

**Politecnico di Milano**  
**Facoltà del Design**  
**Laurea Specialistica “Progetto e Ingegnerizzazione del Prodotto Industriale”**

# **SPACE FIT**

**Allenamento e gioco per gli astronauti.**

**Sistema di Contromisure per l’allenamento preventivo degli astronauti.**

**Relatora Arch. Marita CANINA**

**Correlatore: Arch. Francesco TRABUCCO**

**Studente: Iván OLIVA**

**Matricola N.: 719877**

**Anno Accademico 2009/2010**



## INDICE

INTRODUZIONE .....	1
AMBITO DI RICERCA .....	3
1. Microgravità .....	9
1.1. Effetti della microgravità sugli esseri umani .....	10
1.1.1. Cinetosi, malattia del moto .....	11
1.1.2. Faccia gonfia e gambe di uccello .....	12
1.1.3. Anemia spaziale .....	13
1.1.4. Muscoli deboli .....	14
1.1.5. Ossa fragili .....	15
1.1.6. Sensazioni e percezioni .....	16
1.2. Problematiche scheletro-muscolari .....	17
1.2.1. Osteoporosi .....	19
1.2.2. Tono e capacità muscolare .....	23
2. I sistemi di contromisure .....	26
2.1. TVIS ( <i>Treadmill with Vibration Isolation System</i> ) .....	27
2.2. RED ( <i>Resistive Exercise Device</i> ) .....	31
2.3. CEVIS ( <i>Cyclo Ergometer Vibration Isolation System</i> ) .....	35
2.4. Attrezzi elastici per l'allenamento ( <i>Dyna-band®/Thera-band®</i> ) .....	37
2.5. VELO .....	38
2.6. Caricatori di forza .....	39
2.7. Espansori .....	39
2.8. Tuta Pinguino .....	40
2.9. Stimolatore Mioelettrico .....	41
2.10. CHIBIS ( <i>LBNP: Lower Body Negative Pressure</i> ) .....	41
2.11. ARED ( <i>Advanced Resistive Exercise Device</i> ) .....	42
2.12. FWED ( <i>Flywheel Exercise Device</i> ) .....	43
3. Allenamento e benessere nello spazio .....	45
3.1. La routine d'allenamento nell'ISS .....	45
3.2. La valutazione <i>fitness</i> dell'equipaggio .....	46
3.3. Condizioni di stress .....	47

3.4.	Uso del tempo nell'ISS .....	48
3.5.	Fitness .....	50
3.5.1.	Definizione del Fitness .....	50
3.5.2.	Fitness in assenza di gravità .....	51
4.	Anatomia del corpo e allenamento fisico .....	55
4.1.	I segmenti anatomici coinvolti .....	55
4.2.	Piani e assi del corpo .....	57
4.3.	Descrizione dei movimenti basici e specializzati .....	58
4.3.1.	Movimenti Basici .....	58
4.3.2.	Movimenti specializzati .....	61
4.4.	L'attività fisica e le ossa .....	63
4.5.	Azioni dei muscoli .....	64
4.5.1.	Azione Isometrica .....	64
4.5.2.	Azione Concentrica .....	65
4.5.3.	Azione Eccentrica .....	65
4.6.	Modalità di allenamento .....	66
4.6.1.	Esercizio Isometrico .....	66
4.6.2.	Esercizio Isotonico .....	67
4.6.3.	Esercizio Isocinetico .....	68
4.6.4.	Esercizio Cinetico di Catena Aperta e Chiusa .....	68
4.6.5.	Allenamento Funzionale .....	69
5.	L'attività ludica .....	71
5.1.	Origine e tipologia .....	71
5.2.	L'approccio filosofico .....	72
5.3.	L'approccio sociologico .....	72
5.4.	L'approccio psicologico .....	73
5.5.	L'evoluzione del gioco – Wii Fit .....	73
5.5.1.	Sensori di pressione .....	77
5.5.2.	Accelerometri e giroscopi .....	78
6.	Parametri per la progettazione spaziale .....	80
	DAL CONCEPT AL PROGETTO .....	82
7.	Definizione del problema .....	82
7.1.	Il concetto .....	83
7.2.	Idee .....	85

<b>8. Il progetto: Descrizione</b> .....	94
<b>8.1. Il dispositivo</b> .....	94
<b>8.2. I componenti</b> .....	96
<b>8.2.1. Bande elastiche</b> .....	96
<b>8.2.2. Cintura</b> .....	97
<b>8.2.3. Pedana di esercitazione</b> .....	104
<b>8.2.4. Nastro di aggancio</b> .....	106
<b>8.2.5. Alimentazione elettrica</b> .....	107
<b>8.2.6. Software e grafica</b> .....	107
<b>8.2.7. Variabili di esercitazione</b> .....	108
<b>8.3. Tecnologie</b> .....	109
<b>8.3.1. Prototipazione e manifattura rapida</b> .....	110
<b>8.3.1.1. Controllo Numerico Computerizzato - CNC</b> .....	110
<b>8.3.2. I processi di cucitura dei tessuti</b> .....	114
<b>8.4. Materiali</b> .....	115
<b>8.4.1. Le poliammidi per SLS</b> .....	115
<b>8.4.2. Leghe di Alluminio-Zinco</b> .....	116
<b>8.5. Conclusioni</b> .....	116
<b>Bibliografia</b> .....	118
<b>Linkografia</b> .....	121
<b>ALLEGATI</b> .....	122

## INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1. Longitudini di onda delle radiazioni della luce del sole. ....	4
Fig. 2. Le orbite artificiali intorno alla Terra viste dal polo nord. ....	5
Fig. 3. Le fasce di Van Allen. ....	6
Fig. 4. Astronauti dell'ISS. ....	7
Fig. 5. Componenti vettoriali della caduta perpetua. ....	9
Fig. 6. Alcune attività dell'allenamento degli astronauti. ....	11
Fig. 7. L'orecchio e gli organi vestibolari. ....	12
Fig. 8. A sinistra il gonfiore della faccia di un astronauta sull'ISS. ....	12
Fig. 9. Spostamento dei liquidi corporei in condizioni di microgravità. ....	13
Fig. 10. Il ciclo dell'Eritropoietina (Epo). ....	14
Fig. 11. I muscoli posturali e le posizioni neutre in gravità e in microgravità. ....	15
Fig. 12. Sezioni di ossa. A destra un campione con alta perdita ossea. ....	16
Fig. 13. Struttura interna dell'osso. ....	19
Fig. 14. Avanzamento dell'osteoporosi in uomini maturi. ....	20
Fig. 15. Astronauta in allenamento sul TVIS. ....	28
Fig. 16. Interazione di TVIS e la scheda elettronica personale dell'astronauta. ....	30
Fig. 17. RED in uso. ....	32
Fig. 18. RED in uso con accessori. ....	33
Fig. 19. Sessione di allenamento su CVIS. ....	35
Fig. 20. Uso del CVIS durante una valutazione medica di routine. ....	36
Fig. 21. Dyna-band®. ....	37
Fig. 22. Thera-band®. ....	37
Fig. 23. VELO usato come cicloergometro. ....	38
Fig. 24. Uso dei caricatori di forza con il CMS VELO. ....	39
Fig. 25. Espansori. ....	40
Fig. 26. La tuta pinguino. ....	40
Fig. 27. Stimolatore mioelettrico. ....	41
Fig. 28. CHIBIS. ....	42
Fig. 29. ARED. ....	43
Fig. 30. Collaudo del FWED sull'ISS. ....	44

Fig. 31. Valutazione VO2 a bordo dell'ISS. ....	46
Fig. 32. Equipaggio dell'ISS a pranzo. ....	47
Fig. 33. Astronauti che dormono nell'ISS. ....	50
Fig. 34. Yoga anti-gravità. ....	53
Fig. 35. Jukari, fitness acrobatico. ....	53
Fig. 36. Sistema TRX. ....	54
Fig. 37. Riferimenti anatomici. ....	56
Fig. 38. Piani e assi anatomici. ....	58
Fig. 39. Movimenti basilci: Flessione ed estensione. ....	59
Fig. 40. Movimenti basilci: Abduzione e adduzione. ....	60
Fig. 41. Movimenti basilci: Rotazioni. ....	60
Fig. 42. Alcuni movimenti specializzati. ....	61
Fig. 43. Azioni dei muscoli. ....	65
Fig. 44. Esercizio isometrico. ....	66
Fig. 45. Esercizio isotnico. ....	67
Fig. 46. Esercizio isocinetico. ....	68
Fig. 47. Esercizio cinetico a catena aperta. ....	69
Fig. 48. Esercizio cinetico a catena chiusa. ....	69
Fig. 49. Esercizio di allenamento integrale. ....	70
Fig. 50. Wii-Fit® Interazione generale. ....	74
Fig. 51. Wii-Board® e i suoi sensori di pressione. ....	75
Fig. 52. Composizione interna del telecomando Wii-Mote. ....	75
Fig. 53. Passaggi del menu di Wii Fit Plus. ....	76
Fig. 54. Funzionamento di un <i>estensimetro</i> . ....	77
Fig. 55. Visualizzazione dello spostamento del baricentro in Wii-Fit. ....	78
Fig. 56. Il corpo diventa un <i>Joystick</i> in Wii-Fit. ....	78
Fig. 57. Giroscopio in dettaglio. ....	79
Fig. 58. Assi di rotazione dei giroscopi. ....	79
Fig. 59. Postura neutrale in microgravità. ....	83
Fig. 60. Baricentro e poligono di sustentazione. ....	84
Fig. 61. Accessorio Kinect per la console XBOX 360. ....	85
Fig. 62. Lo spostamento del baricentro è l'input nei giochi con la Wii-Board. ....	86
Fig. 63. Disegni iniziali per l'imbracatura di elastici. ....	86
Fig. 64. Disegni di accessori. ....	87

