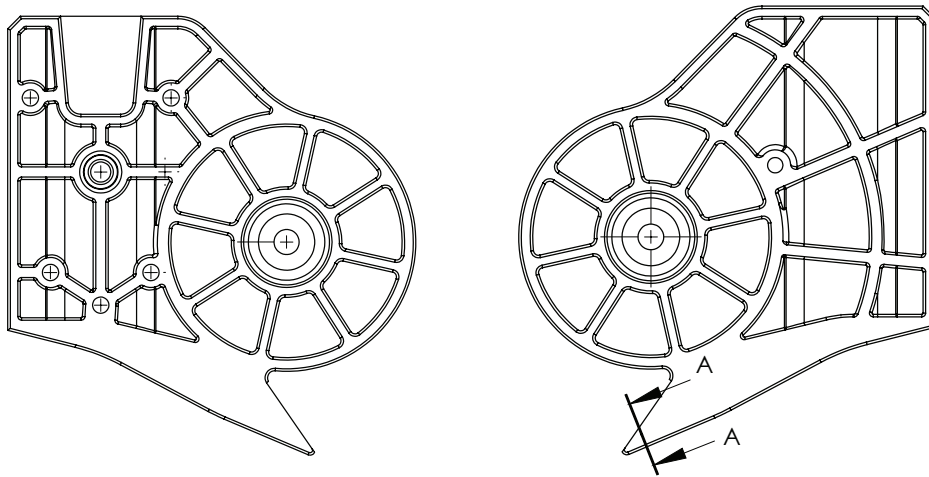


Fig 4.7 Il giunto

Il giunto della seduta è una struttura metallica, sede del braccio foldabile. Così come il braccio anteriore, deve poter resistere a un forte impatto, quindi per effettuare le considerazioni strutturali del caso, usiamo i 20g presi in esame in precedenza, circa 16000 Newton. Anche in questo caso per effettuare i calcoli useremo 9000N ossia il 56% del totale perchè la forza complessiva deve essere ripartita tra i due bracci che formano la seduta.

Obiettivo dello screening è creare una struttura resistente ed elastica, minimizzarne il peso e renderla resistente alla corrosione.

Vincoli:

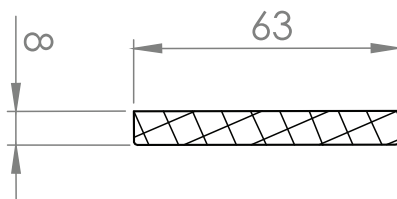
- Materiale resistente a corrosione
- Sopportare una sollecitazione a flessione di 9000N e una deflessione massima di 25mm
- Il peso deve stare entro i 1,5Kg

Il giunto presenta più di una sezione resistente e quindi per soddisfare la condizione di calcolo necessaria, occorre considerare una combinazione di forze. Il giunto è stato modellato per rispondere alla necessità di creare un perno per la struttura foldabile e per fornire un punto d'appoggio per il braccio che possa reggere la seduta in ogni condizione. Questa particolare richiesta ha portato a definire delle forme abbastanza complesse che risultano difficili da ricondurre a una forma semplice ed analizzabile. Per agevolare i calcoli abbiamo deciso di analizzare una situazione limite, in modo tale che una volta soddisfatte le richieste di questa particolare combinazione di forze, si possano considerare

soddisfatte anche altre situazioni più complesse.

Analizzeremo la situazione di peso concentrato sul supporto per il braccio foldabile, la parte più critica della struttura. Risulta chiaro che l'esame svolto in questi termini non può che essere superficiale e con forti limitazioni, è per questo infatti che dopo che verranno decisi materiali e dimensioni, verranno effettuati delle simulazioni statiche ad elementi finiti con l'ausilio del computer.

La sezione è la seguente (Fig.4.8):



A-A

Fig 4.8

Semplificazione della struttura e forze in gioco

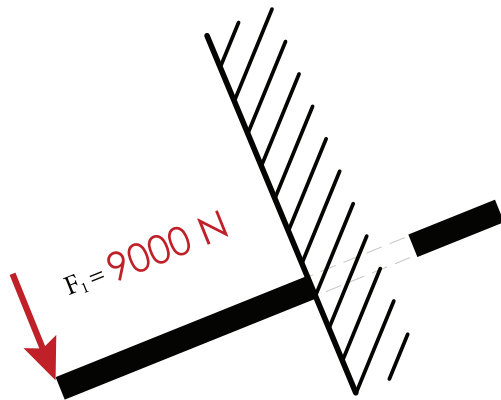
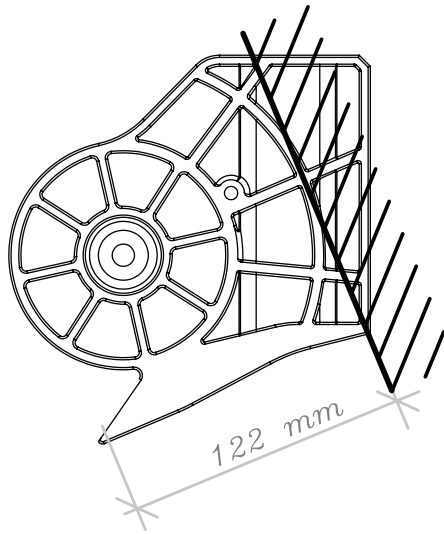
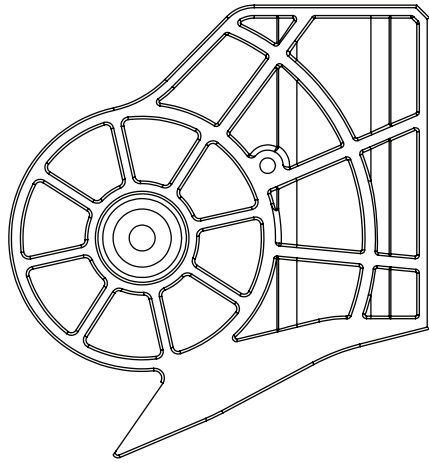
Requisito da ottimizzare:

sempre il peso del giunto, dettato principalmente dallo spessore della sezione, quindi:

- Rigidezza per $F = 9000\text{N}$ e $\delta_{\max} = 25\text{mm}$

Anche in questo particolare caso è possibile ridurre la geometria del pezzo in una semplice trave incastrata, con sezione rettangolare. Per semplicità di calcolo è stata considerata sezione resistente, la porzione evidenziata come sezione A-A nella pagina precedente in Fig 4.7.

Fig.4.9 Semplificazione della struttura



Sapendo che il momento di inerzia di una trave a sezione rettangolare si calcola

con la seguente formula: $I = \frac{BH^3}{12}$ con B, H, b, h indicate in Fig.4.10

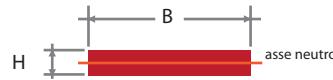


Fig 4.10 La sezione

$$I = 2688 \text{ mm}^4$$

Ne deriva che per calcolare il Modulo Elastico minimo si debba usare la formula:

$$\delta = FL^3 / 3EI \leq 25 \text{ mm}$$

$$E \geq FL^3 / 3I\delta$$

Quindi:

$$E \geq 81 \text{ GPa}$$

Dove:

$$F = 9000 \text{ N}$$

$$L = 122 \text{ mm}$$

$$\delta = 25 \text{ mm}$$

86

In conclusione, per soddisfare i limiti di resistenza elastica rinvenuti nell' esame della sezione del giunto, occorre un materiale che oltre a soddisfare i vincoli precedentemente posti, abbia un Modulo Elastico superiore a 81GPa.

Screening dei materiali:

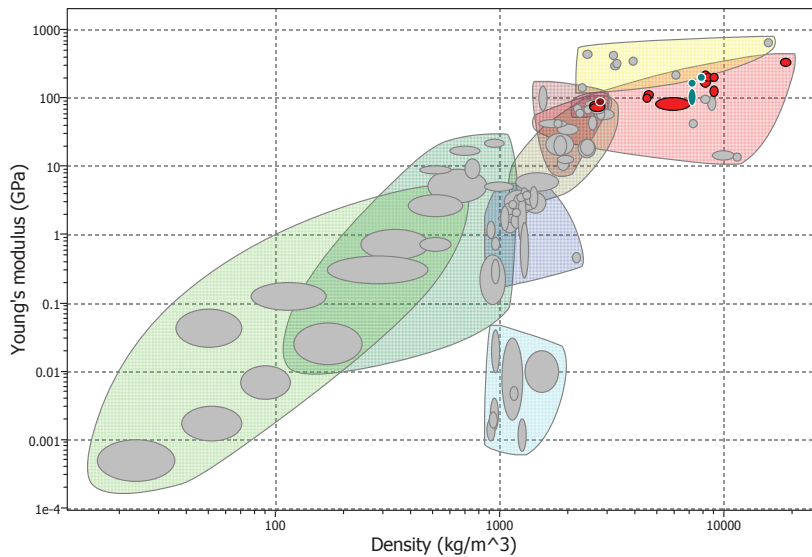
I due componenti appena analizzati, fanno parte di un unica struttura che genera l'appoggio principale della seduta. Sembra coerente provare a pensare ad un unico materiale per entrambi i pezzi in modo da creare continuità materica e per semplificare l'approvvigionamento delle materie prime. Considerando che sono risultati due Moduli Elastici differenti per i due pezzi, bisogna fare delle considerazioni:

- Il braccio della seduta, con 46GPa richiesti, potrebbe essere stato sovradimensionato e quindi necessita di alcune modifiche alla sezione. Così facendo il modulo elastico necessario aumenterebbe e si avvicinerebbe ai valori necessari per il giunto.
- Il Modulo del giunto risulta più coerente ma tuttavia, data l'analisi approssimativa effettuata, potrebbe essere addirittura troppo elevato.

Ne deriva che per motivi di arrotondamento, è utile considerare un valore medio di E, per definire i potenziali materiali per entrambi i pezzi.

Per lo screening dei materiali utilizzeremo come valore di riferimento 70Gpa. Una volta definito il materiale migliore, verranno effettuati dei test a elementi finiti per entrambi i pezzi per assicurare la tenuta.

Nel grafico sottostante (Fig 4.11) possiamo notare dove sono posizionati, i materiali di riferimento per i componenti in studio. Il modulo di Young, sulle Y è incrociato con la densità, sulle X. La porzione di grafico evidenziata in rosso, rappresenta la famiglia dei metalli.



87

Fig.4.11 Mappa di Hasby - Densità su Modulo

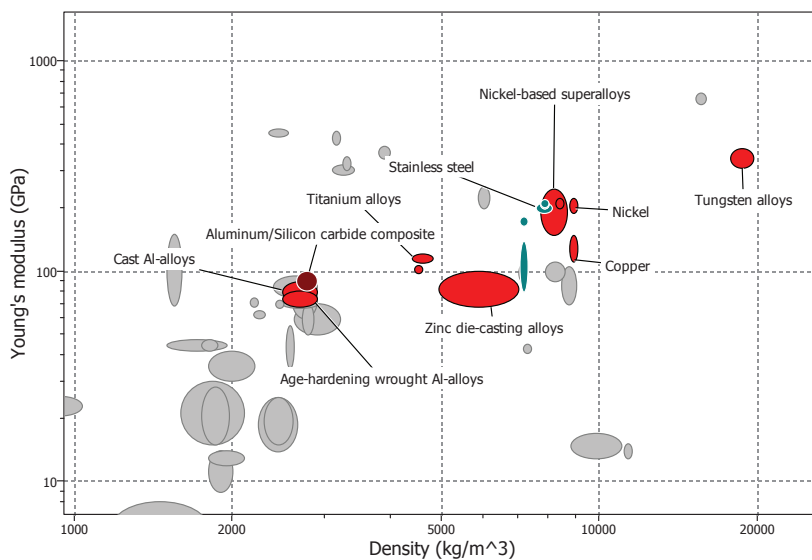


Fig.4.12 Mappa di Hasby close up

In Fig 4.12 è riportato un ingrandimento del grafico di pagina precedente, in modo da focalizzarsi sulla sezione interessante. Sono evidenziati in rosso i metalli che rispondono ai vincoli imposti in precedenza.

Tra la selezione proposta, sono stati estrapolati tre potenziali metalli che possiedono le caratteristiche necessarie:

Nickel SuperAlloy: Superalloy è un nome applicato alle leghe a base di nickel, ferro e cobalto che combinano una eccezionale resistenza a temperature elevate con una forte resistenza a corrosione e a ossidazione. Senza di loro, i motori a reazione non sarebbero fattibili.

Composizione (sintesi): Ni + 10 al 25% Cr + Ti, Al, Co, Mo, Zr, B e Fe in proporzioni variabili.

Alluminio serie 2000 e 7000: L'alta resistenza delle leghe di alluminio deriva dall' invecchiamento: una sequenza di fasi di trattamenti termici che provoca la precipitazione di intermetallici che impediscono il movimento di dislocazione e favoriscono il rafforzamento del materiale. Questo può dare loro un rapporto resistenza-peso superiore anche a quello dei più forti acciai.

Composizione (sintesi): Serie 2000: Al + 2 al 6% Cu + Fe, Mn, Zn e talvolta Zr
Serie 7000: Al + 4 a 9% Zn + 1 al 3% Mg + Si, Fe, Cu e occasionalmente Zr, Ag

88

Leghe di Titanio: Titano era un dio greco, notevole per la sua dimensione e la forza. Le leghe di titanio meritano l'associazione: le più forti di loro hanno più forza-peso di qualsiasi altro metallo strutturale, circa del 25% superiore alle migliori leghe di alluminio o acciaio. Le Leghe di titanio possono essere utilizzate con temperature fino a 500 C. Hanno insolitamente bassa conduttività termica ed elettrica, e bassi coefficienti di dilatazione.

Composizione (sintesi):

Ti + elementi di lega, per es Al, Zr, Cr, Mo, Si, Sn, Ni, Fe, V

(fonte: Ces Edupack2011)

Fig 4.13 Modulo di Young

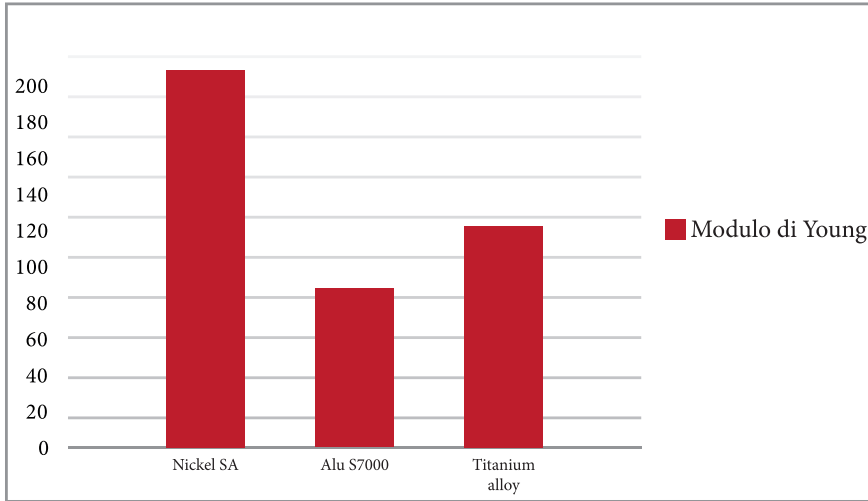


Fig 4.14 Densità

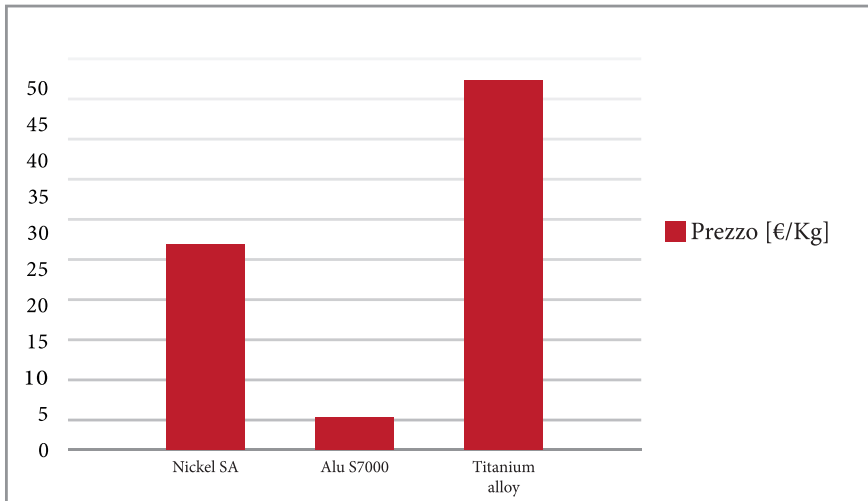
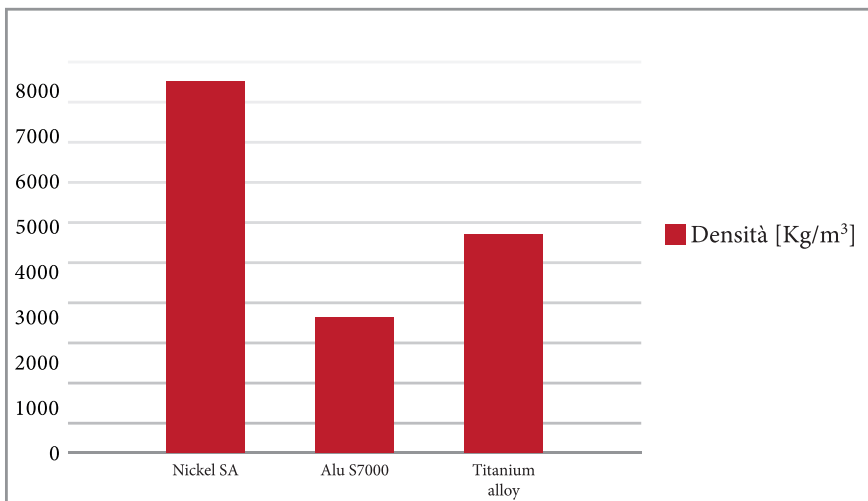


Fig 4.15 Prezzo



Ora è possibile, grazie ai dati dei materiali, calcolare i dati sensibili che definiscono il progetto, come il peso e il costo, ed è inoltre possibile ricalcolare le misure di sezione delle componenti per ridurre al minimo gli spessori. A pagina precedente è possibile visualizzare i tre grafici di riferimento (Fig 4.13, 4.14, 4.15).

Dati sensibili

	Mod. di Young	Densità	Prezzo/Kg
Nickel SuperAlloy	200GPa	8000Kg/m ³	23€/Kg
Alluminio serie 2000 e 7000	80GPa	2750Kg/m ³	1.80€/kg
Titanium alloys	115Gpa	4600Kg/m ³	44€/Kg

90

Calcoli Inversi

Per definire i valori di peso occorre ricalcolare, con il procedimento inverso, la sezione resistente, e di conseguenza il volume generale di entrambi i pezzi.

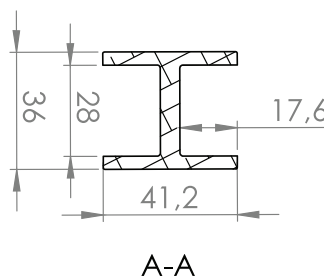


Fig 4.16 Sezione di riferimento

La sezione a doppia T prevede due differenti spessori, uno della trave verticale e uno per le due travi orizzontali. Attualmente lo spessore della trave verticale è 6mm, imponendo come nuovo spessore 4mm è possibile calcolare uno spessore delle due travi orizzontali che possa garantire un Momento di Inerzia sufficiente, Per definire invece i nuovi valori di Momento di Inerzia minimo, occorre invertire la formula con cui è stato calcolato il Modulo di Elasticità.

$$I = \frac{FL^3}{3\delta E}$$

Imponendo come E i Moduli di Elasticità dei materiali trovati.

Ne risulta che:

Per le Superleghe di Nickel	$I = 21758 \text{ mm}^4$
Per l'Alluminio serie 7000 e 2000	$I = 54397 \text{ mm}^4$
Per le Leghe di Titanio	$I = 37841 \text{ mm}^4$

Ora, imponendo 4mm come nuovo spessore per la trave verticale possiamo usare la seguente formula invertita del Momento di Inerzia e trovare un nuovo spessore per le travi orizzontali.

$$h = \sqrt[3]{\frac{BH^3 - 12I}{b}}$$

Per le Superleghe di Nickel	$h = 35.6 \text{ mm}$	Spessore_{new} < 1mm
Per l'Alluminio serie 7000 e 2000	$h = 32.0 \text{ mm}$	Spessore_{new} = 2mm
Per le Leghe di Titanio	$h = 34.0 \text{ mm}$	Spessore_{new} = 1mm

Adesso abbiamo tutti i dati per valutare il peso finale del componente e il suo costo materico.

Per le Superleghe di Nickel	$V = 0.00028 \text{ m}^4$	Peso = 2.24 Kg
Per l'Alluminio serie 7000 e 2000	$V = 0.00027 \text{ m}^4$	Peso = 0,75 Kg
Per le Leghe di Titanio	$V = 0.00026 \text{ m}^4$	Peso = 1.1 Kg

Costo(al pezzo) = 51,52 €

Costo(al pezzo) = 1,35 €

Costo(al pezzo) = 48,40 €

Conclusioni e scelta finale

Risulta possibile adesso dare dei punteggi alle qualità dei materiali per definirne un effettivo “vincitore”. Nella tabella seguente i punteggi identificano le leghe di alluminio della serie 2000 e 7000 come materiale più adatto

	Mod. di Young	Densità	Prezzo/Kg	Totale
Nickel SuperAlloy	10	3	3	16
Alluminio serie 2000 e 7000	6	10	10	26
Titanium alloys	8	1	5	14

In Fig 4.17 è facile notare, grazie all’utilizzo dei grafici “a radar” che l’alluminio è il materiale più rispondente alle richieste.

92

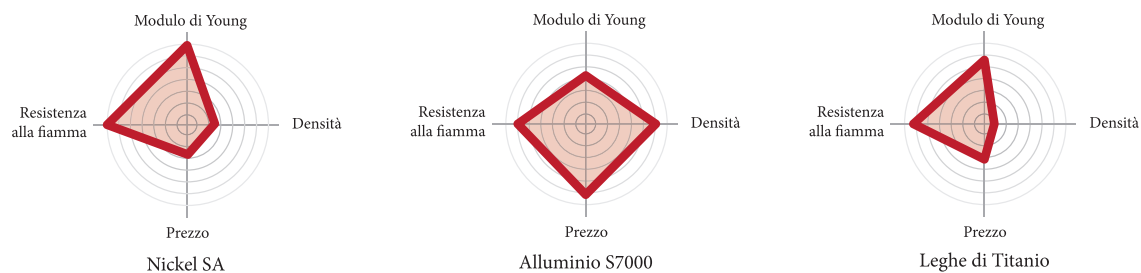


Fig 4.17 Radar per valutazione materiali

Alluminio Serie 2000 e 7000 - Documentazione

Gruppo 2000 (leghe Al-rame) dette Avional: possono essere sottoposte al trattamento termico di indurimento per precipitazione in grado di migliorare le proprietà meccaniche di resistenza. In precedenza venivano chiamate *duralluminio*. Sono tra le più comuni leghe per uso aerospaziale, soprattutto ove è richiesta buona o ottima resistenza a fatica. Il suo primo uso fu per la costruzione del telaio dei dirigibili rigidi. La sua composizione e la sua successiva tempra furono considerati segreti di guerra. Grazie alla sua resistenza, fu presto impiegato anche dall'industria aeronautica per la costruzione delle scocche degli aerei, che furono introdotte in quel periodo (anni '30).

Gruppo 7000 (leghe Al-zinco e magnesio): sono le leghe *molto utilizzate in campo aerospaziale*, nelle applicazioni strutturali di forza e sono in grado di raggiungere le migliori caratteristiche meccaniche tra tutte le leghe di alluminio. Appartengono alla serie 7000 (note un tempo col nome generico di "ERGAL") le leghe di alluminio il cui principale alligante è lo zinco.

La serie comprende due tipologie ben definite di leghe:

- Leghe con caratteristiche meccaniche medio-alte, la cui composizione chimica comprende, oltre allo zinco, altri elementi, tra cui il rame, ma in tenore basso e mai superiore all'1%; Sono utilizzate tipicamente nella carpenteria metallica, nella costruzione di telai di biciclette e motociclette, nelle strutture saldate leggere in generale.
- Leghe con caratteristiche meccaniche molto elevate, la cui composizione chimica comprende, oltre allo zinco, altri elementi, tra cui il rame, in tenore superiore all'1%; sono materiali di derivazione aerospaziale, che sviluppano le massime caratteristiche meccaniche ottenibili con le leghe di alluminio. Sono utilizzate tipicamente in tutte quelle applicazioni in cui il rapporto resistenza/peso risulta di particolare importanza.

I semilavorati di alluminio serie 7000 possono essere prodotti secondo specifiche aerospaziali che ne certificano ogni passaggio della catena e assicurano che non siano presenti cricche o problematiche interne che potrebbero danneggiare il laovrato finale. In questo modo, nonostante la materia prima venga a costare di più rispetto al semilavorato che segue le norme UNI-EN, si certifica che il livello di qualità sia estremamente superiore. (*fonte: <http://www.aviometal.com/serie7000.php>*)

Nella serie 7000, la lega denominata 7075 - T73.51 sembra essere la più qualificata per rispondere alle nostre esigenze. A pagina seguente le specifiche della lega (Fig 4.18):

Component	Wt. %	Component	Wt. %	Component	Wt. %
Al	87.1 - 91.4	Mg	2.1 - 2.9	Si	Max 0.4
Cr	0.18 - 0.28	Mn	Max 0.3	Ti	Max 0.2
Cu	1.2 - 2	Other, each	Max 0.05	Zn	5.1 - 6.1
Fe	Max 0.5	Other, total	Max 0.15		

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.81 g/cc	0.102 lb/in ³	AA; Typical

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	150	150	AA; Typical; 500 g load; 10 mm ball
Hardness, Knoop	191	191	Converted from Brinell Hardness Value
Hardness, Vickers	175	175	Converted from Brinell Hardness Value
Ultimate Tensile Strength	572 MPa	83000 psi	AA; Typical
Tensile Yield Strength	503 MPa	73000 psi	AA; Typical
Elongation at Break	11 %	11 %	AA; Typical; 1/16 in. (1.6 mm) Thickness
Elongation at Break	11 %	11 %	AA; Typical; 1/2 in. (12.7 mm) Diameter
Modulus of Elasticity	71.7 GPa	10400 ksi	AA; Typical; Average of tension and compression. Compression modulus is about 2% greater than tensile modulus.
Poisson's Ratio	0.33	0.33	
Fatigue Strength	159 MPa	23000 psi	AA; 500,000,000 cycles completely reversed stress; RR Moore machine/specimen
Machinability	70 %	70 %	0-100 Scale of Aluminum Alloys
Shear Modulus	26.9 GPa	3900 ksi	
Shear Strength	331 MPa	48000 psi	AA; Typical

Fig 4.18 Tabelle delle proprietà della lega. Fonte: C.R.P. Tecnologia s.r.l. Datasheets

Braccio: Carichi statici - Verifica ad elementi finiti

Risulta quindi opportuno effettuare i test statici di carico ad elementi finiti utilizzando le specifiche di vincolo imposte sino ad ora ed utilizzando la lega appena evidenziata come materia prima.

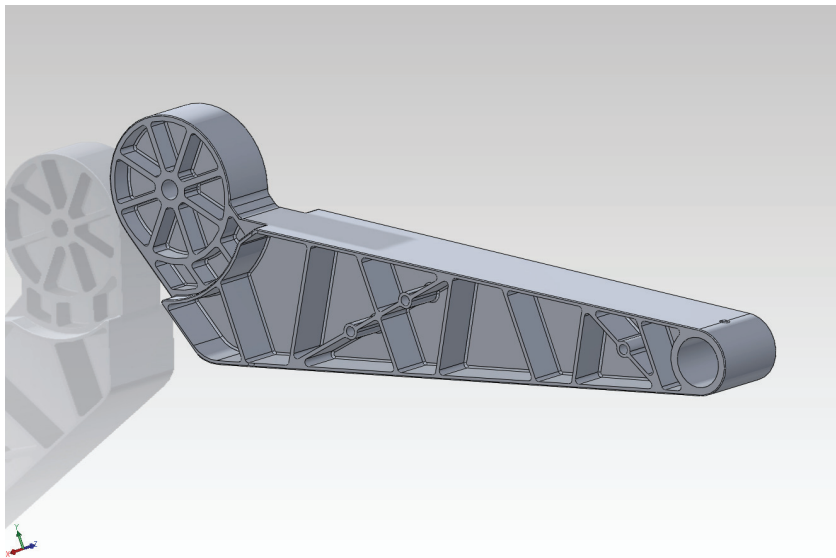


Fig 4.19 Il componente progettato

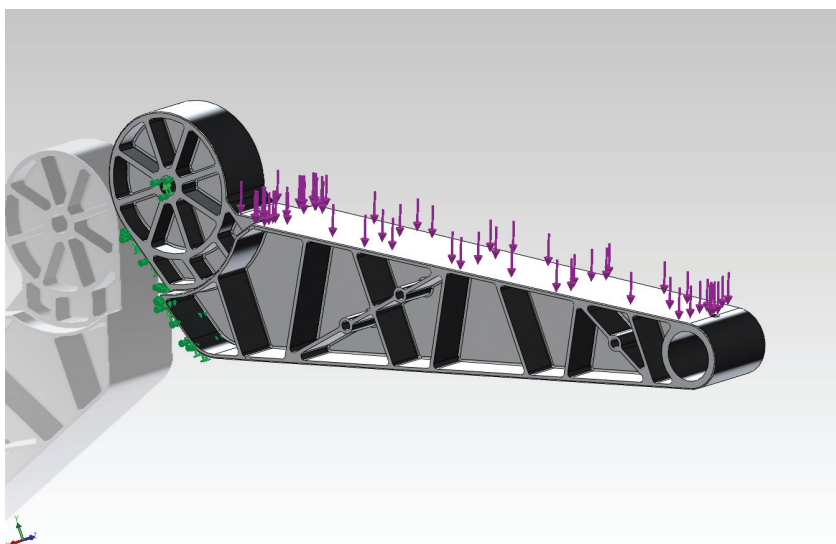


Fig 4.20 Il componente con assegnate il materiale e le forze

In Fig 4.20 è possibile vedere l'ambiente in cui è avvenuto lo studio. Si tratta di una simulazione in campo tridimensionale. Viene assegnato al componente l'esatto materiale in cui viene costruito, in questo caso la lega di alluminio 7075, successivamente vengono indicate le forze in gioco che simulano lo stress:

le frecce verdi indicano la forza resistente che fissa il modello nello spazio e che fanno le veci di incastri e giunture del modello reale. Le frecce viola indicano la forza impressa (9000N), su tutta la lunghezza del braccio.