Fig. 65. Disegni per l'imbracatura di aggancio. ....	87
Fig. 66. Disegni di studio per la fascia elastica. ....	89
Fig. 67. Sketch. Concept semplificato con un solo elemento elastico. ....	89
Fig. 68. Manipolazione della fascia elastica.....	90
Fig. 69. Disegni di progettazione per la cintura. ....	90
Fig. 70. Componenti concettuali della pedana. ....	92
Fig. 71. Concept definitivo. ....	93
Fig. 72. Dispositivo di accelerazione lineare per la misurazione della massa corporea, sull'ISS. ....	96
Fig. 73. Thera-Band in rotoli. ....	96
Fig. 74. Dettaglio della cintura indossata. ....	98
Fig. 75. Identificazione dei perimetri del corpo (NASA). ....	98
Fig. 76. Cintura Space Fit. ....	99
Fig. 77. Cricchetto. ....	99
Fig. 78. Progettazione della cintura. ....	100
Fig. 79. Corpo lombare della cintura. ....	100
Fig. 80. Imbottitura. ....	101
Fig. 81. Gel in foglio. ....	102
Fig. 82. Cricchetto: Particolari. ....	102
Fig. 83. Anello posteriore. ....	103
Fig. 84. Gancio laterale. ....	104
Fig. 85. Pedana. ....	105
Fig. 86. Meccanismo "Quick Release" ....	106
Fig. 87. Velcro. ....	106
Fig. 88. Moschettone e gancio a occhio. ....	107
Fig. 89. Immagini di videogiochi. Basso e alto rendimento. ....	107
Fig. 90. Mobilità sulla pedana ....	108
Fig. 91. Interazione con la fascia elastica. ....	109
Fig. 92. Processo CNC ....	110
Fig. 93. Colata in sabbia: Modello, stampo, colata, estrazione, pezzo finito. ....	112
Fig. 94. Processo di colata a cera persa. ....	113
Fig. 95. Schema di una macchina SLS. ....	114
Fig. 96. Prototipo SLS di alta complessità. ....	114
Fig. 97. Macchina di cucitura industriale. ....	115



## **INDICE DELLE TAVOLE**

- 1. Assieme generale**
- 2. Gruppo cintura**
- 3. Struttura della cintura**
- 4. Gruppo cricchetto**
- 5. Scocca interna**
- 6. Scocca esterna**
- 7. Componenti del cricchetto**
- 8. Gruppo pedana**
- 9. Componenti del blocco**
- 10. Telaio pedana**
- 11. Superficie pedana**
- 12. Modelli in carta**



## INTRODUZIONE

Lo sviluppo di una tesi di laurea ha come scopo la valutazione dell'insieme di conoscenze acquisite durante gli anni di formazione. Da una laurea specialistica ci si aspetta che, sia la formazione precedente, sia quella più "approfondita", abbiano una coerenza formativa e cognitiva applicata a uno scenario più specifico.

Detto scenario però, va scelto anche secondo le aspettative del laureando; diventa quindi più specifico anche l'ambito in cui si cerca di agire professionalmente, senza dimenticare che la tesi ha come scopo anche dimostrare che il laureando è capace di applicare in maniera adeguata le conoscenze acquisite e di vincolarle alle capacità preesistenti.

Alla Laurea Specialistica di Ingegnerizzazione del Prodotto Industriale, detta anche *Design & Engineering*, si presentano Ingegneri e Designer allo scopo di approfondire le conoscenze dell'Industria come *FACTUM* e non come *CONCETTO*, sebbene quest'ultimo sia comunque onnipresente nelle considerazioni fatte sul progetto. Alla fine, sia designer che ingegneri si trovano a parlare un linguaggio comune, che fa sì che la comunicazione tra progettisti e produttori sia efficiente.

Questo progetto di tesi mette alla prova le conoscenze acquisite con la laurea quinquennale di *Industrial Design* all'*Universidad Nacional de Colombia*, e applica quelle acquisite nella *Laurea Specialistica in Design & Engineering* al Politecnico di Milano.

Il tema dell'Esplorazione Spaziale è stato sempre un interesse personale, e quindi l'opportunità di fare questo progetto è già un traguardo, e sebbene sia un tema molto ampio, il progetto proposto è molto definito e l'investigazione ha permesso di restringere ancora di più il campo di lavoro. La collaborazione di persone che

hanno lavorato e lavorano nelle aree competenti al progetto è stata anche molto utile nel delimitare l'ambito di ricerca ed evitare delle investigazioni approfondite in aree che potevano condurre a una confusione tematica. Esse vanno in un certo senso trascurate, ma opportunamente referenziate.

### **Ambito di progetto**

Inizialmente la proposta di tesi s'identificava come Tuta per le contromisure spaziali, ma questo nome è fin troppo ampio. In un ambito del genere si possono trattare molti argomenti, ma se l'ambito viene definito chiaramente, esso diventa specifico. In questo caso parleremmo di un Sistema di Contromisure Spaziali (CMS) per le problematiche fisiche che colpiscono gli astronauti nel loro ambito protetto, sia esso una stazione orbitante, una base planetaria oppure un veicolo spaziale. In particolare si parlerà dell'osteoporosi e della perdita di tono muscolare.

Già questa definizione, se pur ancora vagamente, limita la vastità di temi del progetto. Bisogna però capire che cosa cerca di fare un sistema di contromisure spaziali, e quindi capire le problematiche cui gli astronauti sono esposti. Vengono anche analizzate alcune equivalenze progettuali TERRA-SPAZIO e viceversa, per avere degli esempi approssimativi delle TERAPIE o PROGRAMMI D'ALLENAMENTO messi in pratica negli ambiti esistenti, ma in questo caso l'unico esempio comparativo nell'ambito dello SPAZIO è la Stazione Spaziale Internazionale (ISS).

È necessario evidenziare l'approccio progettuale con cui si è lavorato a questa tesi, che è poi la differenza sostanziale con gli approcci precedenti per la progettazione di CMS. Questa tesi cerca di VINCOLARE una componente LUDICA a un sistema di PREVENZIONE vitale per l'astronauta, considerando la visione futura dell'esplorazione spaziale ma applicabile anche alle condizioni esistenti. È quindi necessario vedere degli esempi di applicazioni di tipo LUDICO-PREVENTIVO orientati all'ALLENAMENTO E il CONDIZIONAMENTO FISICO al fine di stabilire le risorse esistenti e valide per l'integrazione a un sistema CMS.

## AMBITO DI RICERCA

*“Man is an artifact designed for space travel. He is not designed to remain in his present biologic state any more than a tadpole is designed to remain a tadpole”.*  
William S. Burroughs

L' esplorazione spaziale è senza dubbio un tema affascinante, ed è sicuramente tra le materie più complesse della conoscenza umana, o meglio, le conoscenze più avanzate s'incrociano, s'incontrano, si aiutano e si stimolano tra di loro nell'evoluzione tecnologica che porta avanti la specie umana nel viaggio verso le stelle.

Tutto questo insieme di conoscenze ha come scopo “ultimo” il garantire l'assoluta efficienza ed efficacia delle missioni spaziali, con equipaggio umano o meno, in un luogo molto ostile e a volte imprevedibile come lo spazio.

Lo spazio è, in una parola, ostile; ci sono molte condizioni che fanno di esso il luogo meno adatto per la razza umana, e per qualsiasi organismo vivente a noi conosciuto. La terra è però concettualmente un'ottima astronave che ci protegge da quest'ambito ostile. Quali sono le caratteristiche che lo rendono tale?

Queste caratteristiche sono numerose, e approfondirle tutte non è necessario agli scopi di questa tesi. I fattori ambientali come il vuoto, le atmosfere non ionizzate, i micrometeoriti e i residui orbitali, il plasma e la radiazione prodotta da particelle con carica energetica diversa dotate di un alto grado di penetrazione molecolare a causa della loro lunghezza d'onda (molto piccola) e della loro velocità: sono tutti fattori che sebbene potenzialmente pericolosi per gli esseri umani, influiscono principalmente nella progettazione delle astronavi al fine di garantire la sopravvivenza degli astronauti; nel caso di un'esposizione diretta di un essere umano a tali condizioni le probabilità di sopravvivere per un periodo superiore a un minuto sono ben poche. Agli scopi di questa tesi occorre chiarire altre

caratteristiche.