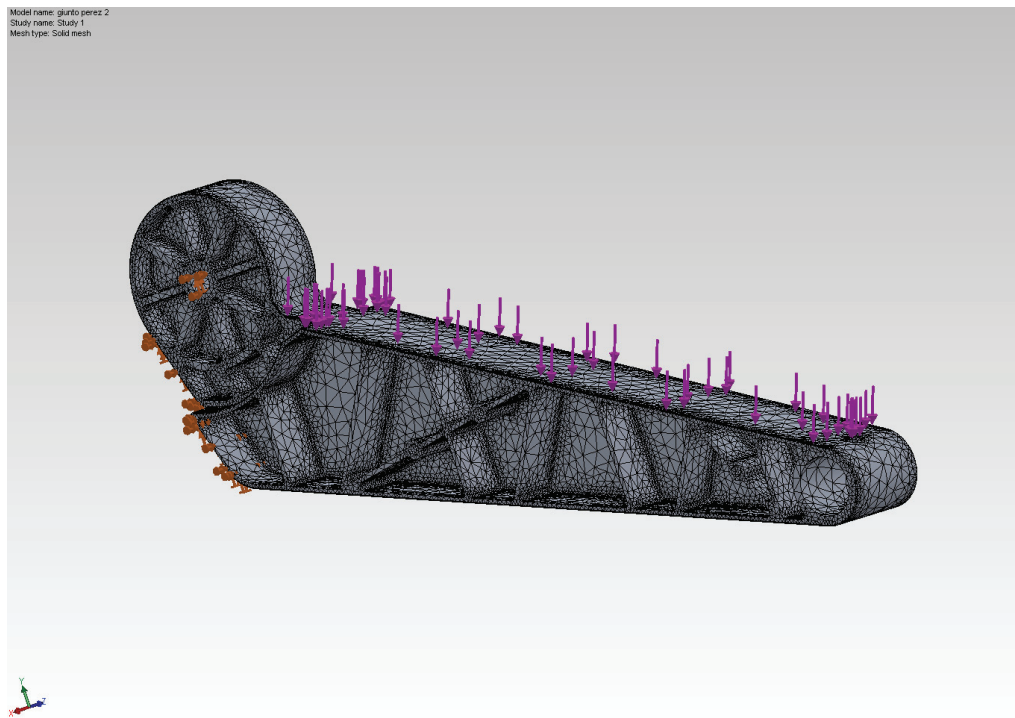
Il componente deve poi essere ridisegnato grazie all'utilizzo delle Mesh, ed avviene in modo automatico e gestito dal programma. Una mesh poligonale, anche detta maglia poligonale, è una collezione di vertici, spigoli e facce che definiscono la forma di un oggetto poliedrico nella computer grafica 3D e nella modellazione solida.

Numero di nodi della mesh: 518869

Numero di elementi della mesh: 332331

Tempo di creazione della mesh: 41 secondi

Fig 4.21 Il componente in mesh mode



Una volta impostati questi dati, può partire il processo di simulazione. Il tempo impiegato dal processo e la qualità dei dati dipendono dalle capacità di calcolo del processore.

I risultati prodotti sono 3 visualizzazioni del componente nel momento della sua massima deformazione sotto sforzo, con evidenziati di volta in volta, lo stress subito nei nodi del componente, lo sforzo a trazione e compressione dove è localizzato e lo spostamento massimo (δ_{max}). In Fig 4.22 sono evidenziati

in azzurro le zone di giunzione dei materiali che subiscono più stress, come possiamo notare tutti i giunti presentano una colorazione che li colloca a metà della scala cromatica che indica lo stress massimo raggiungibile e quindi non evidenzia alcun problema di sopportazione della struttura.

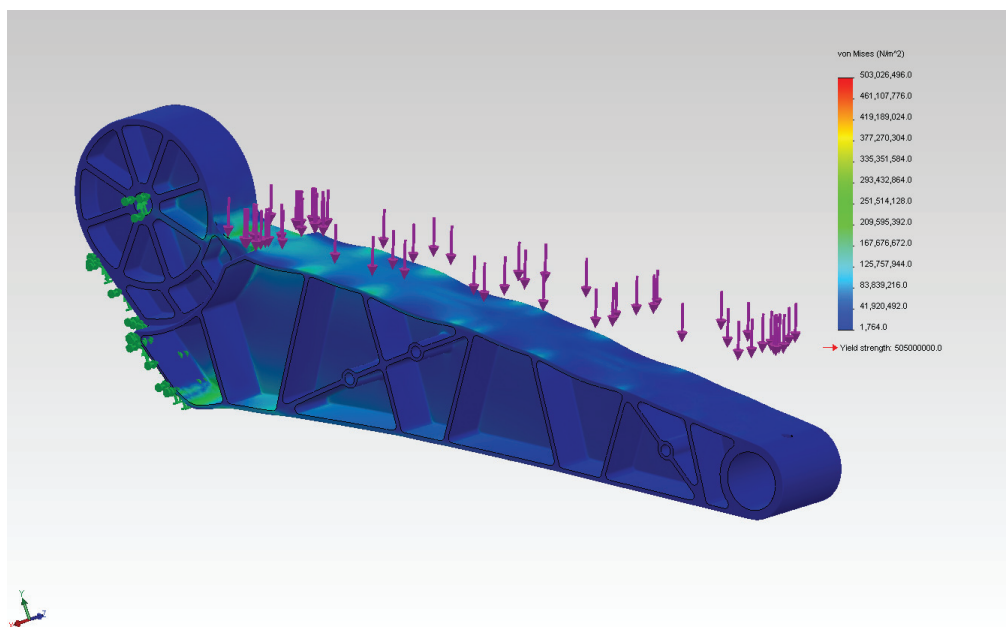


Fig 4.22 Lo Stress nei nodi del materiale

97

In Fig 4.23 invece sono evidenziati con la stessa scala cromatica, i punti della struttura che subiscono maggiormente lo sforzo di trazione e di compressione. Ancora una volta i valori non risultano distruttivi per il componente.

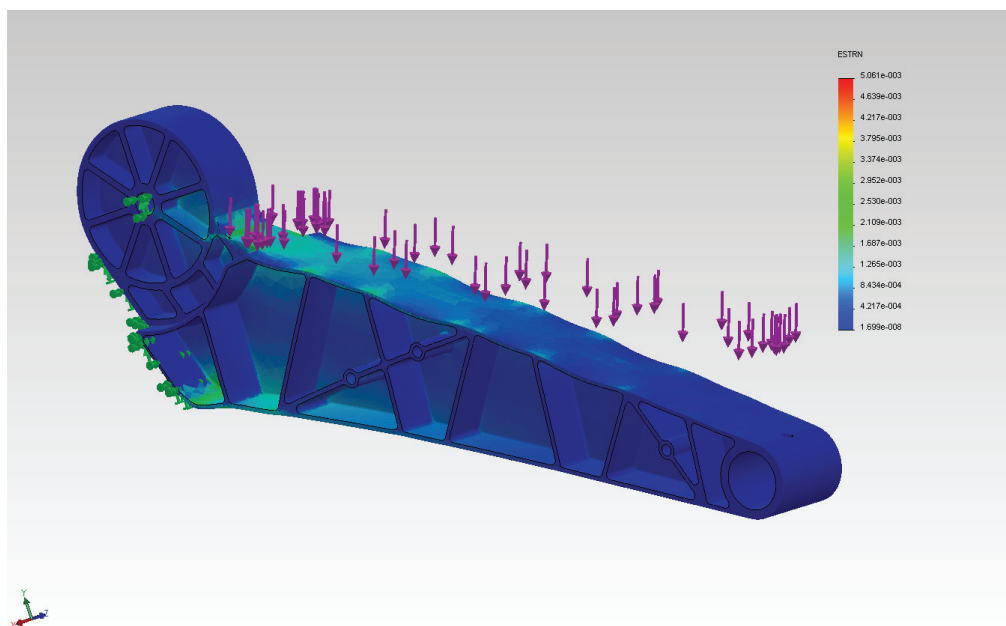
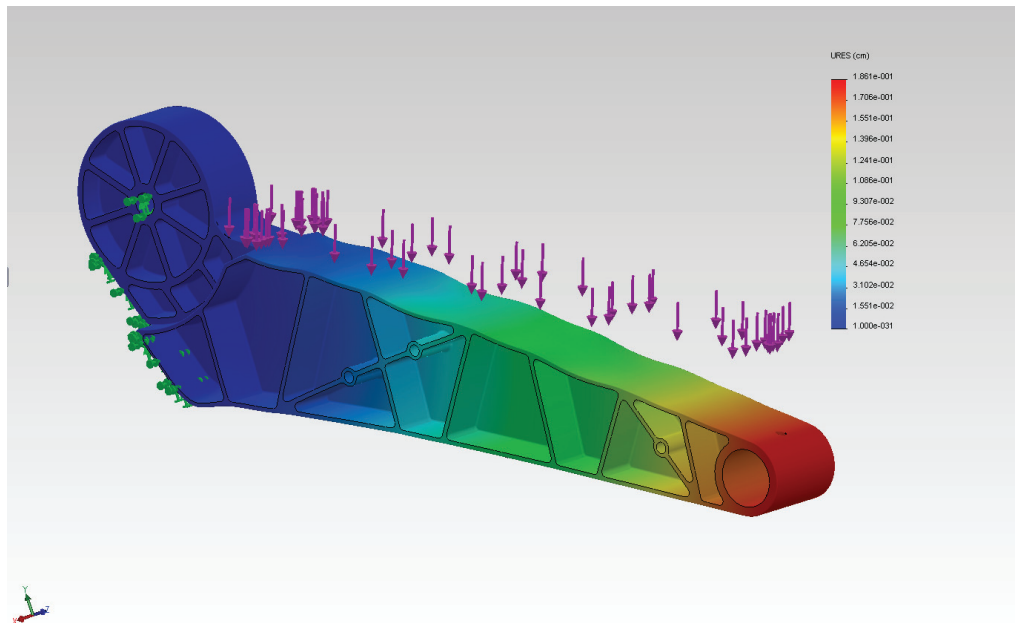


Fig 4.23 Gli sforzi a trazione e compressione della struttura

In Fig 4.24 è indicata la dislocazione della struttura. Il colore rosso non indica una dislocazione distruttiva, ma bensì i punti che più di altri subiscono uno spostamento. Per calcolare il modulo elastico avevamo impostato 25mm come dislocazione massima del pezzo, è importante notare ora che lo spostamento massimo calcolato dal computer per la struttura in esame è: 18mm, ampiamente al di sotto del valore atteso. Di conseguenza il componente risulta addirittura più resistente di quanto noi avessimo voluto renderlo. Questo perchè in una struttura complessa come questa, la resistenza non viene definita solamente dalla sezione principale del pezzo, ma anche dalle nervature e dalla geometria complessiva che, come si può facilmente notare, perfeziona il componente fino a renderlo ancora più adatto delle aspettative.

Fig 4.24 La deformazione della struttura



In conclusione

Lo studio statico sul braccio della seduta conferma le attese e giustifica ampiamente la scelta del materiale. Il risultato a cui si è raggiunti risulta molto fedele ai vincoli imposti all'inizio della ricerca del materiale, tra cui spiccano l'estrema resistenza del componente ai carichi meccanici e il peso molto contenuto (di soli 750grammi). Le conclusioni a cui siamo giunti non potevano considerarsi più positive.

Giunto: Carichi statici - Verifica ad elementi finiti

Pretendendo di scegliere la stessa lega di alluminio 7075 per la realizzazione del giunto della seduta, possiamo ripetere i calcoli e le prove dinamiche per assicurarci della fattibilità.

Alluminio serie 7075 $V = 0.00046 \text{ m}^3$ **Peso** = 1,26 Kg
Costo(al pezzo) = 2,26 €

I carichi statici e le forze di resistenza sono stati impostati con lo stesso approccio che ha guidato l'analisi del braccio. Le forze in verde "congelano" il componente nello spazio simulando i giunti e le connessioni che esistono nell'assieme complessivo del sedile. La forza peso, in viola, è stata posizionata per massimare lo sforzo impresso sulla linguetta di tenuta e sul perno centrale, dove si andrebbe a scaricare l'impatto dei 20g (Fig 4.25).