Lo spazio è innanzitutto vuoto, e ciò vuol dire che non c'è pressione atmosferica, il che fa sì che tutti i fluidi della superficie corporea evaporino; tale fenomeno include la saliva presente sulla lingua e i fluidi oculari, e avviene nel volgere dei primi trenta secondi; a questo seguirebbe la rottura delle membrane timpaniche poiché la pressione corporea cerca di compensare la mancanza di pressione esterna.

Comunque sicuramente prima di arrivare ai quindici secondi la persona sviene. A seconda del fatto che ci sia o meno aria nei polmoni, può capitare che essi esplodano (se c'è aria), oppure che si evitino danni permanenti. Al contrario di quello che si pensa, il corpo nello spazio non esplose, ma la pressione nelle vene sale fino al punto in cui il cuore non riesce a pompare il sangue<sup>1</sup>.

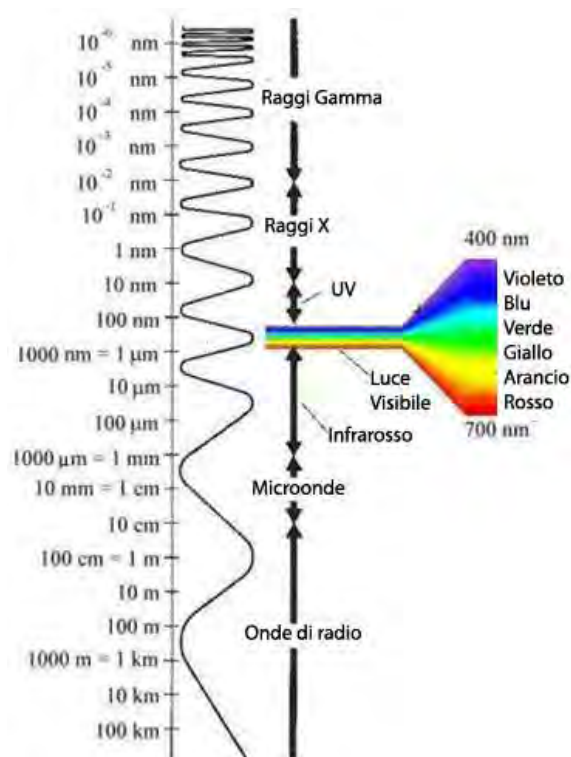


Fig. 1. Lunghezze di onda delle radiazioni della luce del sole.

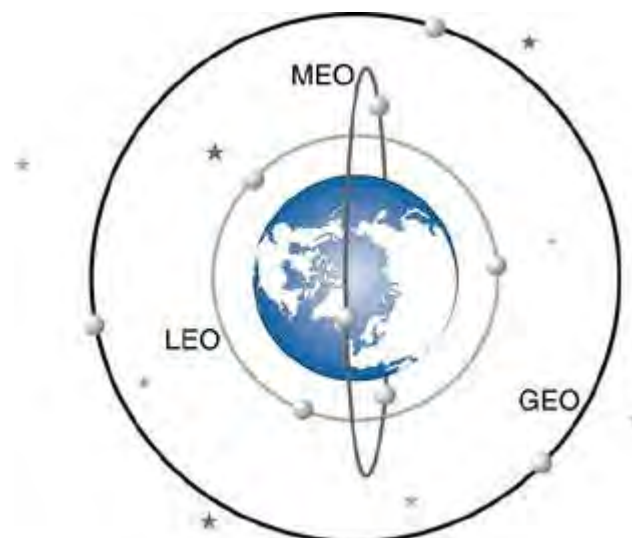
Oltre alla mancanza di pressione atmosferica, nello spazio non c'è atmosfera che protegga dalle radiazioni UV. L'atmosfera terrestre riesce ad assorbire la luce

<sup>1</sup> Sebbene non ci siano molte esperienze di esposizione diretta al vuoto spaziale, gli scienziati sono d'accordo sul fatto che essa sarebbe molto meno drammatica rispetto all'immaginario che proviene dai film di fantascienza dove i corpi esplodono o si congelano in pochi secondi.

[http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/ask\\_astro/answers/970603.html](http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/ask_astro/answers/970603.html)

solare con lunghezze d'onda inferiori a 0,3 micron, e quindi tale radiazione non arriva. Nel vuoto dello spazio i raggi UV, oltre ad altri spettri d'onda, sono molto nocivi per gli esseri umani e per qualsiasi organismo terrestre, e causano il deterioramento degli organi, della pelle e degli occhi. Gli altri spettri di radiazione possono compromettere le funzioni vitali degli organismi a livello molecolare.

La maggior parte di queste condizioni è contrastata da veicoli, stazioni o simili. Queste strutture, che devono fornire una protezione agli astronauti, generano anche contaminazione spaziale in due forme. La prima riguarda i processi elettrostatici che favoriscono il deposito delle particelle presenti nello spazio sulle superfici interne ed esterne (di particolare importanza è il deposito che avviene sugli impianti ottici); poi c'è la contaminazione molecolare che è invece prodotta dall'ebollizione delle sostanze volatili presenti nei materiali, il che accade per l'esposizione di tali materiali al vuoto. Queste molecole possono generare vapori pericolosi e odori molto forti.



**Fig. 2. Le orbite artificiali intorno alla Terra viste dal polo nord.**

Sebbene lo spazio siderale sia vuoto, l'ISS si trova in un'orbita terrestre bassa, chiamata anche LEO (*Low Earth Orbit*)<sup>2</sup>, un'orbita circolare di altitudine compresa

<sup>2</sup> LEO (Low Earth Orbit) tra i 160 e i 2000 chilometri dalla superficie, MEO (Medium Earth Orbit) tra il limite superiore di LEO e GEO (Geostationary Earth Orbit), che si trova a circa 36000 chilometri.

tra l'atmosfera e le fasce di Van Allen<sup>3</sup>, specificamente l'ISS si trova tra i 362 e i 475 chilometri. A quest'altitudine è esposta a molti dei pericoli dello spazio, ma protetta da radiazioni severe che possono danneggiare l'apparecchiatura di bordo; inoltre l'atmosfera è molto sottile ma ci sono comunque particelle che possono rallentare l'ISS, e che se non contrastate da un impulso, provocherebbero lo schianto della stazione sulla superficie terrestre.

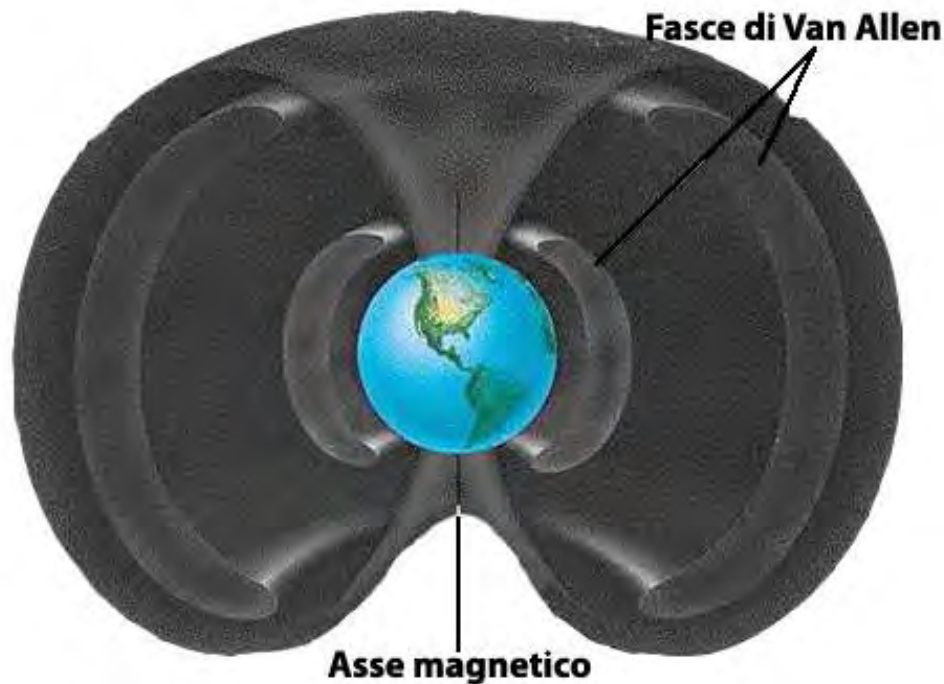


Fig. 3. Le fasce di Van Allen.

La frizione di tali particelle può anche generare fenomeni elettrochimici che danneggiano i materiali, oltre a eventi di arco elettrico che possono fondere i materiali, danneggiando gravemente i sistemi a bordo. Infine ci sono i micrometeoriti e i residui orbitali che impattando ad alta velocità possono danneggiare la struttura<sup>4</sup>.

Sono state descritte finora le condizioni “esterne” dello spazio; le missioni spaziali prevedono, infatti, l’esposizione dell’equipaggio per brevi periodi a tali condizioni durante le Passeggiate Spaziali, conosciute nello specifico come EVA (*Extra*

<sup>3</sup> Le fasce di Van Allen sono nuvole di particelle cariche (plasma), trattenute dal campo magnetico terrestre, che formano cumuli toroidali intorno alla Terra.

<sup>4</sup> Alan C. Tribble, *The Space Environment – Hazards and Effects*, in *Human Spaceflight: Mission analysis and design*, a cura di Wiley J. Larson, cap. 3, MacGraw Hill Companies, 1999.



*Vehicular Activity*). Gli astronauti vanno all'esterno attrezzati con tute spaziali progettate per resistere a tutte quelle condizioni.

Gli astronauti trascorrono la maggior parte del tempo all'interno dell'ISS, dove sono protetti dalla struttura, che, oltre a compiere la funzione di barriera contro gli elementi esterni, è un generatore e riciclatore di aria respirabile e di acqua, e garantisce una pressione atmosferica molto simile a quella sulla Terra.

La condizione più particolare cui sono esposti gli astronauti è la *microgravità*, ed è quella che influisce di più sugli organismi viventi all'interno di un veicolo spaziale. Essa non solo influisce sul metabolismo degli astronauti ma anche sul loro rendimento fisico. Sebbene il metabolismo possa ritornare alla normalità, ci sono delle conseguenze che possono comportare danni irreversibili, e che sommate al decondizionamento fisico, rappresentano un rischio molto elevato. I sistemi motori e strutturali (muscoli e ossa) possono perdere funzionalità al ritorno sulla terra, o in qualunque momento siano richiesti degli sforzi, come nelle passeggiate spaziali nello spazio o sulla superficie di un pianeta o di un satellite.



**Fig. 4. Astronauti dell'ISS.**

Le missioni future di esplorazione planetaria prevedono EVA più prolungate, ma saranno anche più lunghe le missioni stesse, e il tempo che l'equipaggio trascorrerà

in condizioni di gravità zero.

## 1. Microgravità

Come detto in precedenza, un insieme di molteplici variabili condiziona la progettazione dei veicoli, però non tutte influenzano lo sviluppo di questa tesi. L'interesse principale di questa tesi è la condizione di microgravità, che risulta dal fatto di essere lontani dal corpo celeste che la genera. C'è però da chiarire che nel caso dei veicoli orbitanti intorno alla Terra la microgravità non è del tutto prodotta da tale distanza, bensì dalla riduzione della gravità, a cui si somma l'alta velocità a cui il veicolo viaggia.

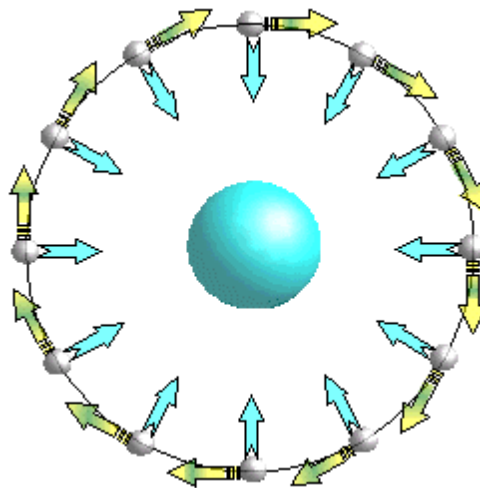


Fig. 5. Componenti vettoriali della caduta perpetua.

Nell'orbita terrestre dove l'ISS si trova ci sono particelle atmosferiche, ma il vuoto spaziale riduce molto la frizione, e a quell'altitudine la gravità non è assente ma ridotta; al fine di prevenire lo schianto contro l'atmosfera s'imprime all'ISS una velocità molto alta che contrasta la gravità, ma nel limite in cui la forza risultante non superi quella della gravità stesa in modo tale che l'ISS sia ancora "vincolata" alla terra. Come risultato la stazione si mantiene in orbita a una velocità costante di oltre ventisette mila chilometri l'ora. Il fenomeno della microgravità è quindi il risultato di questo moto conosciuto come "caduta libera continua", che può essere provato per pochi istanti sulle montagne russe o altre attrazioni dei parchi giochi che prevedono discese ripide e molto veloci.

All'interno dell'ISS la microgravità fa sì che gli oggetti a bordo fluttuino, e anche gli esseri umani; la microgravità però ha effetti che vanno ben oltre il solo fatto di fluttuare, e tali effetti sono l'elemento più importante per lo sviluppo di questo progetto.

La microgravità sarà una costante delle missioni future, sia per lontananza dai corpi celesti, sia per il moto orbitante intorno a essi. Inoltre, nelle missioni che intendono atterrare sui pianeti, sarà necessario considerare la condizione particolare di ogni corpo celeste, cioè la sua gravità particolare che potrà essere maggiore o minore di quella terrestre.

Le informazioni disponibili per consultazione riguardano principalmente le condizioni di microgravità in abitacoli orbitanti intorno alla terra come la MIR<sup>5</sup> e l'ISS, e c'è un costante aggiornamento man mano che si hanno delle conclusioni sui continui esperimenti<sup>6</sup>. Riguardo ai viaggi verso corpi celesti con equipaggio le informazioni sono meno estese e riguardano, quasi tutte, dati ottenuti dalle missioni lunari Apollo. Dette missioni furono portate avanti con meno conoscenze, e molte domande non si affacciavano ancora alla mente degli scienziati e dei progettisti. Ancora oggi ci sono molte domande, e si continua a lavorare estrapolando dati dalle missioni precedenti e sperimentando per ottenere risposte che permettano di garantire una progettazione sicura per l'esplorazione dello spazio.

### **1.1. Effetti della microgravità sugli esseri umani**

Gli astronauti che arrivano sulla stazione spaziale subiscono svariati cambiamenti ambientali cui si devono adeguare. Il loro allenamento prevede l'esposizione a tali cambiamenti ambientali, e quindi, sebbene siano condizioni molto particolari, essi sono preparati per affrontarle e lavorare al meglio delle loro capacità<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> La MIR è stata la prima stazione di ricerca orbitante costruita tra il 1986 e il 1996 dal governo Sovietico/Russo. Nel 2001 è stata disattivata e deviata d'orbita, e si è distrutta nel rientro sull'Oceano Pacifico.

<sup>6</sup> La NASA-STD-3000, Man-Systems Integration Standard, <http://msis.jsc.nasa.gov/>, la norma standard di progettazione per tutto quello che riguarda gli esseri umani all'interno dei veicoli spaziali. La nuova NASA-STD-3001 rimpiazzerà questo documento, che rimarrà come documento di consultazione.

Il futuro immediato dell' esplorazione spaziale non prevede ancora equipaggio civile non allenato adeguatamente, poiché le missioni hanno finalità scientifiche molto esigenti. Gli astronauti sono sottoposti a un allenamento molto impegnativo per garantire che essi possano dare il cento per cento durante la missione. Il futuro della colonizzazione spaziale prevede il viaggio di molte persone, che però dovranno comunque allenarsi per affrontare diverse condizioni, e sicuramente la pianificazione di quelle missioni prevedrà il loro allenamento.



**Fig. 6. Alcune attività dell'allenamento degli astronauti.**

La microgravità ha diversi effetti sul corpo umano; ad alcuni di essi il corpo è capace di reagire e quindi contrastarne gli effetti negativi. Altri effetti invece sono permanenti.

### **1.1.1. Cinetosi, malattia del moto**

La cinetosi è il risultato della condizione di caduta libera costante che inizialmente genera vertigini, nausea e vomito; gli occhi possono dare riferimenti di posizione, ma gli organi vestibolari dell'orecchio interno non riescono a individuare il senso di alto e basso<sup>8</sup>. Questo conflitto d'informazione confonde il cervello, il quale deve imparare a fidarsi soltanto di quello che gli dicono gli occhi. Inoltre gli astronauti sono forniti di cerotti medicinali che aiutano a controllare la nausea e prevenire il vomito.

<sup>7</sup> NASA-STD-3001, vol. 1, *Crew Health*, sez. 4.4.1. *Training Section*, pp 22-23, NASA.

<sup>8</sup> NASA-STD-3000, vol. 1, cap. 4, *Human Performance Capabilities*, sez. 4.5, *Vestibular System*, NASA.

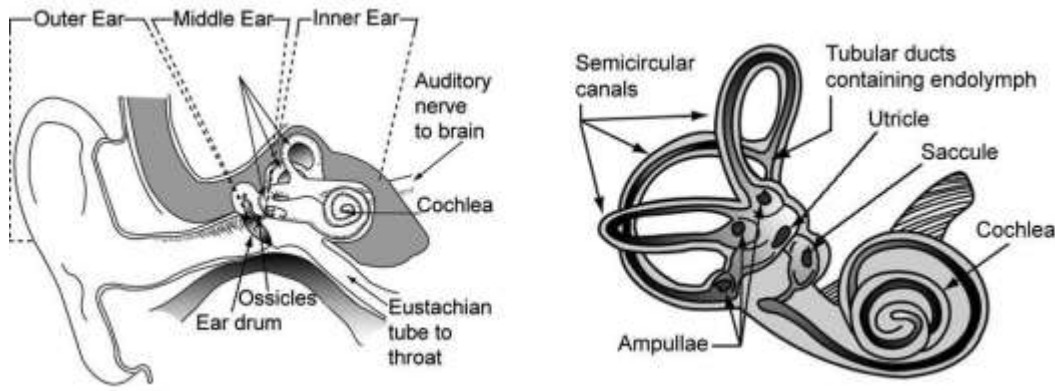


Fig. 7. L'orecchio e gli organi vestibolari.