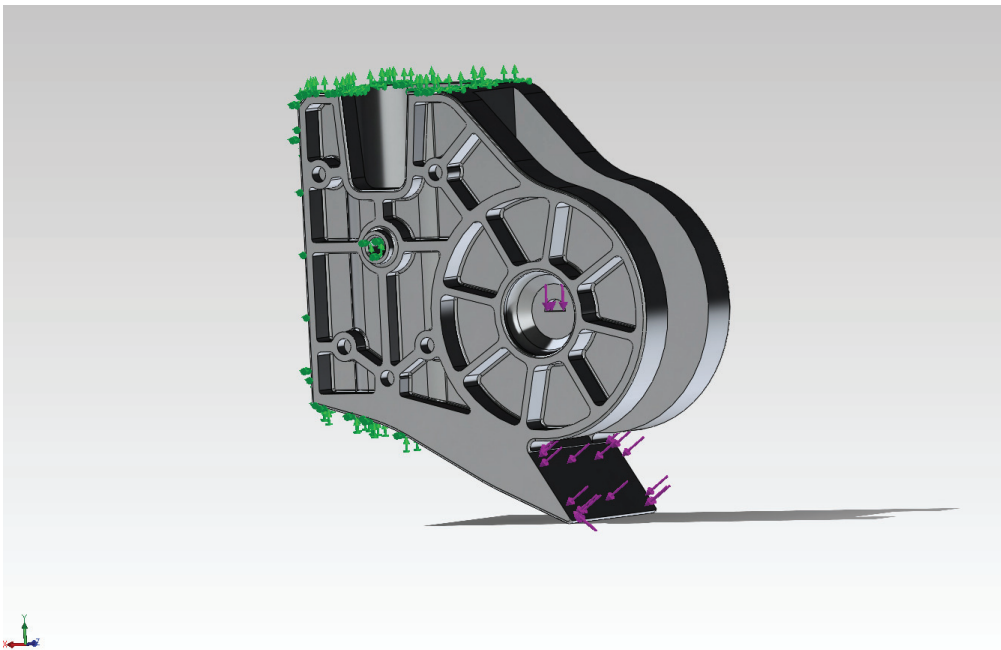


Fig 4.25 Il componente con assegnate il materiale e le forze

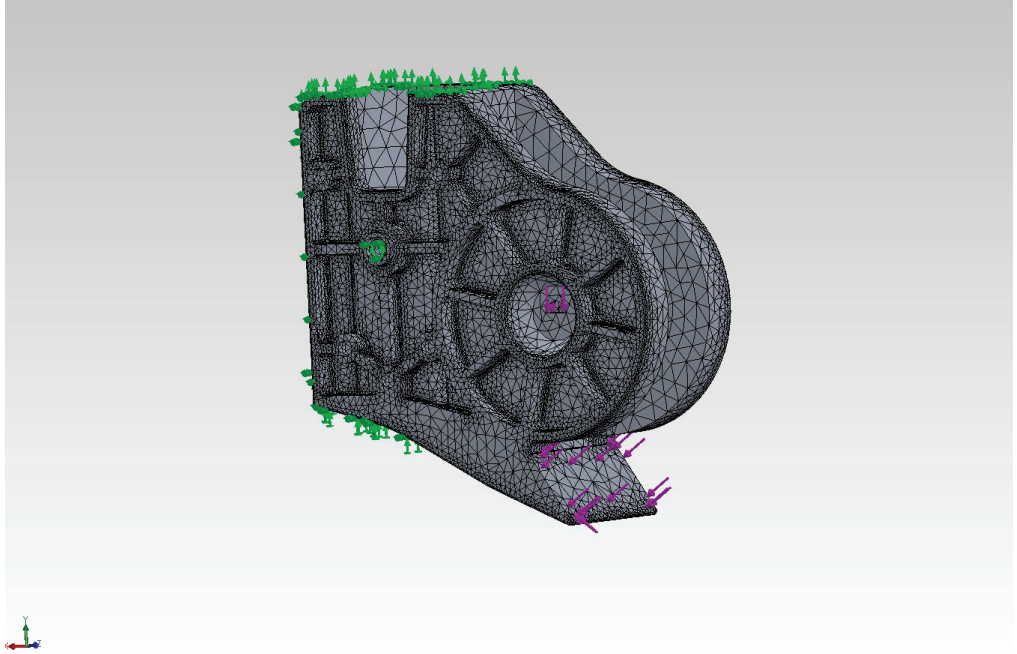
Anche in questa occasione è stata effettuata la trasformazione in Mesh (Fig.25).

Numero di nodi della mesh: 296717

Numero di elementi della mesh: 183485

Tempo di creazione della mesh: 112 secondi

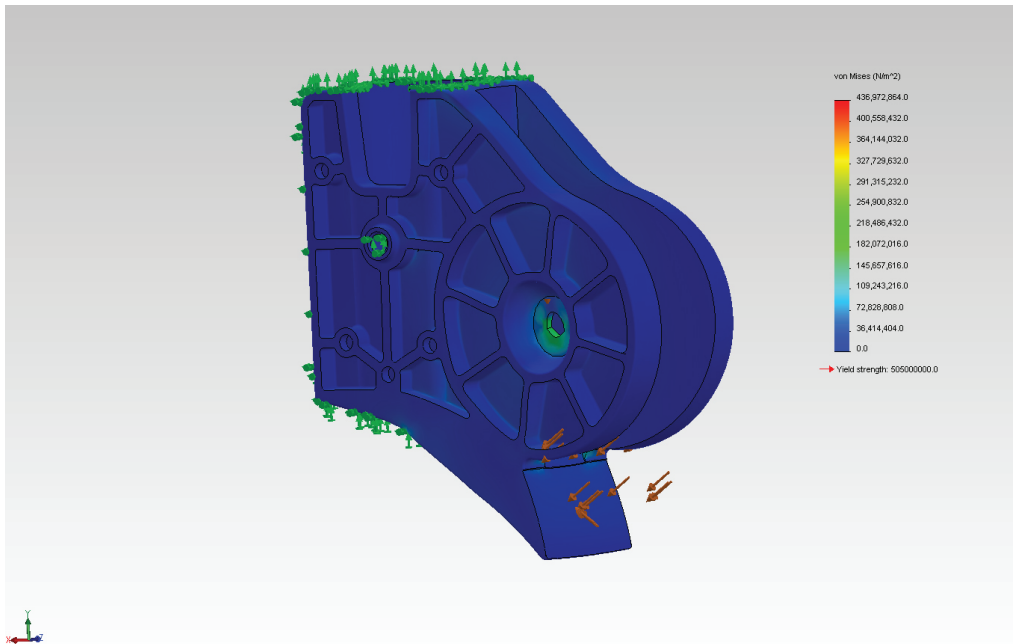
Fig 4.26 Il componente in mesh mode



100

In Fig 4.27, l'immagine relativa agli stress nei nodi del modello, è chiaro che i punti che subiscono uno stress sono molto pochi e in tutti i casi il valore non supera la metà della scala cromatica, questo perchè le nervature e la disposizione del materiale sono state gestite nel migliore dei modi per far distribuire lo sforzo su tutta la superficie del modello, senza creare giunzioni critiche.

Fig 4.27 Lo Stress nei nodi del materiale



In Fig 4.28 sono evidenziati i punti sottoposti a maggior sforzo di trazione e compressione. Lo sforzo, nei pochi punti in cui è presente, è perfettamente controllato dal design del pezzo, gestito nel migliore dei modi per assecondare questo tipo di carico e dissiparne lo stress sulla struttura.

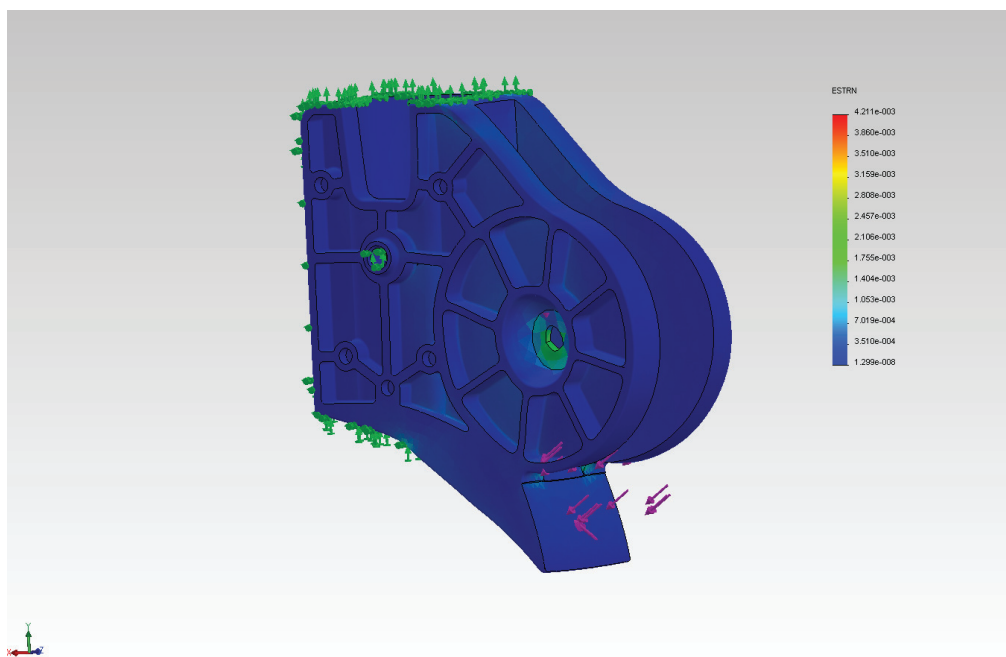


Fig 4.28 Gli sforzi a trazione e compressione della struttura

101

In Fig 4.29 è rappresentato il displacement della struttura. Le parti in rosso subiscono il maggior scostamento: 14mm. Anche in questo caso la δ_{\max} è inferiore a quanto inizialmente impostato come vincolo.

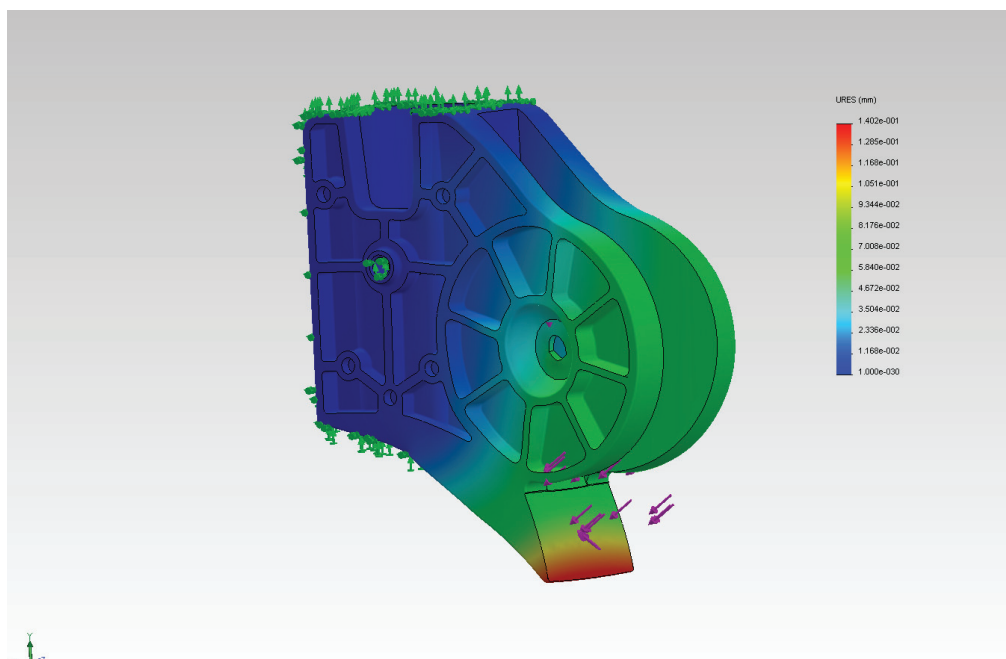


Fig 4.29 La deformazione

In conclusione

Il giunto, nonostante sia stato definito nel materiale e nelle dimensioni, solamente in conseguenza alle decisioni prese e confermate dai calcoli sul braccio della seduta, ha completamente superato i test statici, risultando anche più resistente del braccio stesso. La deformazione e gli sforzi sono così tanto contenuti che potrebbe addirittura sopravvivere a un impatto terminale di 20g, forza su cui è stato ampiamente testato. Inoltre il suo peso, di soli 1,26Kg è di 240grammi al di sotto di quanto imposto come limite nella definizione iniziale dei vincoli. Questa ulteriore conferma non fa altro che dare ancora più valore alle capacità e specifiche tecniche dei componenti fino ad ora analizzati.

Tecnologia di produzione per giunto e braccio

In campo aeronautico le regole da rispettare per la definizione e la produzione di un componente, sono molte e complesse ma possono essere ridotte a due norme principali: rendere la struttura più resistente possibile tenendo il peso molto contenuto ed utilizzare una tecnica produttiva che escluda ogni tipologia di difetto o cricca. Per quanto riguarda le due componenti in lega di alluminio (braccio e giunto), il materiale viene fornito in lingotti o in lastre di dimensioni prestabilite e viene profondamente esaminato e testato per renderlo adatto alle normative vigenti. La tecnologia che più di ogni altra riesce a mantenere immutata la conformazione interna del materiale è la lavorazione dei metalli alle macchine utensili. Le caratteristiche generali di queste tecnologie sono le seguenti:

- Non presentano limitazioni dimensionali.
- Non presentano limitazioni morfologiche.
- Non presentano limitazioni di spessore.
- Non presentano limitazioni sulle tolleranze.
- Non presentano limitazioni sulla rugosità.
- Tecnologia ideale per realizzare piccole tirature.
- Tecnologia che permette aggiustaggi dopo la realizzazione del pezzo.
- L'investimento nel macchinario è elevato, ma se è già presente in azienda non influisce troppo gravemente.

Le lavorazioni dei metalli alle macchine utensili possono essere di due tipologie:

- **Tecnologia Sottrattiva:** si parte da un lingotto di materiale ed si asporta lo stesso fino ad arrivare alla forma che si desidera. Normalmente la quantità di materiale asportato è l'85/90% del materiale di partenza.

· **Tecnologia Additiva:** si aggiunge materiale fino a che si ottengo il pezzo che si desidera.

In questo particolare caso, i pezzi sono stati ideati per essere prodotti con tecnologia sottrattiva, cioè asportazione con utensili da taglio.



Fig 4.30 Operazione di fresatura in atto

Tale operazione è denominata fresatura. L'operazione di fresatura consiste nell'asportazione di materiale (sottoforma di truciolo) attraverso un movimento rotatorio dell'utensile fresa associato ad un movimento di avanzamento affidato al pezzo in lavoro o all'utensile stesso. La fresa è per definizione un utensile di rotazione dotato di un numero definito di taglienti, i quali entrano in contatto in maniera sequenziale con il pezzo il lavorazione. Le tre operazioni di fresatura di base sono: - fresatura periferica, - fresatura frontale - fresatura periferico/frontale.

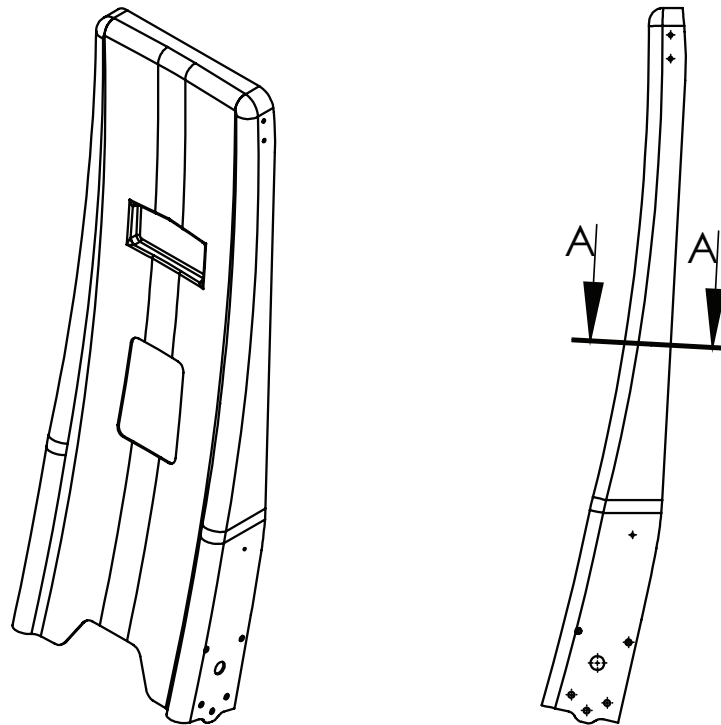
Nella fresatura periferica l'asse di rotazione della fresa è parallelo alla superficie in lavorazione. La fresa è munita di una serie di denti disposti lungo la circonferenza, ogni dente agisce come un utensile da taglio a punta singola, definito fresa semplice. Le frese impiegate nella fresatura periferica possono essere dotate di denti dritti o elicoidali.