Dopo alcuni giorni l'astronauta si è abituato alla sua nuova situazione, e in genere non ci sono particolari problemi per lavorare. Tornato in condizioni di gravità il cervello ha bisogno di alcuni giorni per ritornare a lavorare con gli organi vestibolari e permettere al funzionamento di ritornare alla normalità.

### 1.1.2. Faccia gonfia e gambe di uccello<sup>9</sup>

La microgravità fa sì che i liquidi corporei che in genere sono attratti verso il basso e le estremità, si accumulino nel petto e nella testa. Questo può favorire il mal di testa, e anche incrementare i sintomi della cinetosi. I seni paranasali gonfiati generano una sensazione di congestione nasale simile al raffreddore, causando anche una distorsione della voce e un'alterazione della percezione dei sapori.



Fig. 8. A sinistra il gonfiore della faccia di un astronauta sull'ISS.

Essendoci più sangue nel petto il cuore ne pompa una più elevata quantità. I reni rispondono a questo aumento producendo più urina. L'incremento del flusso del sangue e dei fluidi corporali fa sì che la ghiandola pituitaria riduca la produzione di vasopressina (*Antidiuretic Hormone/ADH*) e quindi gli astronauti hanno meno sete.

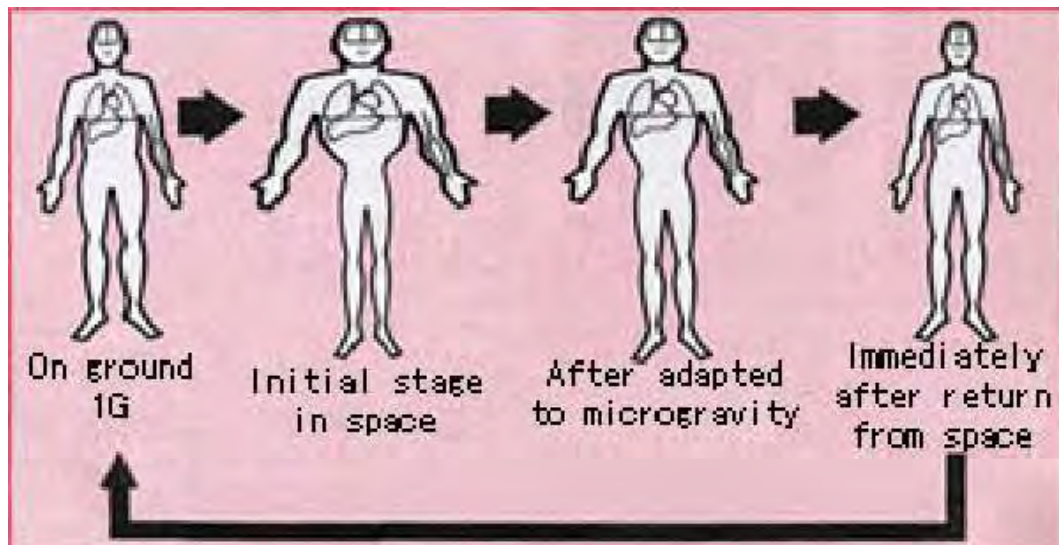


Fig. 9. Spostamento dei liquidi corporei in condizioni di microgravità.

Questi due cambiamenti di metabolismo aiutano l'adattamento degli astronauti, e sebbene la faccia sia ancora gonfia e le gambe più sottili, il metabolismo dei liquidi si regola entro un paio di giorni. Una volta tornati sulla terra l'organismo si riadatta alle condizioni di gravità, e dopo un'adeguata idratazione, il flusso e il volume vengono recuperati.

### 1.1.3. Anemia spaziale

Questa condizione è direttamente collegata al cambiamento nel metabolismo dei liquidi corporei. Man mano che i reni smaltiscono "l'eccesso" di liquidi nel corpo, si riduce anche la produzione d'eritropoietina, che è l'ormone che stimola la produzione di globuli rossi nel midollo osseo. La riduzione di globuli rossi stimola una diminuzione del plasma, così che l'ematocrito (valore percentuale del volume di globuli rossi contenuti nel sangue) mantenga il valore che aveva sulla Terra. Al rientro la produzione d'eritropoietina aumenta, ristabilendo i valori nel flusso sanguigno.

<sup>9</sup> <http://science.howstuffworks.com/weightlessness2.htm>

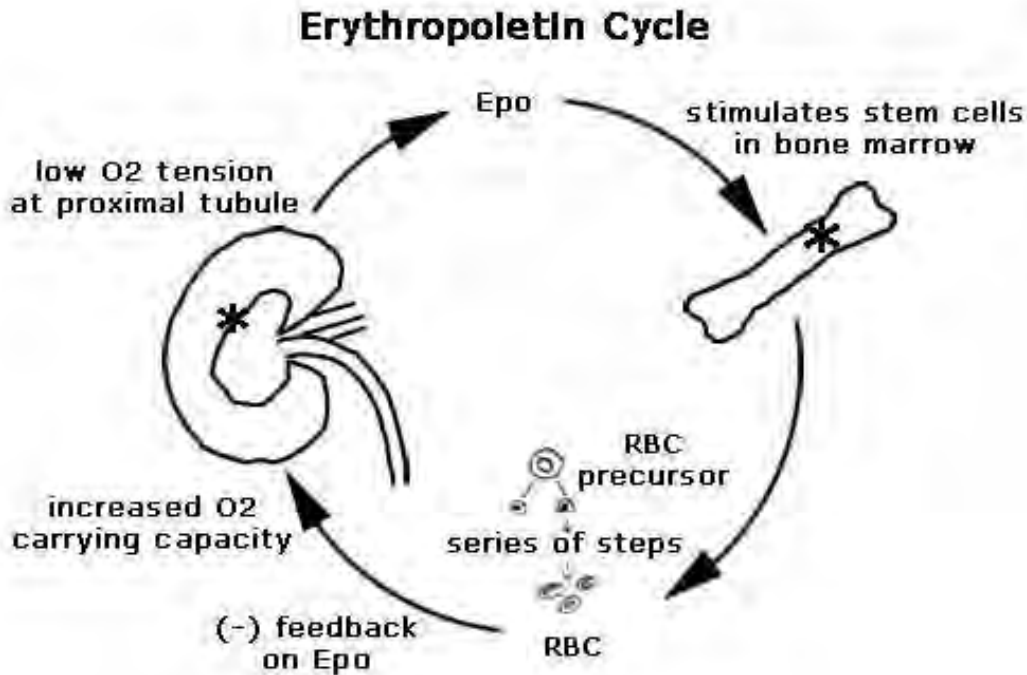


Fig. 10. Il ciclo dell'Eritropoietina (Epo).

#### 1.1.4. Muscoli deboli

In assenza di gravità il corpo umano tende ad assumere una posizione fetale, nota anche come postura corporea neutrale<sup>10</sup>, in particolare perché i muscoli posturali, detti anche antigravitazionali, non essendo stimolati, si rilassano. Se la permanenza nelle condizioni di microgravità si prolunga i muscoli cominciano a perdere volume, e inoltre c'è un cambiamento del tipo di fibra muscolare in alcuni di essi, in particolare quelli posturali, da *contrazione lenta* a *contrazione rapida*.

Questo cambiamento avviene per l'assenza di sforzi strutturali, e i muscoli coinvolti vengono quindi usati per spostamenti corporali e non per correzioni posturali.

Al ritorno sulla Terra questo cambiamento diventa un problema serio, poiché i muscoli strutturali, cambiando il tipo di fibra, consumano più energia, e come

<sup>10</sup> Barbara Woolford e Robert L. Bond, *Human Factors of Crewed Spaceflight*, in *Human Spaceflight: Mission analysis and design*, a cura di Wiley J. Larson, cap. 6, MacGraw Hill Companies, 1999, pp. 146-147.



conseguenza è più faticoso mantenere una postura. Il tempo di recupero è alto, e questa è una delle ragioni per cui gli astronauti devono compiere sessioni di allenamento fisico molto rigorose.

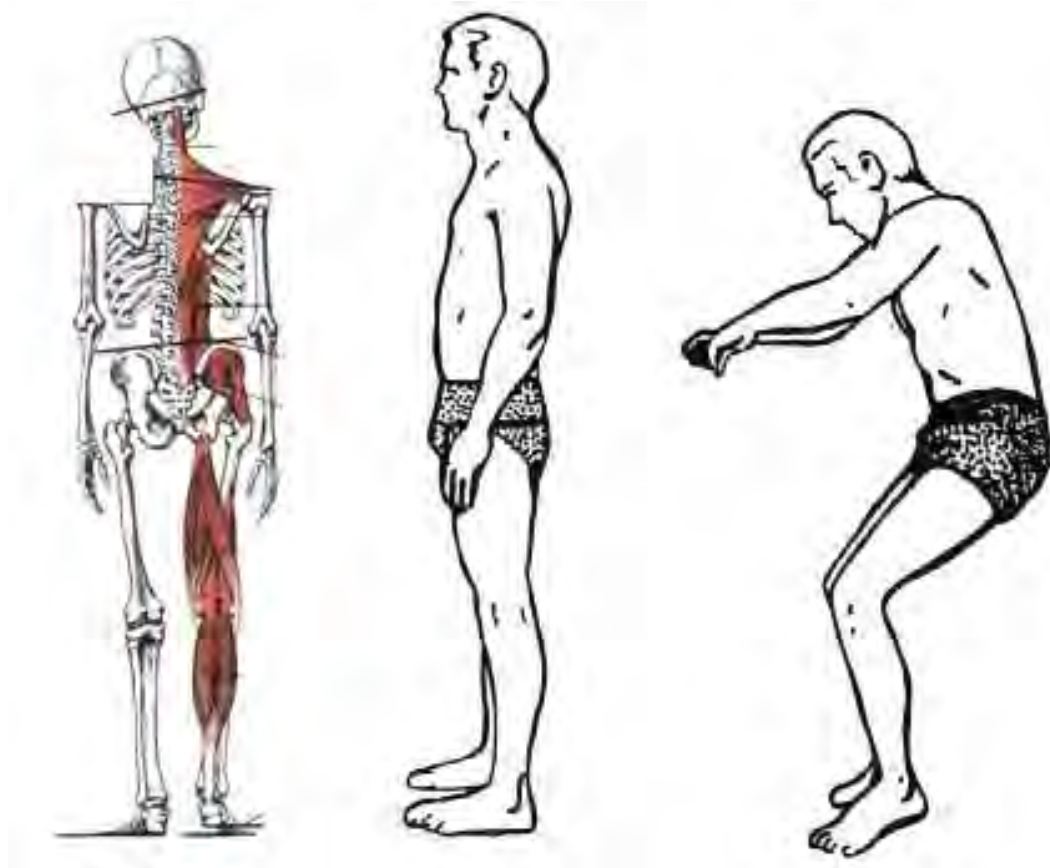


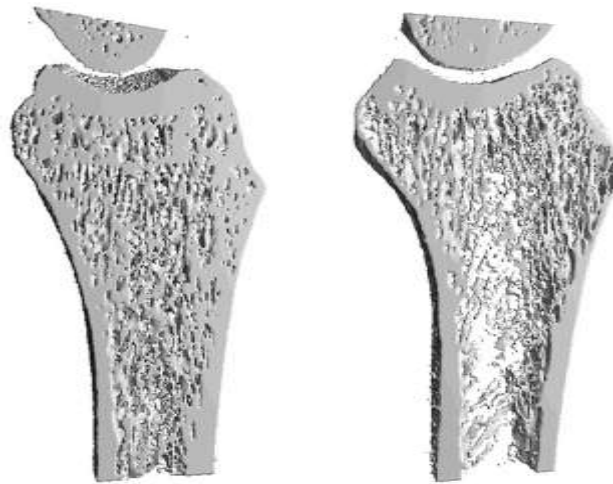
Fig. 11. I muscoli posturali e le posizioni neutre in gravità e in microgravità.

### 1.1.5. Ossa fragili

Sulla superficie terrestre le ossa supportano il peso del corpo umano; la loro dimensione e la loro massa rimangono in equilibrio grazie al lavoro degli osteoblasti che generano nuovi strati di minerali, e degli osteoclasti che smaltiscono questi strati. In microgravità le ossa non devono supportare il peso del corpo, e ciò avviene in particolare per le ossa che supportano il peso nelle zone dei fianchi, delle cosce e della schiena. In queste ossa il tasso di deposito di strati minerali diminuisce, mentre il tasso di assorbimento rimane lo stesso. Come risultato, la dimensione e la massa di tali ossa continua a ridursi, finché si rimane in microgravità, a un tasso di

circa uno per cento (1%) al mese<sup>11</sup>. Il tutto fa sì che le ossa diventino fragili, aumentando il rischio di frattura al ritorno sulla Terra e alle sue condizioni di gravità.

Un'altra complicazione prodotta dal tasso superiore d'assorbimento di minerali nelle ossa è che il livello di calcio nel sangue aumenta, e sono i reni che devono disfarsi di questo eccesso, per cui essi sono più suscettibili alla generazione di calcoli renali.



**Fig. 12. Sezioni di ossa.** A destra un campione con alta perdita ossea.

#### 1.1.6. Sensazioni e percezioni<sup>12</sup>

Lo spostamento dei liquidi nel corpo ha anche effetti svariati ad altri livelli. Prima di tutto c'è un'alterazione del gusto e dell'olfatto, attribuita in genere al rigonfiamento della faccia e in particolare dei seni paranasali. Tale fenomeno viene in genere descritto come un cambiamento simile a quello di quando si ha l'influenza: i sapori vengono percepiti in forma molto ridotta. Cibi che sulla Terra vengono indicati come "molto saporiti", nell'ISS vengono percepiti come "insipidi".

Lo spostamento dei liquidi nel corpo genera anche un cambiamento dei volumi

<sup>11</sup> Dato riportato da diversi documenti e fonti, tra cui NASA, NSBRI (*National Space Biomedical Research Institute*), ESA (*European Space Agency*) e altre organizzazioni.

delle estremità corporee, il che sommato all'assenza di sforzi gravitazionali fa sì che si abbia una propriocezione corporea molto diversa. Questo comporta una difficoltà nel calcolo degli sforzi necessari al movimento e alla coordinazione. In microgravità si presenta anche un aumento della statura, al incirca del 3%, il che ulteriormente altera la propriocezione del corpo.

I cambiamenti nelle percezioni degli astronauti sono comunque reversibili, e l'allenamento adeguato fa sì che gli astronauti si abituino a essi in tempi brevi. L'aumento della statura è permanente ma variabile a seconda del periodo trascorso in microgravità: più tempo si sta nello spazio, minore sarà il recupero dell'allungamento del corpo.

## **1.2. Problematiche scheletro-muscolari**

Questo progetto si concentra sulle problematiche fisiche che hanno a che vedere con il sistema muscolare e osseo, quelle che non sono di adattamento temporale, ma di cambio funzionale e metabolico con conseguenze importanti al rientro nell'atmosfera, o nel caso si scenda su un altro pianeta o satellite naturale.

Si presenta anche un decondizionamento dello stato fisico, collegato alla riduzione del sangue in circolazione e quindi una riduzione dell'ossigenazione dei muscoli. Il tutto conduce a un incremento della fatica.

In microgravità questo decondizionamento non è particolarmente rilevabile, e i controlli medici periodici hanno come scopo, tra le altre cose, di rilevare i valori dei globuli rossi e bianchi, e di valutare l'ossigenazione. Inoltre si valuta la riduzione del tono muscolare. La valutazione della perdita di tessuto osseo è fatta con un'apparecchiatura a ultrasuoni<sup>13</sup>.

La microgravità influisce sul metabolismo delle ossa. L'equilibrio produzione-assorbimento di tessuto osseo si spezza, essendo minore la produzione

---

<sup>12</sup> B. Woolford e R. L. Bond, *Human Factors of Crewed Spaceflight*, in *Human Spaceflight: Mission analysis and design*, cit., pp. 144-145.

<sup>13</sup> Trato da: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/science/experiments/Facility\\_Cat.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/science/experiments/Facility_Cat.html).

rispetto all'assorbimento, e di conseguenza aumenta la sua fragilità, principalmente nei segmenti scheletrici delle gambe, nel bacino e nella colonna vertebrale<sup>14</sup>. L'assenza di gravità elimina tra l'altro gli sforzi che richiedono l'azione dei muscoli chiamati Posturali o Antigravitari.

Nell'uomo i principali muscoli antigravitari sono rappresentati dai muscoli estensori degli arti inferiori, dai muscoli della nuca e del dorso. Per l'evoluzione che ha permesso l'acquisizione della postura eretta, le funzioni antigravitarie degli arti superiori sono state invece assunte dai muscoli flessori<sup>15</sup>.

I muscoli antigravitari sono per molti sensi controllati in forma inconscia, secondo le percezioni integrali dei sistemi che avvertono l'orientamento del corpo umano nello spazio. Questi muscoli comunque sono volontari, collegati al sistema nervoso periferico somatico e quindi controllabili in forma conscia. In microgravità la loro funzione di mantenere l'equilibrio del corpo viene meno, non vengono cioè tenuti in esercizio perché non è richiesto loro di farlo, e questo conduce a un atrofizzamento muscolare, vale a dire a una perdita di tono e di capacità muscolare.

Le ossa si sviluppano grazie alle forze che su di esse agiscono e ne stimolano il metabolismo di assorbimento e generazione di tessuto osseo; rispondendo alle necessità di ogni individuo particolare, secondo i requisiti meccanici delle strutture ossee, si genera più o meno massa ossea. Ciò vuol dire anche che una persona più pesante tende a richiedere più struttura rispetto a una persona leggera, ma anche che una persona attiva fisicamente ha migliori caratteristiche ossee rispetto a una persona sedentaria<sup>16</sup>.