Nella fresatura frontale la fresa è montata su di un mandrino che ruota lungo un asse perpendicolare alla superficie in lavoro. I taglienti principali sono disposti in corrispondenza della base del corpo cilindrico fresa.

Nella fresatura periferico - frontale l'utensile fresa è dotato di taglienti principali (normalmente di tipo elicoidale) posizionati sulla superficie cilindrica, e di taglienti secondari posizionati frontalmente in corrispondenza della base cilindrica.

Fig 4.31 Assonometria
e ortogonale dello
schienale

Lo schienale



104

Lo schienale della seduta è stato ideato in un'unica forma costituita in composito, molto leggera ma con una grande resistenza a flessione. Per passare i test e rispettare i limiti stabiliti dalle normative deve resistere ad una forza di 16g forward e 16g rearward che crea un forte momento flettente alla base dello schienale. Tradotti in Newton, tenendo conto del peso dell'occupante di 60Kg (solo la parte superiore del corpo), sono circa 9000N.

Obiettivo dello screening è creare una struttura resistente ed elastica, minimizzandone il peso

Vincoli:

- Materiale resistente a corrosione
- Sopportare una sollecitazione a flessione di 9000N e una deflessione massima di 50mm
- Il peso deve rimanere entro i 2Kg
- L'altezza dello schienale è pari a 770mm

- Le dimensioni da considerare per la sezione sono le seguenti:

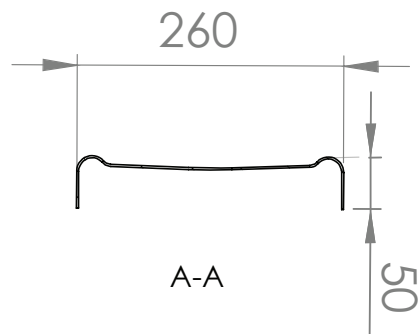


Fig 4.32 La sezione resistente

Che corrispondono alla sezione resistente minima.

Semplificazione della struttura e forze in gioco

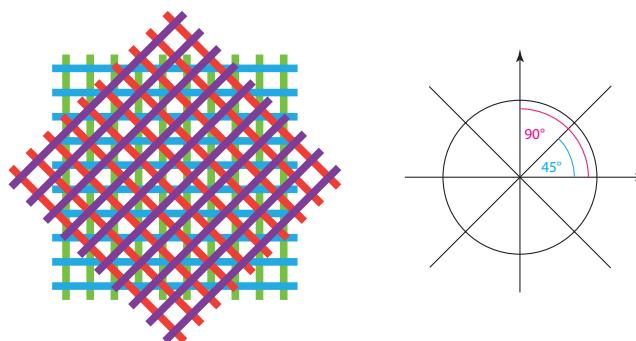
Per definire le forme e i materiali di questo componente del progetto abbiamo preferito procedere controcorrente rispetto al metodico processo seguito sino ad ora, in modo da provare ad utilizzare al meglio le risorse forniteci dall'azienda e per provare a gestire un design figlio del materiale scelto e non il contrario. Così facendo abbiamo completamente invertito i passaggi ma siamo comunque arrivati ad una conclusione che tiene conto delle proprietà tecniche del materiale e della sua fattibilità.

Per scegliere il materiale abbiamo chiesto di partecipare ad alcuni test su nuovi componenti di fusoliere che entreranno in produzione dopo il 2014, il reparto in cui ci siamo recati si chiama Reparto Sperimentale. Il materiale che abbiamo scelto dopo aver visionato alcuni dei test di stress statico che sono stati messi in atto, è la fibra di carbonio. La fibra di carbonio è una struttura filiforme, molto sottile, realizzata in carbonio con la quale è possibile costruire una grande varietà di materiali detti compositi. I fili di carbonio sono tessuti e impregnati di una matrice, solitamente la resina epossidica, che solidifica la struttura e permette alle fibre di mantenere posizione e orientazione, con lo scopo di assorbire gli sforzi in ogni direzione. Per la realizzazione del manufatto, la fibra di carbonio viene tessuta in grandi fogli, messa in posa nello stampo e infine imbevuta di resina e passata in autoclave. Tra le sue caratteristiche spiccano l'elevata resistenza meccanica, la bassa densità, la capacità di isolamento termico, la resistenza a variazioni di temperatura e all'effetto di agenti chimici e buone proprietà ignifughe. Di contro il materiale risulta non omogeneo e presenta spesso una spiccata anisotropia, ovvero le sue caratteristiche meccaniche hanno una direzione privilegiata.

La resistenza meccanica del manufatto è quindi fortemente influenzata dalla disposizione delle fibre. Esistono infatti tre principali strutture di fibra di carbonio che possono anche essere disposte multistrato per accentuare la resistenza in alcuni punti. L' elevato livello di artigianalità nella produzione dei prodotti in composito, facilita la possibilità di gestire sapientemente la tipologia di fibra scelta e la sua disposizione nello stampo. Il centro sperimentale dell'AgustaWestland utilizza questi tre tipi di tessuto di fibra di carbonio perchè in ambiente aeronautico sono i più performanti.

- L'ordito unidirezionale, con fibre disposte parallelamente e mantenute insieme dalla resina. (UNI)
- Il composto di fibre di 5 fili di carbonio ordite ortogonalmente (5H)
- L'ordito di singoli fili di carbonio ortogonali. (PW)

Fig 4.33 Incrocio schematico di fibre a 90° e 45°



Queste tre tipologie di tessuto hanno diverse capacità tecniche a seconda di come sono disposte sullo stampo, perchè la fibra di carbonio è considerata resistente solamente se lo sforzo si produce parallelamente alla disposizione dei fili. Gli orditi ortogonali sono sovrapposti inclinando, a strati alternati, la fibra di 45° in modo da ottenere una forma resistente nelle 4 direzioni principali. L'ordito monodirezionale è utilizzato, annegato all'interno di strati ortogonali, per accentuare la resistenza parallelamente alle proprie fibre, in zone in cui gli sforzi si concentrano maggiormente.

Lo schienale, così come è stato disegnato, ha un forte valore strutturale e di conseguenza deve poter resistere a tutte le sollecitazioni che i test per la certificazione, possono generare. La fibra di carbonio ipoteticamente può essere un ottimo materiale per costruire lo schienale, se verrà studiata opportunamente la disposizione delle fibre sulla struttura.

Le principali proprietà della fibra di carbonio sono le seguenti:

Densità: $1.5e3 - 1.6e3 \text{ kg/m}^3$

Prezzo: 30 - 90 EUR/kg
Modulo di elasticità (per strato): 69 - 150 GPa

(fonte CES Edupack2011)

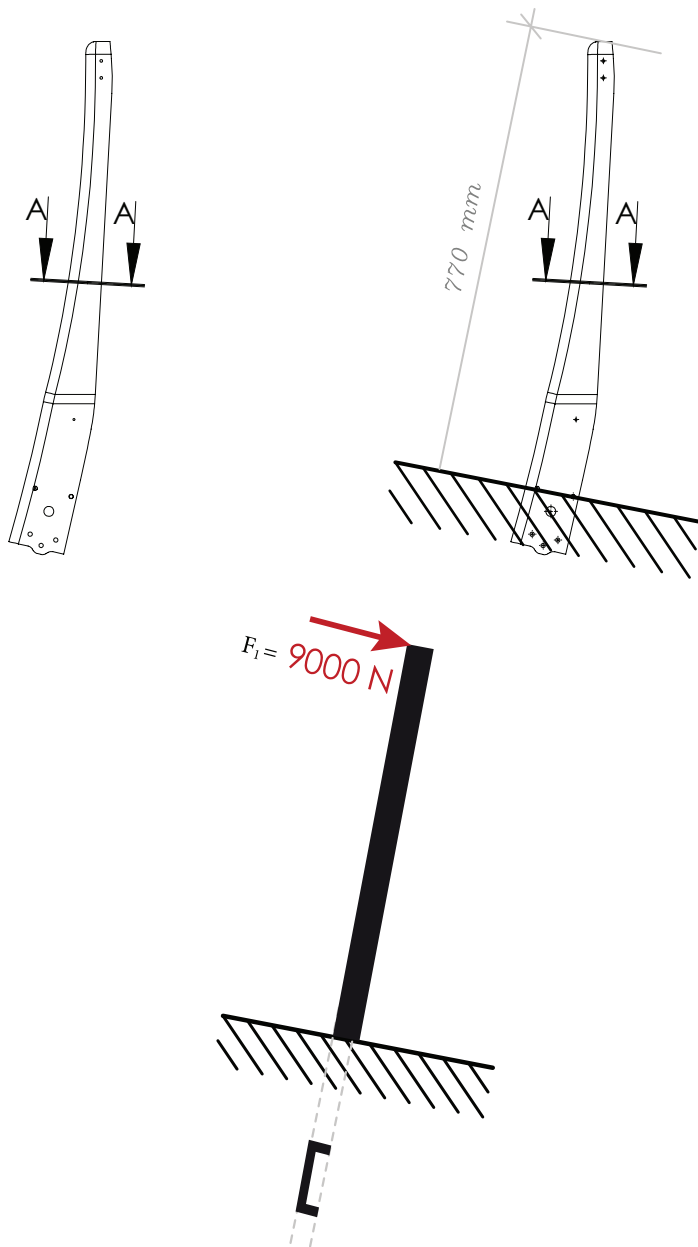


Fig 4.34
Semplificazione della
struttura

Per avvalorare la tesi, occorre comunque intavolare i primi calcoli per definire i livelli di Momento d'inerzia e di Modulo Elastico necessari per la costruzione dello schienale

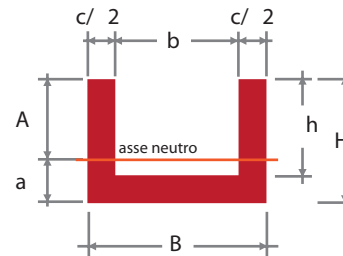
Requisito da ottimizzare il peso dello schienale, dettato principalmente dallo spessore della sezione:

- Rigidezza per $F = 9000\text{N}$ e $\delta_{\max} = 50\text{mm}$

Sapendo il momento di inerzia di una trave a C si calcola con la seguente formula:

$$I = \frac{B\alpha^3 - b(h-A)^3 + cA^3}{3} \quad \text{con } A, a, B, b \text{ e } c \text{ indicati in figura 4.34}$$

Fig 4.34



108

$$I = 253115 \text{ mm}^4$$

Ne deriva che per calcolare il Modulo Elastico minimo si debba usare la formula:

$$\delta = FL^3 / 3EI \leq 50\text{mm}$$

$$E \geq FL^3 / 3I\delta$$

Quindi:

$$E \geq 108 \text{ GPa}$$

Dove:

$$F = 9000\text{N}$$

$$L = 770\text{mm}$$

$$\delta = 50\text{mm}$$

In conclusione è facile notare che il valore di modulo elastico richiesto dalla struttura sia molto elevato e che qualsiasi materiale metallico o polimerico puro, non riuscirebbe a soddisfarlo. La fibra di carbonio invece, in multistrato con fibre di rinforzo nei punti critici, è obbligatoriamente la soluzione migliore per questo caso.

La disposizione delle fibre e processo produttivo

Una analisi approfondita della struttura dello schienale ha evidenziato che le due alette di profondità H sono le principali artefici della tenuta a flessione del componente. Anche in questo caso infatti, è possibile ridurre il sistema fisico in esame ad una semplice trave incastrata che ha come fulcro la base dello schienale e come massima lunghezza l'altezza dello stesso. Una volta fissato questo punto è possibile definire una configurazione di fibra di carbonio che possa soddisfare le condizioni di tenuta richieste. Abbiamo deciso di provare a pensare a una disposizione delle fibre e poi abbiamo proposto la nostra idea al reparto sperimentale. Il risultato di questa "revisione" con i tecnici del laboratorio è stato concepire una potenziale disposizione che, aiutata dalla conformazione della struttura, possa resistere anche più del necessario. In Fig 4.35 è rappresentata la sovrapposizione degli strati in modo abbastanza schematico ma intuibile. La fibra ortogonale (5H), la classica fibra di carbonio, viene utilizzata come strato superficiale, al di sotto di essa è stato posizionato un intero strato di fibra unidirezionale (UNI) che possa garantire a tutta la struttura una potenziale resistenza ulteriore a trazione e a compressione (il risultato dello sforzo a cui è sottoposto lo schienale), lo strato ancora inferiore è occupato da una fibra ortogonale ma ruotata di 45° per accentuare anche la resistenza a torsione. Sotto questo ultimo strato sono stati posizionati quattro strati più piccoli alternati, che occupano solo la porzione delle alette laterali dello schienale in modo da intervenire dove maggiormente è presente lo sforzo di trazione e compressione; sono due strati di unidirezionale e due di 45°. In questo modo dovrebbe essere assicurata la tenuta alla flessione. Per chiudere e per compattare la struttura è stato inserito un altro strato ortogonale. In tutto, considerando uno spessore medio di 0,4 mm per strato di fibra di carbonio, avremo come spessori della sezione:

3,2mm in corrispondenza delle alette laterali

2,0mm in corrispondenza dello schienale di appoggio.

La struttura complessiva così strutturata, considerando una densità di 1600 Kg/m³ arriverà a pesare non più di 1Kg, un valore estremamente importante perchè permette di risparmiare peso, una problematica molto sensibile in aeronautica.

109

Fig.4.35 Stratificazione degli strati di fibra.