Non solo questo metabolismo osseo è vitale per la "manutenzione" delle strutture ossee, ma è anche vitale per il sistema linfatico, che ha nelle ossa i centri di produzioni di globuli rossi e di una parte dei globuli bianchi, indispensabili per la

---

<sup>14</sup> Ph. Collet *et al.*, *Effects of 1 and 6 month spaceflight on bone mass and biochemistry in two humans*, «Bone», xx, 6, Elsevier, 1997.

<sup>15</sup> Giuseppe Serafini e Laura Maffei, *Low back pain e postura: Aspetti Anatomico-fisio-dinamici*, Scuola di Specializzazione in Anestesia e Rianimazione, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, [www.diasu.com/pagine/articoli/Lpostrura.htm](http://www.diasu.com/pagine/articoli/Lpostrura.htm).

<sup>16</sup> Joseph Hamill e Kathleen M. Knutzen, *Biomechanical Basis of Human Movement*, 3<sup>a</sup> ediz., Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2009, cap. 2, p. 33-48.

difesa dell'organismo contro agenti patogeni.

È anche importante la stimolazione dei muscoli legata agli sforzi strutturali per contrastare la gravità: essi applicano gli sforzi alle ossa corte, e alle estremità delle ossa lunghe, nei punti in cui essi s'inseriscono.

La stimolazione dei segmenti longitudinali delle ossa lunghe delle gambe è data principalmente dalla gravità.

### 1.2.1. Osteoporosi

Le ossa sono organi composti da un tessuto chiamato tessuto osseo. Il tessuto esterno, OSSO CORTICALE, rappresenta circa l'80% di tutto lo scheletro, ed è comunemente chiamato osso solido o compatto. Osservandolo in maniera ravvicinata si possono intravedere dei canali per i vasi sanguigni e i nervi. La sua bassa porosità (ca. 15%) è quella che determina la sua resistenza meccanica, ma una variazione leggera di tale porosità incide significativamente sulla sua fragilità e resistenza.

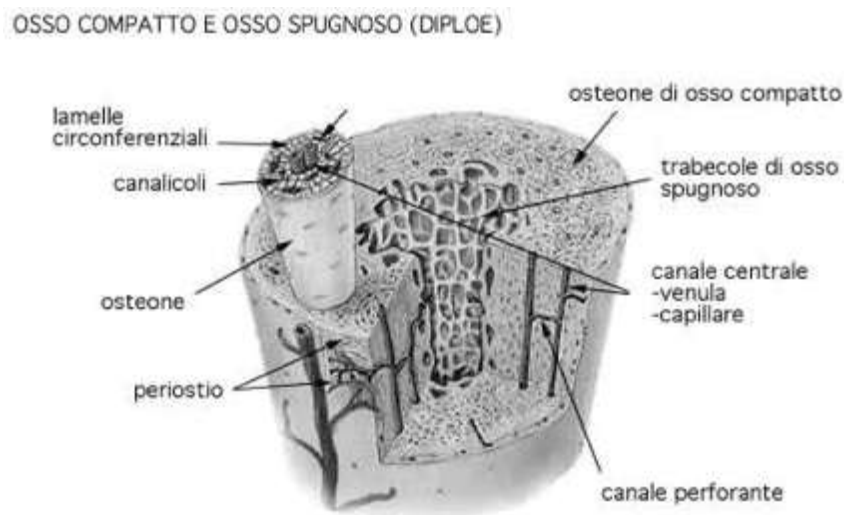


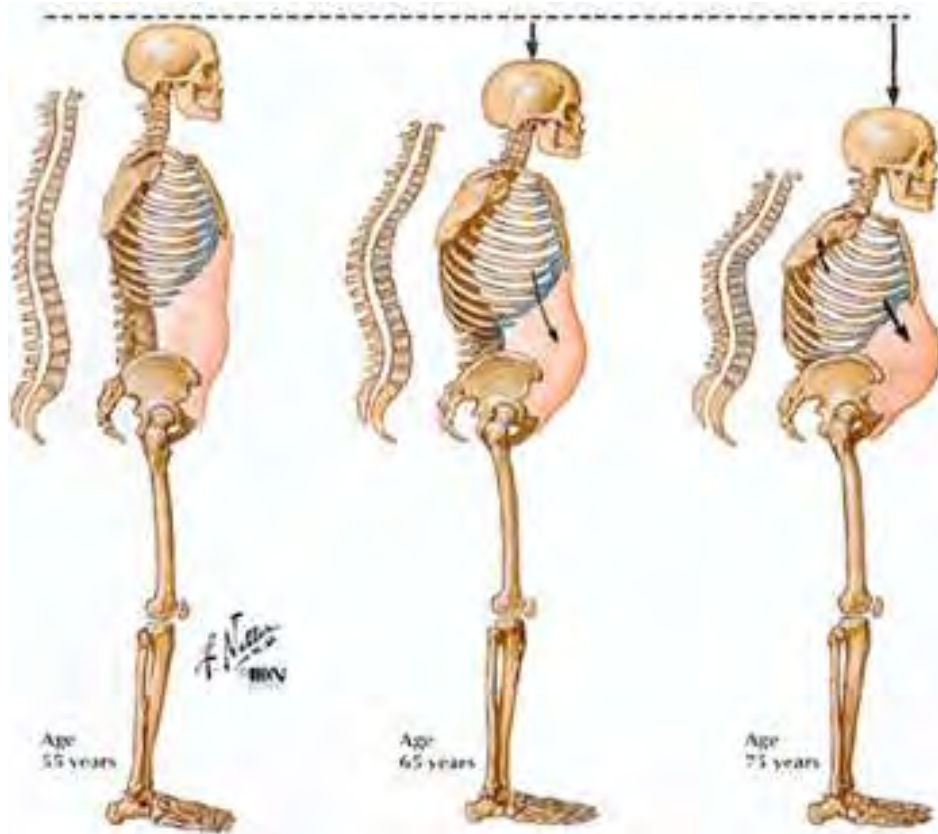
Fig. 13. Struttura interna dell'osso.

Il tessuto interno, OSSO TRABECOLARE, detto anche spugnoso, è chiamato così per gli elementi sottili che si formano all'interno dei suoi varchi, chiamati TRABECOLE. Esse si adattano alle direzioni degli sforzi che l'osso subisce,

conferendo più resistenza senza aggiungere peso.

L'osteoporosi è una malattia che aumenta la fragilità delle ossa, inizialmente in maniera sottile, interessando soltanto le trabecole del tessuto spugnoso. In condizioni di gravità questa malattia si presenta in genere negli adulti maggiori, specialmente in donne postmenopausiche, e la sua origine è ancora poco chiara. Ci sono fattori genetici, ormonali, ma anche comportamentali, cioè, stile di vita, alimentazione e attività fisica<sup>17</sup>.

Negli astronauti la perdita di tessuto osseo è il risultato di una modificazione metabolica, prodotta dall'assenza di stimoli, come accadrebbe a una persona con uno stile di vita sedentario, amplificato però dall'assenza di gravità; ciò elimina molti degli sforzi sulle strutture portanti, e quindi la perdita di tessuto osseo avviene al di là delle caratteristiche genetiche e ormonali degli individui. Dette condizioni preesistenti possono anzi incrementare tale perdita<sup>18</sup>.



**Fig. 14. Avanzamento dell'osteoporosi in uomini maturi.**

<sup>17</sup> Ivi, cap. 2, p. 37.

<sup>18</sup> G. Donald Whedon e Paul C. Rambaut, *Effects of long-duration space flight on calcium metabolism. Review of human studies from Skylab to the present*, «Acta Astronautica», 58, 2006,

Il tasso di recupero del tessuto perso non è ancora chiaro, però gli esperimenti portati avanti dagli scienziati con l'aiuto di diversi equipaggi di svariate missioni hanno rilevato che alcuni individui riescono a recuperare la maggior parte del tessuto perso in un tempo pari alla durata della missione, ma in alcuni casi il tempo richiesto può essere maggiore, il che dipenderebbe da fattori genetici, ormonali, di storia clinica e altri ancora ignoti<sup>19</sup>.

Questo progetto non intende fare una valutazione sull'effettiva riduzione nella perdita ossea, poiché ciò comporterebbe la sperimentazione in periodi lunghi, e con svariati gruppi, per trarre dei dati reali. Questo progetto si attiene alla premessa che le due ore e mezza di allenamento fisico che DEVONO fare gli astronauti ogni giorno, sono considerate soddisfacenti per la prevenzione del decondizionamento fisico, inclusa la perdita ossea.

#### **1.2.1.1. Prevenzione dell'osteoporosi**

Gli astronauti non sono malati di osteoporosi, sono però un gruppo ad alto rischio. Questa differenziazione è necessaria perché il **trattamento** di una persona con osteoporosi ha dei limiti riguardo al tipo di esercizi, carichi e tempi di esecuzione, mentre per la **prevenzione** le considerazioni sono altre<sup>20</sup>. Innanzitutto l'attività fisica è fondamentale per la stimolazione del metabolismo osseo, in particolare esercizi che lavorino con il peso del corpo; questo comporta alcune limitazioni all'interno dell'ISS, perché in assenza di gravità è necessario simulare un carico per ottenere uno sforzo simile sullo scheletro.