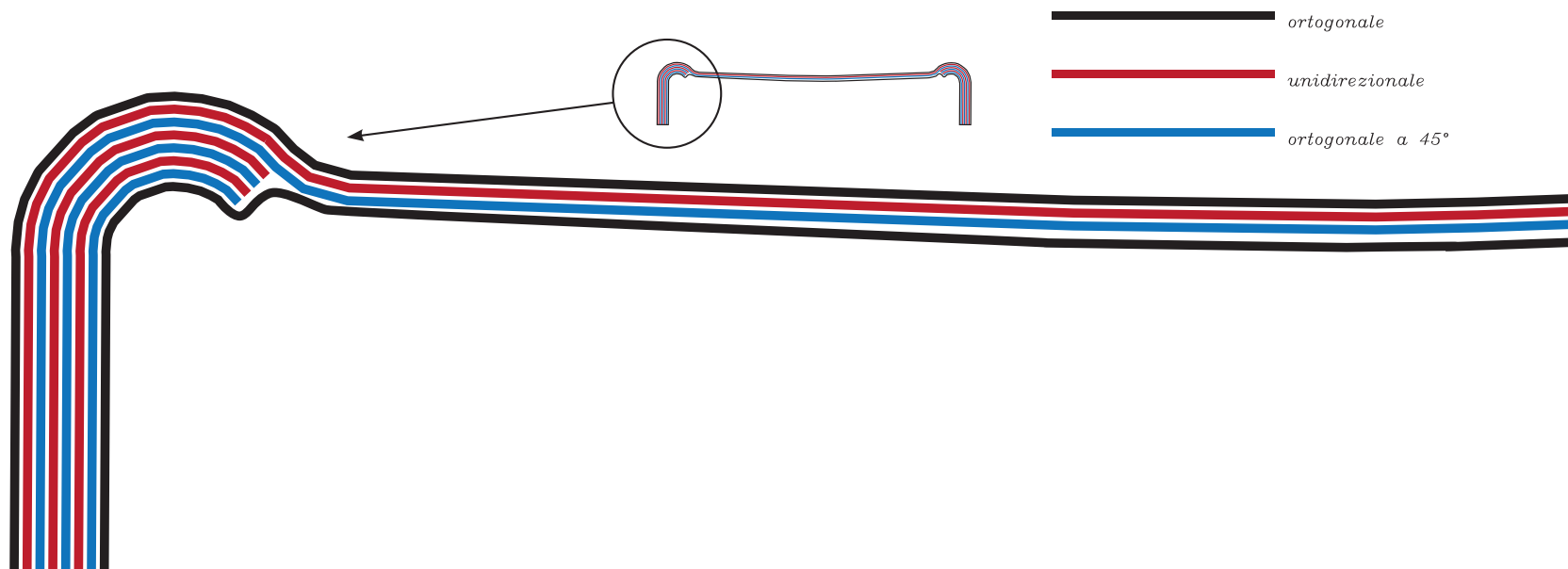
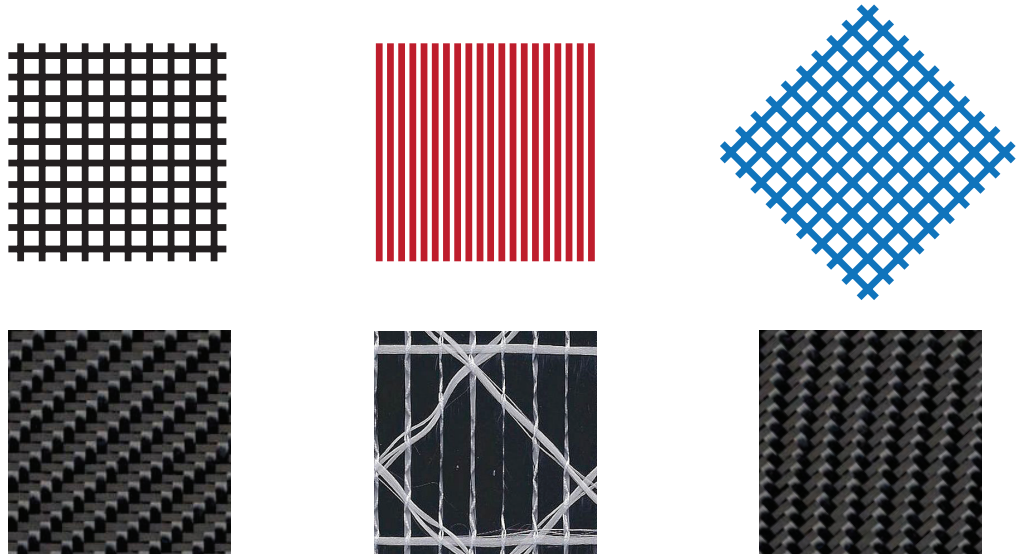


Fig 4.36 Fibra ortogonale, unidirezionale, a 45°, a diverse scale



“Il segreto della fibra di carbonio è la stratificazione delle sue “pelli”. Ogni strato può avere caratteristiche diverse e viene posto secondo le linee di sollecitazione che il prodotto finale deve sopportare.”

(fonte: http://www.maesticicli.it/fibra_di_carbonio.html)

110

La fibra di carbonio sulla mappa di Hasby

CFRP, matrice epossidica (isotropo).

Materiale composito rinforzato con fibre di carbonio (CFRPs) offre una maggiore rigidità e resistenza rispetto a qualsiasi altro tipo di composito, ma è notevolmente più costoso. Si tratta di fibre continue immerse in una matrice di resina epossidica o poliestere per ottenere le massime prestazioni. Le fibre portano i carichi meccanici, mentre il materiale matrice trasmette gli sforzi tra fibre e fornisce duttilità e tenacità nonché protegge il composito dai danni causati dalla manipolazione o l'ambiente. È il materiale di matrice che limita la temperatura di servizio e condizioni di lavorazione.

Composizione (sintesi): Epossidica + continuo rinforzo in fibra di carbonio HS (0, +45, 90), quasi-isotropo.

(fonte: CES EduPack 2011)

Nella mappa di Hasby (Fig 35 e 36), la fibra di carbonio si posiziona nella famiglia dei compositi, in una posizione di grande rilevanza rispetto alla totalità

dei materiali. Coniuga infatti un elevato Modulo di Young ad una bassa densità (appena sopra i 1500Kg/m^3). Si tratta di uno dei materiali più resistenti e allo stesso tempo uno dei più leggeri. E' opportuno ricordare che il Modulo di Young prende in considerazione un singolo layer di fibra, considerato quasi-isotropo perchè frutto della tessitura di quattro strati unidirezionali (0, +45, 90). La E di questa tipologia di tessuto è compresa tra 69GPa e 150GPa, La sovrapposizione semplice di anche solo 4 strati con tenuta 150GPa, porterebbe a un composito multilayer di 600GPa di tenuta, con un peso molto ridotto e una possibilità potenzialmente illimitata di design e utilizzi.

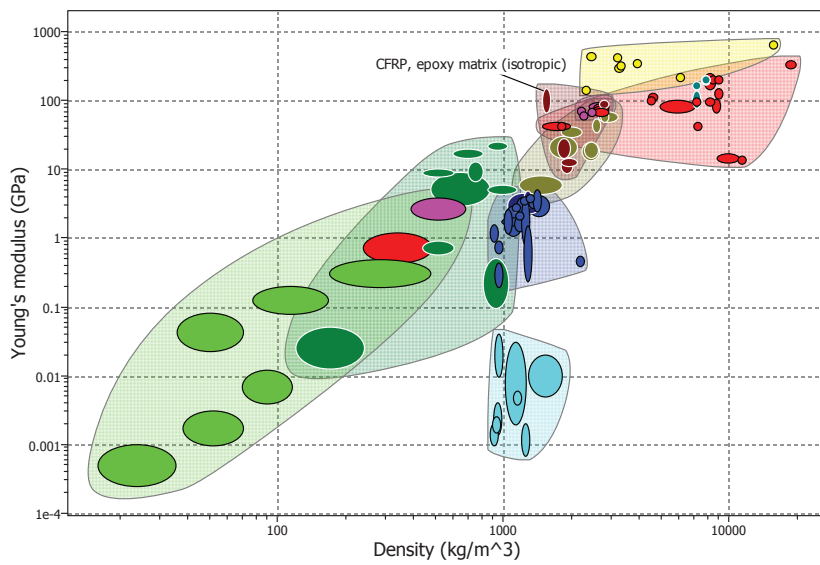


Fig 4.37 Mappa di Hasby

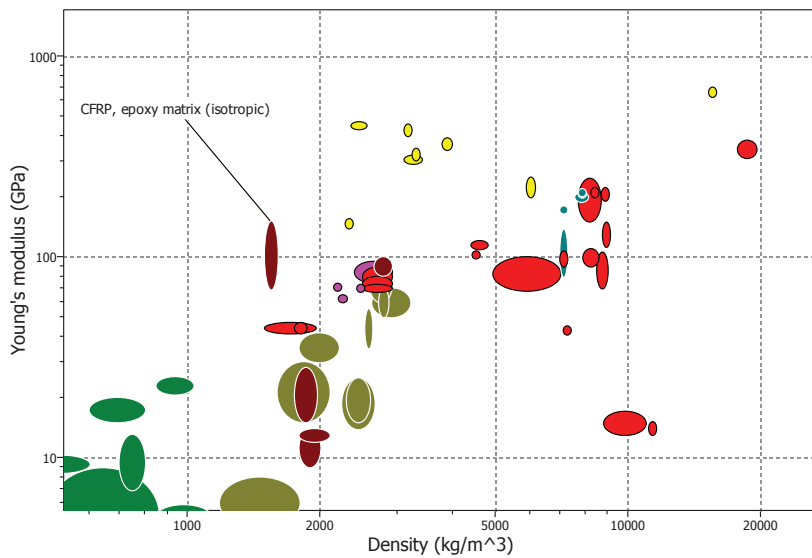
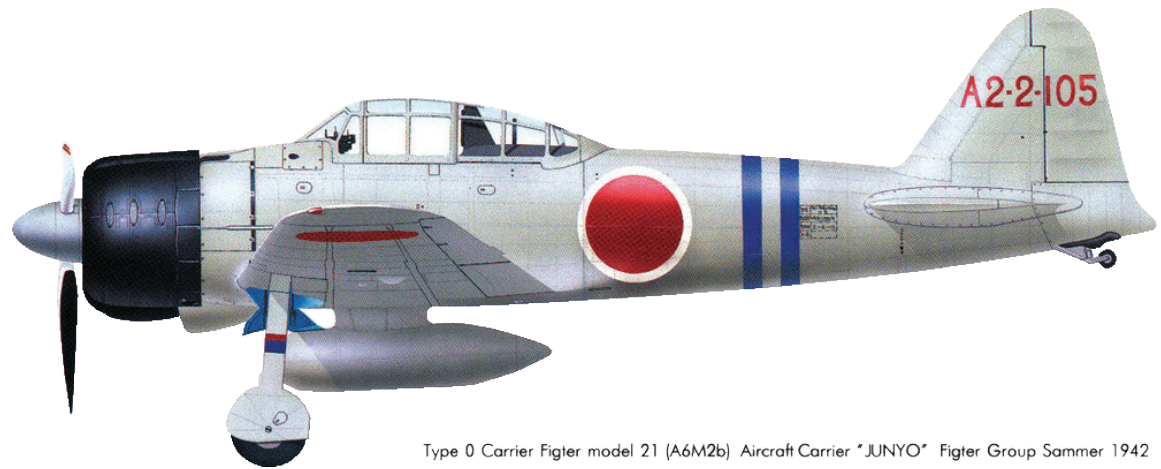


Fig 4.38 Mappa di Hasby close up

Prodotti in commercio - Alluminio Serie7000



Type 0 Carrier Fighter model 21 (A6M2b) Aircraft Carrier "JUNYO" Fighter Group Summer 1942

112



Fig 4.39 Mitsubishi A6M Zero (solo telaio - 1942)

Corona e telaio mountain bike Mathitech

Agganci scarponi da sci Atomic

Motore a scoppio per macchine telecomandate



Prodotti in commercio - Fibra di Carbonio



Fig 4.40 Concept ski
AUDI

Koenigsegg Agera R
(full carbon - 270000\$)

qroo 12 bike (7900\$)

Akrapovic exhaust

HPF full carbon seat

Focus sulle schiume per la seduta e lo schienale

Ritardanti di antifiamma

I ritardanti di fiamma bromurati sono composti usati per evitare o ritardare l'estendersi di fiamme in caso di incendio. Questi composti sono comunemente utilizzati in molti settori industriali tra cui quello tessile, elettronico e per la produzione degli imballaggi di plastica. Nonostante il termine indichi un gruppo molto vasto di composti, le sostanze comunemente usate nel passato e/o tuttora in uso sono i polibifenili bromurati (PBB), parenti stretti dei PCB divenuti famosi per aver contaminato i polli belgi, i difenileteri polibromurati (PBDE, o difenilossidi polibromurati PBDO), l'esabrociclododecano (HBCD), ed il tetrabromobisfenol-A (TBBP-A). I rischi ambientali e sanitari di PBB, PBDE e HBCD hanno portato ad un de facto del loro uso a livello europeo, mentre per il TBBP-A le produzioni sono tuttora in aumento.

I ritardanti di fiamma bromurati sono composti estremamente stabili e tendono a legarsi alla materia grassa e, nonostante molti di questi siano molecole "ingombranti" troppo grandi per accumularsi negli organi, esistono chiare dimostrazioni scientifiche che indicano che gli organismi che le assumono sono comunque in grado di assimilarli. I ritardanti di fiamma sono usati sia come semplici additivi sia per facilitare l'adesione delle varie parti componenti la matrice dei prodotti. **I PBB, PBDE e HBCD sono spesso impiegati come semplici ritardanti di fiamma e come tali sono mobili all'interno del prodotto che li contiene e tendono quindi ad essere rilasciati sia in fase di produzione che di uso e smaltimento. I ritardanti di fiamma possono essere presenti in percentuali comprese tra il 10 ed il 30% della massa di molte delle plastiche comunemente usate.** Il TBBP-A viene usato sia come additivo che come reagente soprattutto nei componenti interni di computer ed altri apparecchi elettronici. Anche nel caso di utilizzo di questi composti come reagenti, una percentuale rimane non fissata nel prodotto ed è quindi soggetta ad essere immessa in ambiente a seguito dell'usura del manufatto. Il gran numero di applicazioni, l'elevata quantità usata e la facilità di rilascio in fase produttiva, di utilizzo e di smaltimento hanno reso i composti polibromurati tra gli inquinanti ubiquitari immessi sia da fonti puntiformi che diffuse.

Uso dei ritardanti di fiamma

Il disegno di legge della UE, la Direttiva sulla limitazione delle sostanze pericolose (RoHS), stabilisce che l'impiego d'alcuni tipi di ritardanti di fiamma sarà proibito nei nuovi componenti elettrici ed elettronici (EEE) dal 1° luglio 2006. Dopo tale data dovranno trovarsi alternative ai vecchi componenti. Il

documento di Envirowise Design sostenibile per i EEE suggerisce diverse possibilità.

Che cosa sono i ritardanti di fiamma

I ritardanti di fiamma sono aggiunti ad alcuni componenti, come i circuiti stampati (PCB), i contenitori di plastica ed i cavi, per ridurre la loro infiammabilità; per esempio, essi prevencono o riducono la possibilità di un inizio d'incendio e la propagazione della fiamma.

Ci sono diversi tipi di ritardanti di fiamma, essi si possono dividere tra quelli che contengono composti di bromo e cloro (conosciuti anche come ritardanti di fiamma alogenati), quelli che contengono fosforo e composti dell'azoto ed i ritardanti di fiamma inorganici.

I ritardanti di fiamma contenenti bromo sono, in genere, più usati di quelli al cloro. Questo perché sono meno costosi ed hanno, comunque, lo stesso livello d'affidabilità.

Alcuni tipi di ritardanti di fiamma bromurati sono:

Tetrabromobisfenolo-A - TBBPA - normalmente usato nei circuiti stampati e nei componenti

Esabromociclododecano - HBCD - Usato nel polistirolo ad alto impatto (HIPS)

Eteri di difenile polibromurato - PBDEs - usato nelle termoplastiche, consigliato per stampaggi ad iniezione. Il prodotto gamma Deca è usato nel tessile e nelle plastiche dense. Bifenili polibromurati - PBBs - usati negli stampaggi di plastica.

La Direttiva RoHS vieterà l'impiego di PBBs e PBDEs (eccetto il BDE della gamma Deca). I BDE Deca non saranno inizialmente inseriti nella lista delle sostanze proibite dalla ROHS; sono, però, attualmente sotto valutazione della Commissione Europea. Non è escluso che in futuro siano inclusi.

115

Perché proibire i ritardanti di fiamma?

Alcuni PBDEs possono accumularsi nei pesci e negli organismi terrestri. Questi composti si accumulano nella catena alimentare (bio-accumulo) e passare, così, agli esseri umani. Possono anche trasferirsi per contatto epidermico o per inalazione. Per alcuni di questi composti è riconosciuta la loro dannosità a taluni organi ed al DNA, inoltre possono essere causa di degenerazioni e di tumori. Certi PBDE si decompongono nell'ambiente formando, così, altri composti ancor più tossici. I PBDEs possono trasferirsi dai materiali trattati con ritardanti di fiamma all'ambiente ed i loro effetti essere persistenti per un lungo periodo.

Per le schiume Polietileniche del sedile riprogettato si useranno ritardanti di fiamma alogenati per ridurre l'infiammabilità dei componenti. essi verranno aggiunti in fase di produzione all'interno del prodotto.

Trattamenti superficiali

La scelta dei trattamenti superficiali è stata fatta avendo ben chiari i requisiti di resistenza agli agenti chimici, d'ambiente e di sicurezza previsti per ogni componente. La durabilità e l'affidabilità nel tempo della struttura dipendono, oltre che dalle proprietà intrinseche dei materiali di cui sono costituite, anche da molti fattori esterni tra i quali l'entità, il tipo, la durata delle sollecitazioni, l'ambiente operativo, la presenza di diversi materiali a contatto. Nell'ambito dei materiali metallici, i fenomeni degradativi di maggiore preoccupazione consistono nell'ossidazione e nella corrosione per effetto delle condizioni ambientali esterne o per effetto del contatto di materiali dissimili. Per quanto riguarda invece i materiali polimerici, oltre a fenomeni di ossidazione, possono intervenire modifiche chimiche, fisiche e nella struttura molecolare, con importanti variazioni delle loro proprietà nelle condizioni operative. L'utilizzo di materiali polimerici in ambito strutturale non può quindi prescindere dalla conoscenza della loro risposta nel tempo.

Tipologie di corrosione interessate

La **corrosione chimica** avviene quando si ha dissoluzione diretta del materiale o di alcuni suoi componenti per effetto del contatto con una sostanza corrosiva, generalmente liquida: spesso l'effetto di dissoluzione è accelerato dalla presenza di flussi convettivi ed è accompagnato o conseguente a fenomeni di ossidazione e/o corrosione di tipo elettrochimico. L'attacco avviene inizialmente in corrispondenza di zone ad alta energia, come ad esempio i bordi di grano, o zone di interfaccia, e può portare alla nucleazione e propagazione di cricche e conseguente infragilimento. Nell'attacco selettivo solo alcuni componenti della lega subiscono dissoluzione, modificando la composizione e le proprietà del materiale di partenza. Tali fenomeni risultano particolarmente significativi nei processi tecnologici di lavorazione a caldo dei metalli (fusioni, trattamenti termici, saldature...) in quanto determinano interazioni tra materiale lavorato e attrezzature o liquidi di processo. Nei materiali polimerici, il contatto con solventi può determinare la dissoluzione del polimero e/o di alcuni suoi additivi. Questo determina, oltre alla perdita di materiale, anche importanti modifiche nel comportamento termico e meccanico del materiale, spesso con infragilimento e irrigidimento rispetto alle condizioni originarie. In molti casi il solvente viene assorbito nel polimero rigonfiandolo.

La **corrosione elettrochimica** invece rappresenta la più comune forma di aggressione dei metalli. Avviene quando la perdita di elettroni determina la

formazione di ioni metallici che passano in soluzione determinando una continua asportazione di materiale. La reazione comporta la formazione di prodotti di corrosione che a loro volta possono interagire con le sostanze presenti. La corrosione elettrochimica avviene principalmente al contatto con mezzi acquosi o in aria umida, in cui gli ioni metallici possono passare in soluzione. Può avvenire in modo uniforme sulla superficie o, più comunemente, procedere in profondità in zone o centri localizzati, non sempre facilmente rilevabili. La reazione di corrosione elettrochimica è conseguente alla formazione di un circuito elettrico, definita cella elettrochimica. Una cella elettrochimica è costituita da: Un *anodo* che cede elettroni al circuito di collegamento, forma ioni positivi che passano in soluzione e si corrode; Un *catodo* collegato elettricamente con l'anodo, che riceve elettroni dall'anodo attraverso il circuito; gli elettroni si combinano con gli ioni al catodo depositandosi oppure generando prodotti di reazione diversi; Un *elettrolita* conduttivo (generalmente liquido) in contatto con anodo e catodo che consente il trasporto di ioni dall'anodo al catodo, chiudendo il circuito. L'elettrolita è solitamente costituito da un liquido, ad esempio una soluzione salina, oppure acida, oppure basica. In alcune applicazioni la conduzione di ioni può avvenire anche in elettroliti non acquosi, anche solidi.

La corrosione avviene a seguito di passaggio di corrente spontaneo attraverso il circuito della cella elettrochimica. Tra gli elettrodi si instaura quindi una differenza di potenziale che consente il passaggio di cariche elettriche attraverso un circuito. La differenza di potenziale tra due materiali diversi (elettrodi) esprime la diversa tendenza dei due materiali a cedere elettroni quindi a corrodersi. La corrosione del metallo è quindi il risultato della formazione di ioni metallici, dovuti al passaggio di corrente che si instaura in una coppia galvanica. Per proteggere il metallo dalla corrosione è quindi necessario ridurre il più possibile la corrente che percorre il circuito. Nella pratica, l'effettiva corrente è molto difficile da predire o determinare poiché risulta dipendere da molte variabili che intervengono durante il processo di corrosione. In alcune condizioni specifiche, diversi metalli e leghe presentano la capacità di ridurre, spesso a valori estremamente bassi, la corrente di corrosione a seguito della formazione spontanea di uno strato di ossido superficiale protettivo che rallenta o impedisce il passaggio in soluzione degli ioni metallici. Tale fenomeno, detto passivazione, è mostrato da diversi metalli di interesse ingegneristico come alluminio, titanio, nichel, cromo, ferro. Un esempio particolarmente significativo in campo aeronautico è rappresentato dalla corrosione in corrispondenza di giunzioni discontinue (con rivetti o cullonature). L'utilizzo di elementi di giunzione di composizione diversa dagli elementi giuntati può innescare fenomeni di corrosione galvanica in corrispondenza delle superfici di contatto; la Fig 4.41 riporta i possibili accoppiamenti per categorie di materiali.

Accorgimenti progettuali per contrastare la corrosione

La difesa della corrosione richiede attenzione sia alla scelta dei materiali, che alle soluzioni progettuali, che alle modalità di impiego e manutenzione; oltre a ciò, sono disponibili diverse tecniche di protezione mediante l'uso di trattamenti, rivestimenti, sigillanti, inibitori. Dal punto di vista progettuale esistono diversi accorgimenti che possono limitare o annullare gli effetti della corrosione elettrochimica; i principali sono indicati di seguito.

Si è visto che la formazione di una cella elettrochimica richiede un continuo flusso di elettroni attraverso il circuito della cella. L'interruzione di questo flusso, mediante l'interposizione di elementi isolanti può impedire la corrosione.

Fig 4.41 Materiali per elementi di giunzione di componenti aeronautici

Materiali da collegare	Elementi di giunzione (rivetti/viti)		
	preferiti	accettabili	Da evitare
Alluminio con alluminio	Alluminio anodizzato	Titanio, A286	Acciaio cadmiato
Titanio con titanio, acciai austenitici, leghe di nichel	Titanio	A286, Inconel 718	Acciai legati, alluminio, alluminio rivestito
Titanio con alluminio	Titanio	A286, Inconel 718	Alluminio, alluminio rivestito
Carbonio/epossidica	Titanio	A286, Inconel 718	Alluminio, alluminio rivestito

118

Nel nostro caso specifico, l'accoppiamento del laminato in carbonio dello schienale strutturale con le lamiere in acciaio posteriori di supporto al sistema crashworthiness richiede l'interposizione di un primo strato isolante (una lamina in vetro/resina o strato continuo di resina) al fine di evitare possibile corrosione dovuta al contatto tra fibre di carbonio e metallo (Fig 4.42).

Fig 4.42 accoppiamento alluminio-carbonio

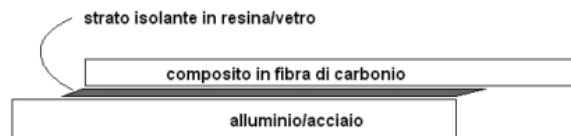


Figura 18.11- Esempio di protezione dalla corrosione mediante interposizione di uno strato isolante

Giunzioni per brasatura o saldo-brasatura, con accoppiamenti di materiali dissimili, possono generare celle di composizione: questo è uno dei motivi per cui in ambito aeronautico è preferibile l'uso di minuteria per gli assieme piuttosto che la saldatura. La minuteria metallica utilizzata da Agusta rientra già nella categoria certificata denominata CRES (corrosion resistant).

Oltre a una adeguata progettazione, esistono diverse possibilità di prevenire la corrosione limitandone la progressione o impedendone l'attivazione. Una tecnica per prevenire gli effetti della corrosione consiste nell'isolamento preventivo mediante rivestimenti protettivi delle superfici anodiche e/o catodiche. Rivestimenti come vernici, primer, smalti, rivestimenti ceramici o polimerici forniscono isolamento permanente. Tuttavia, nel caso di perdita di continuità del rivestimento, ad esempio a seguito di graffi o rotture superficiali, l'esposizione di una piccola superficie anodica può determinare una rapida attivazione e propagazione di corrosione localizzata. La protezione viene spesso effettuata anche mediante rivestimenti metallici. Lamiere in acciaio vengono spesso zincate al fine di proteggerle da corrosione. Allo stesso scopo lamiere in acciaio possono essere protette con rivestimenti in stagno (lamiere stagnate). Le due soluzioni sono però sostanzialmente diverse nel caso di rottura o graffi nel rivestimento. Lo zinco è anodico rispetto all'acciaio; quindi anche in caso di esposizione della lamiera, il rivestimento continua a fornire protezione galvanica. Nel secondo caso invece, l'acciaio è anodico rispetto allo stagno: la rottura dello strato superficiale può portare a rapida corrosione. In campo aeronautico, la limitata resistenza a corrosione di molte leghe di alluminio, in particolare le leghe con rame (serie 2000 e 200) e le leghe con Zn(Mg (serie 7000 e 700 come nel caso del nostro braccio e giunto foldable), viene affrontata con l'impiego degli Alclad, lamiere rivestite da un sottile strato in alluminio puro o in lega con maggiore resistenza a corrosione, anodico rispetto alla lamiera sottostante. In questo caso, nell'eventualità di graffi superficiali, come nel nostro caso trattandosi di un giunto foldable e quindi di un sistema mobile in continuo movimento, risulta essere una scelta utile per evitare rischi di corrosione. Rivestimenti protettivi possono essere generati per reazione superficiale con agenti chimici. La fosfatazione con soluzioni di fosfati di zinco, ferro o altri metalli genera uno strato protettivo di alcuni micron di spessore. Tale strato, piuttosto poroso peraltro, consente un buon aggrappaggio di ulteriori rivestimenti protettivi quali primer o vernici. L'ossidazione per via chimica di alluminio e acciai inossidabili consente la formazione di ossidi superficiali compatti, isolanti che evitano la formazione di celle galvaniche. Componenti aeronautici in alluminio vengono sottoposti a uno o più trattamenti anticorrosivi che generalmente includono anodizzazione, conversione con cromati, rivestimento con primer.

Naturalmente una corretta selezione dei materiali e dei trattamenti termici che tenga in adeguata considerazione l'ambiente in cui i componenti dovranno operare rappresenta la prima forma di prevenzione dagli effetti della corrosione. Trattamenti di omogeneizzazione in grado di rilassare tensioni residue possono migliorare sensibilmente il comportamento a corrosione. D'altra parte in alcuni casi trattamenti termici non corretti possono invece attivare fenomeni

degenerativi; si è citato il problema della sensibilizzazione di alcuni acciai inossidabili a seguito di riscaldamento o raffreddamento lento nell'intervallo di temperatura 450°C-850°C. Al fine di prevenire gli effetti della sensibilizzazione possono essere adottate alcune tecniche:

- Impiegare contenuti di cromo molto superiore al 12% così da sopperire alla riduzione conseguente alla formazione di carburi di cromo.

- Ridurre il contenuto di carbonio a valori molto bassi (minore 0.03%) così da evitare la formazione di carburi

- Utilizzare acciai stabilizzati, cioè contenenti elementi come Ti o Nb che formano carburi stabili più facilmente che il cromo.

- Sottoporre il componente (se possibile) ad un trattamento termico superiore a 870°C, al fine di solubilizzare eventuali carburi di cromo, seguito da raffreddamento veloce, particolarmente nell'intervallo di temperatura critico 870-425°C. Nel caso delle leghe di alluminio invecchiate artificialmente, trattamenti di stabilizzazione per sovrainvecchiamento (trattamenti T7) permettono una riduzione della corrosione intergranulare in quanto riducono disomogeneità di composizione, ma risultano poco efficaci nei confronti di altri tipi di corrosione. Nelle leghe di alluminio invecchiate delle serie 7000 (Zn-Mg) e 6000 (Si-Mg) la presenza di rame riduce la resistenza a corrosione (intergranulare e/o pitting); leghe esenti da rame vengono quindi selezionate per applicazioni in condizioni ambientali critiche.

Ricapitolando

Materiale braccio struttura e giunto foldable: Lega alluminio serie 7000, trattamento termico categoria T73.51, un po' meno crudo e duro rispetto ad un trattamento T6, quindi miglior comportamento a fatica e resistenza alla propagazione di cricche. Successivamente copertura delle superfici (dove possibile) con un primer e vernice poliuretana per evitare problemi di coppie galvaniche nell'accoppiamento con lo schienale in fibra di carbonio. Saranno risparmiate le superfici interne di contatto tra il braccio e il giunto per evitare possibili grip dati dallo spessore della vernice.

Lo schienale in fibra di carbonio avrà lo strato più esterno in fibra di vetro o solamente localmente dove previsto l'accoppiamento con parti metalliche. Lo strato di fibra di vetro ha il duplice intento di non far sfilacciare la fibra in fase di sagomatura con trapani a punta diamantata. In questo senso sarà intelligente prevedere due strati per lato di fibra di vetro che contengano l'anima in fibra di carbonio.

La minuteria metallica utilizzata per gli assiemaggi rientra nella categoria CRES (corrosion resistant) come già in uso presso l'azienda AgustaWestland, per evitare possibile incompatibilità tra materiali rischiando così di innescare processi di corrosione indesiderati.

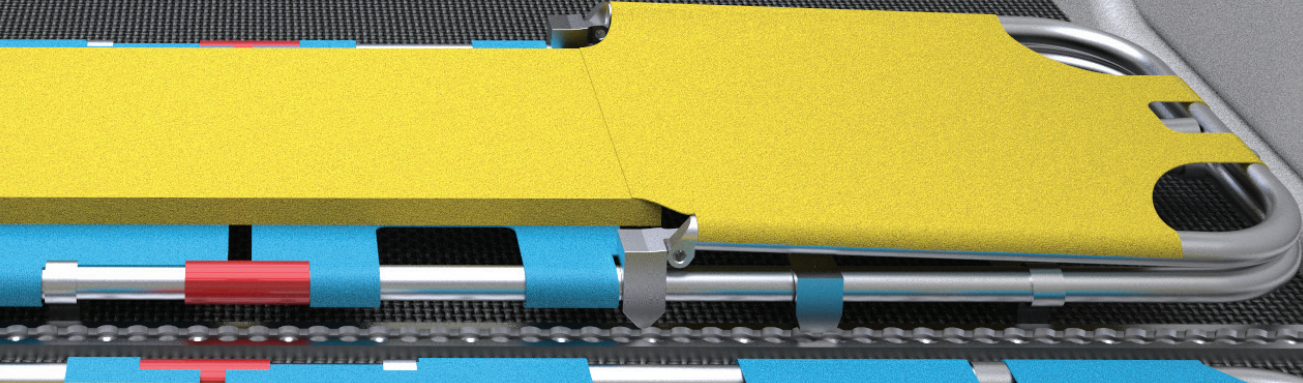




FERNO ^{System}
AW 139 Plus

LSU

This block contains a vertical blue equipment rack. At the top, it is labeled 'FERNO System AW 139 Plus'. Below the label, there is a yellow and black control panel with a small screen and several buttons. Underneath that is a white device with a screen and a keypad. At the bottom of the rack is a blue and yellow device labeled 'LSU'. The rack is mounted on a grey wall.



Conclusioni

5

Innovazione

Considerando il briefing iniziale assegnatoci dall'azienda e i risultati finali ottenuti possiamo affermare di aver intrapreso una strada nuova verso un concreto innalzamento della qualità della vita in questi particolari spazi. Ad oggi non esiste un sedile pensato appositamente per il personale medico operativo su velivoli EMS, ma solamente sedute standard adattate alla tipologia di macchina: le stesse strutture e configurazioni vengono utilizzate per elicotteri VIP, Corporate, SAR e EMS, appiattendolo e quasi ignorando la diversificazione delle esigenze dell'utenza interessata. Con questa Tesi ci si è dedicati a studiare e capire le particolari necessità di persone che abitualmente lavorano su queste macchine tentando poi di fornire loro una risposta progettuale che non vuole essere esaustiva ma semplicemente un punto di partenza per una sempre maggiore riflessione futura sull'argomento.

L'inserimento del braccio foldabile e della piastra rotante nella seduta sono le prime soluzioni a livello d'innovazione inserite nel progetto. Esse tentano di aumentare lo spazio libero nella cabina passeggeri e di aiutare il medico nei movimenti delle anche, del bacino e del torso durante l'assistenza del paziente immobilizzato sulla barella.

Esse sono state rese fattibili in ogni loro aspetto diventando delle possibili integrazioni già ad ora nei sedili utilizzati su queste macchine.

Per agevolare la gestione dell'equipaggio e delle strumentazioni mediche, abbiamo studiato, grazie all'aiuto e i suggerimenti di una azienda esterna, un sistema a comunicazione radio, che possa riuscire a tracciare e segnalare la presenza delle strumentazioni in base alla tipologia di missione. Gli elicotteri EMS sono progettati per rispondere a delle richieste di soccorso medico o supporto in situazioni di emergenza. Ogni tipologia di missione è ben definita a priori e viene comunicata all'equipaggio prima della partenza. Una volta ricevuto e interpretato il messaggio, bisogna preparare tutto l'equipaggiamento necessario molto velocemente per mantenere brevi i tempi di decollo. Intervenire con un sistema tecnologicamente avanzato che coadiuva le operazioni di selezione, potrebbe accelerare i tempi e permettere all'equipaggio di essere in volo con tempistiche

ancora più veloci.

Si tratta di un sistema Rfid UHF ovvero ad alta frequenza che permette di effettuare il check-in e il check-out delle dotazioni strumentali di un elivolo di soccorso in tempo reale.

Componenti Del Sistema

Il sistema si compone di:

- Piccoli tag con una memoria interna che vanno applicati agli strumenti per le missioni di soccorso;
- Un portale Rfid UHF dotato di antenne di lettura (adattato alle specifiche ambientali e del velivolo);
- Un lettore manuale (palmare) per acquisire l'equipaggiamento esterno al velivolo, per ricercare la posizione degli oggetti grazie alla lettura a distanza e verificare la presenza di 'oggetti estranei' non previsti dalla missione di volo in corso.
- Il software di acquisizione dei tag (tarato sulla multilettera, perfezionato per ottenere la massima velocità di registrazione di ogni passaggio, appositamente studiato per non leggere 2 volte lo stesso tag).

Funzionamento

Gli oggetti che fanno parte dell'equipaggiamento di volo vengono 'taggati' con un tag Rfid UHF sul quale viene registrata l'anagrafica del componente (n. serie, gruppo, famiglia, fornitore, data di inflottamento, eventuale danneggiamento). Il portale posizionato sulla porta dell'elicottero è dotato di una antenna bidirezionale capace di registrare qualsiasi passaggio sia in entrata che in uscita. L'aggiornamento dell'archivio di volo avviene in tempo reale grazie alla presenza di un database relazionale all'interno del software che permette di dialogare con la maggior parte degli ERP (Enterprise Resource Planning, un sistema di gestione, chiamato in informatica sistema informativo,) e dei database aziendali in circolazione. Questi Database sono creati in funzione della tipologia di missione. La torre di controllo che riceve la chiamata di emergenza e la trasmette al comandante dell'equipaggio può, grazie a questo sistema, impostare l'elicottero per la missione richiesta. Di conseguenza i palmari in dotazione vengono aggiornati in tempo reale e impostati per guidare la scelta delle componenti mediche necessarie.

Personalizzazione

Dal livello generale del sistema è possibile una sua personalizzazione modificandone le caratteristiche a seconda delle specifiche dell'utente. E' possibile ad esempio strutturare dei gruppi standard di componenti catalogati per missione: il sistema registra tutto ciò che viene caricato sull'elicottero e segnala se:

- MANCA un oggetto che era stato registrato per quella missione;
 - CRESCE un oggetto non necessario per quella determinata missione;
- L'equipaggiamento in eccesso può così essere scaricato dal velivolo producendo un vantaggio in termini di peso che si traduce in minore consumi e più spazio per le operazioni di soccorso.

Perchè Utilizzare La Tecnologia Rfid Uhf?

Il sistema trova applicazione naturale nei grandi magazzini automatici e non, dove la diminuzione dei tempi di passaggio sono stati notevoli rispetto a tecnologie come il codice a barre, 2D o Rfid HF (bassa frequenza). Questo ha infatti permesso di creare autostrade di prodotti la cui tracciabilità è totale con gestione dei danni integrata, abbattendo i tempi di attraversamento di magazzino. Altro campo di applicazione è stato il ramo automotive per la gestione delle flotte auto delle s fettivamente in funzione, i miglioramenti sarebbero immediati e sensibilmente rilevanti. Se si usasse poi l'installazione di questo sistema in un AW139 EMS come rampa di lancio per lo studio e l'ampliamento delle funzionalità del sistema Rfid, si potrebbe allargare ulteriormente il campo di applicazione, sfruttandolo su altri elicotteri o su AW139 di altre tipologie, come i SAR o i Law Enforcement.

Azienda di riferimento

Per informazioni sul sistema Rfid UHF ci siamo rivolti all'azienda milanese Opossumnet (<http://www.opossumnet.eu/>) attiva nel mondo della logistica e dell'automazione industriale.



Iter progettuale ed esperienza

Nel lavoro progettuale condotto ed illustrato in questa Tesi di Laurea ci siamo confrontati con un caso reale di sviluppo prodotto. L'azienda in questione, spinta da esigenze commerciali ci ha interpellati per iniziare una riflessione intorno ad uno stato dell'arte attualmente obsoleto e non più in grado di seguire e rispondere alle esigenze dell'utenza di settore. Insieme a medici e progettisti esperti si è iniziato un lavoro fino ad ora mai intrapreso e che sicuramente è da considerarsi una base solida per uno sviluppo futuro. Con l'elaborazione di un concept per dei nuovi interni EMS indirizzati ad un AW139 la tesi ha raggiunto un primo step di innovazione rispondendo in parte alle richieste dell'azienda. Per giungere alla definizione del nuovo layout è stata condotta in un primo step un'analisi meticolosa del mercato e delle sue richieste arrivando a delineare tutta una serie di idee progettuali concretizzate nelle soluzioni inserite nella nuova configurazione. Una più profonda riflessione invece è stata spesa sul tema della libertà di movimento dei medici arrivando ad elaborare una proposta per un nuovo sedile, dedicato proprio al crew di bordo. Il sedile foldable è stato ingegnerizzato in ogni sua parte componendo un prodotto ad alto contenuto meccanico e tecnico e un potenziale ergonomico nell'interfaccia finale delle schiume. Analisi agli elementi finiti dei componenti metallici hanno aumentato il livello di fattibilità del giunto e del braccio pieghevole confermando i risultati dei calcoli a mano e gli studi sugli sforzi fatti precedentemente. Un'attento processo di selezione dei materiali è stato condotto utilizzando i risultati ottenuti con il dimensionamento delle parti e con l'ausilio del software CES Edupack si sono vagliate e classificate tutte le ipotesi possibili fino ad arrivare alla scelta del materiale più idoneo. Lo studio sulle finiture superficiali ha consentito di arrivare a prestazioni eccellenti in materia di resistenza alla fiamma e alla corrosione, portando le parti metalliche ad essere a tutti gli effetti coerenti con le norme aeronautiche internazionali. Lo studio di fattibilità tecnica è proseguito di pari passo con la consultazione delle normative di qualificazione e certificazione riconosciute nella progettazione di sedili e interni aeronautici. Non sono mancati momenti di revisione con personale specializzato con una pluriennale esperienza in questo settore.

Dopo aver affrontato un tema progettuale impegnativo come questo non si può che uscirne più arricchiti e più consapevoli di cosa significa fare Design oggi. Speriamo che il lavoro presentato possa avere in un futuro non troppo lontano un proseguo di fattibilità reale o per lo meno possa servire a qualche altro progettista per dare una svolta concreta alla qualità della vita delle persone che abitualmente lavorano su questi velivoli.

Bibliografia

Monografie storiografiche

- Peter Almond, Aviation, Konemann, Koln, 1997
- Riccardo Niccoli, Il volo, 100 anni di aviazione, DeAgostini, Novara, 2004
- Giorgio Apostolo, Ali e motori in lombardia, Silvana Editoriale, Milano, 1995
- Sara Calabrò, Enrico Forlanini: La passione dell'invenzione, Telesma, Milano, 2004
- Anja Llorella Oriol, Luxury Toys, Teneues editore, New York, 2005
- The Hague Royal Library, Transport Pictures, Agile Rabbit Editions, Amsterdam, 1999
- Daniel P. Raymer, Aircraft Design: A conceptual Approach, J.S. Przemieniecki editor, Ohio, 1999
- Valter Rosa, I voli della ragione, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, 1990
- A.Bassi, M.Mulazzani, Le macchine volanti di Corradino D'Ascanio, Electa, Martellago (VA), 1999
- S. P. Desjardins, The evolution of energy absorption systems for crashworthy helicopter seats, Journal of the American Helicopter Society, Volume 51, Number 2, 1 April 2006 , pp. 150-163(14)
- Army Research and Technology Laboratories (U.S.). Applied Technology Laboratory, Simula Inc, Aircraft crash survival design guide, Volume 1, 1980 University of Michigan
- Dennis F. Shanahan, M.D., M.P.H., Human Tolerance and Crash Survivability
- Karen E. Jackson, Richard L. Boitnott, and Edwin L. Fasanella, Lisa E. Jones and Karen H. Lyle, A History of Full-Scale Aircraft and Rotorcraft Crash Testing and Simulation at NASA Langley Research Center, 2004

Papers e documenti tecnici

- AAVV, "Corrosion control in the aerospace industry", S.Benavides editor, Woodhead CRC, 2009
- Askeland, D.R., "The science and Engineering of Materials", Chapman and Hall, 1996
- Callister W.D., "Scienza e Ingegneria dei materiali. Una introduzione", Edises, 2008
- Campbell F.C., "Manufacturing Technology of Aerospace Structural Materials", Elsevier, 2006
- Flinn R.A., Troian P.K., "Engineering Materials and their Applications", J.Wiley and Sons, 1995
- Pedferri P., "Corrosione e Protezione dei materiali Metallici", Polipress, 2007
- G.Sala, L.Di Landro, A.Airoidi, P.Bettini, "Tecnologie e materiali aerospaziali", Dip.I. Aerospaziale, Milano

Sitografia

Interior references

<http://www.cessna.com/>
http://www.dassaultfalcon.com/index_static.jsp
<http://www.gulfstream.com/>
<http://www.rhoadesyong.com/people.aspx>
<http://www.royalhuisman.com/>
<http://www.andrew-winch-designs.co.uk/>
<http://www.nautorswan.com/>
<http://www.lazzarinipickering.com/>
<http://www.benettiyachts.it/it/>
<http://www.zucconinternationalproject.com/>
<http://www.sunseeker.com/>
<http://www.lurssen.com/>
<http://www.wally.com/>
<http://www.nasa.gov/centers/glenn/about/history/crashtst.html>

131

General references

AgustaWestland database
<http://www.agustawestland.com/>
<http://www.aerolite.ch/>
<http://www.airforcecenter.ch/>
<http://www.bellhelicopter.textron.com/>
<http://www.drf-luftrettung.de/>
<http://www.eurocopter.com/site/en/ref/home.html>
<http://www.norskluftambulanse.no/>
<http://www.rega.ch/>
<http://www.aero-mag.com/>
<http://www.mecaer.ca/>