In microgravità, con lo spazio disponibile all'interno dell'ISS, è particolarmente difficile produrre una stimolazione a TUTTO lo scheletro, e comunque, gli astronauti non possono dedicare 24 ore al giorno a esercitarsi. Gli specialisti della medicina spaziale sono d'accordo sul fatto che le due ore e mezza di allenamento fisico al giorno siano ottime per la manutenzione dello stato fisico e la prevenzione

---

<sup>19</sup> Tratto da: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/science/subregional\\_bone.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/science/subregional_bone.html).

<sup>20</sup> *55 domande e risposte sulla salute dell'osso e l'osteoporosi*, a cura di Maria Luisa Bianchi e Claudio Cappuccino, Lega Italiana Osteoporosi, Pavia, EDIMES, 2004, pp. 75-81.

di un'avanzata perdita ossea, ma tale perdita avviene inevitabilmente<sup>21</sup>.

La condizione ideale sarebbe quella in cui gli astronauti, cioè i loro scheletri, sono continuamente sottoposti a carichi di gravità artificiale, ma l'ISS non dispone di un sistema simile. La tuta Pinguino dell'agenzia russa è il sistema più vicino a un approccio simile, però non tutti gli astronauti ne hanno una a disposizione, e nemmeno i cosmonauti russi la usano in forma costante. La tuta Pinguino restringe soltanto i movimenti articolari senza esercitare un carico costante sulle strutture ossee.

La stimolazione del metabolismo osseo avviene sia per i carichi derivanti dal peso corporeo, sia per lo sforzo muscolare che sollecita meccanicamente le ossa; qualunque attività fisica dovrebbe quindi aiutare a mantenere il metabolismo osseo<sup>22</sup>, ma gli esercizi di carico strutturale sono preferiti perché influiscono direttamente sulle ossa più a rischio nelle condizioni di microgravità: le ossa delle gambe, il bacino e la colonna vertebrale. Il deterioramento di queste ossa presenta un rischio critico nel momento di sollecitazioni meccaniche al ritorno sulla Terra, e in futuro in occasione di missioni planetarie<sup>23</sup>.

Il metabolismo osseo è suddiviso in fasi. Nella fase di crescita, che finisce intorno ai 20 anni, si sviluppa circa il 90% della massa ossea totale possibile, o Picco di massa ossea; tra i 25-30 anni avviene la fase di consolidamento, in cui si genera il 10% rimanente. Nella ventina d'anni a seguire la massa ossea si mantiene più o meno costante, per poi cominciare la fase di perdita, propria dell'invecchiamento<sup>24</sup>. Questo però, non significa soffrire di osteoporosi: è soltanto parte di un processo naturale inevitabile.

Gli astronauti appartengono in genere ai gruppi della popolazione che ha già raggiunto, o si trova nella fase finale, del raggiungimento del picco di massa ossea, cioè, adulti. L'allenamento quindi non è indirizzato ad aumentare la massa ossea,

---

<sup>21</sup> *ISS Countermeasure Systems*, a cura di Nora Petersen, ESA, 2006, pp. 21-23.

<sup>22</sup> *55 esercizi per un osso più sano*, a cura di M. L. Bianchi, Lega Italiana Osteoporosi, Pavia, EDIMES, 2001, pp. 61-65.

<sup>23</sup> *Simulating Bone Loss in Microgravity Using Mathematical Formulations of Bone Remodeling*, Cleveland, NASA, 2009.



bensi a mantenere i valori raggiunti. Sono raccomandabili gli esercizi di aerobica di alto impatto, jogging, aerobica, salire scale, camminare, danzare, ecc.<sup>25</sup>

In microgravità, gli esercizi di alta resistenza, come quelli fatti nel dispositivo di esercizi resistivi (RED: *Resistive Exercise Device*), servono a compensare la mancanza di carichi strutturali che sulla Terra sono prodotti dalla gravità. Il tapis roulant (TVIS: *Treadmill with Vibration Isolation System*) permette un lavoro più simile a quello fatto in condizioni normali sulla Terra. I cicloergometri, invece, sebbene molto utili per l'allenamento cardiovascolare, stimolano soltanto la struttura ossea delle gambe o delle braccia.

### **1.2.2. Tono e capacità muscolare**

I muscoli sono gli elementi del corpo umano che producono le forze che permettono a esso di lavorare; dette forze sono applicate sulle ossa nelle quali essi s'inseriscono e sulle quali agiscono al fine di ottenere sia moto che stabilità.

Il tessuto muscolare è suddiviso in due tipi: Liscio e Striato. Il primo riveste le pareti di tutti quegli organi che si occupano della vita vegetativa: vasi sanguigni, organi cavi (stomaco, intestino, ecc.) e simili. La sua principale proprietà è il suo funzionamento INVOLONTARIO, perché connesso al Sistema Nervoso Autonomo. Questo tessuto comunque non è di particolare interesse per questo progetto; invece è il Tessuto Muscolare Striato quello che dobbiamo capire meglio. Il muscolo Cardiaco è STRIATO ma INVOLONTARIO, e dobbiamo lasciare fuori anch'esso dal gruppo muscolare che ci interessa.

Come detto prima, sono i Muscoli Striati quelli che interessano questo progetto, perché responsabili della produzione del movimento, del mantenimento della postura e della posizione del corpo, e della stabilizzazione delle articolazioni; inoltre questi muscoli striati supportano e proteggono gli organi viscerali e i tessuti interni. La loro tensione controlla, e può alterare, la pressione nelle cavità corporee; essi producono calore che aiuta a mantenere la temperatura, e tramite il controllo

---

<sup>24</sup> Op. cit., a cura di M. Bianchi e C. Cappuccino, pp. 38-39.

<sup>25</sup> Op. cit., a cura di M. Bianchi, pp. 64-65.

volontario si gestiscono le entrate e uscite di materiale nel corpo umano.

È importante chiarire che, sebbene i muscoli striati siano VOLONTARI, talvolta essi sono responsabili di movimenti INVOLONTARI come risposta a riflessi (p.e. deglutire) oppure a condizionamenti di tipo posturali, come avviene per esempio nei bambini, che imparano a camminare tramite il controllo del proprio equilibrio; questa capacità diventa un condizionamento permanente, cosicché quando camminiamo non dobbiamo pensare a come muovere le gambe, né come bilanciare il bacino, né quanto tendere i muscoli dorsali. Ciò diventa una cosa naturale, fino a certo punto involontaria, seppure si tratti sempre di muscoli striati controllati coscientemente. Questo ha dimostrazione nel fatto che, quando una persona sviene, essa cade, ma le sue funzioni vitali continuano a lavorare.

Tornando ai muscoli striati, e anche al discorso dei muscoli antigravitari, essi in condizioni di microgravità non sono opportunamente stimolati: l'organismo non percepisce la necessità di mantenere una postura e un equilibrio rispetto a una superficie, e quando una postura oppure un equilibrio vengono cercati, si fa fatica perché non esiste la resistenza alla quale si è abituati, e che bilancia le forze posturali. L'atrofizzamento dei muscoli quindi comincia, e sebbene non sia così notevole come la perdita ossea, è pur sempre una cosa da evitare giacché nell'eventuale reingresso nell'atmosfera terrestre, oppure al trovarsi in una superficie con gravità, essa influenzerà indubbiamente le capacità dell'astronauta.

I muscoli antigravitari sono quindi riconosciuti come quelli ESTENSORI degli arti inferiori e i muscoli del collo e del dorso, cioè quelli che permettono la posizione ERETTA<sup>26</sup>. Possiamo immaginare che senza di essi la nostra posizione NEUTRA sarebbe quella fetale, e ciò è visibile anche nella tendenza posturale degli astronauti in microgravità, come per altro è osservabile anche in un corpo immerso nell'acqua. La distensione prodotta dalla riduzione della forza di gravità che il corpo subisce in relazione alla superficie terrestre, nello spazio non esiste e nell'acqua si riduce notevolmente; si può infatti osservare una leggera contrazione del corpo verso uno stato rilassato. Quest'osservazione è importante perché indica il senso delle forze

---

<sup>26</sup> G. Serafini e L. Maffei, *op. cit.*

richieste per lo stimolo dei muscoli posturali (antigravitari), ed è anche il senso dei vettori ai quali reagiscono le ossa maggiormente compromesse dalla perdita di minerali.

## 2. I sistemi di contromisure<sup>27</sup>

Gli scienziati e progettisti delle missioni spaziali hanno capito dagli inizi dei programmi che le condizioni spaziali mettono a dura prova la capacità fisica degli astronauti. Per questa ragione l'allenamento di chi viaggia nello spazio è molto impegnativo al fine di garantire uno stato iniziale ottimale, ma una volta entrato in condizioni di microgravità il corpo dell'astronauta subisce tutti i cambiamenti già descritti. Alcuni di essi sono temporanei, di adattamento, e in genere richiedono dai due ai quattro giorni per abituarsi: cinetosi, spostamento dei liquidi corporei, metabolismo, cambiamento del flusso sanguigno e propriocezione del corpo. Inoltre è prevista la somministrazione di medicinali che aiutino a compensare i cambiamenti nel caso fosse necessario.

Dall'altra parte ci sono gli effetti fisici, che richiedono sessioni di allenamento e condizionamento fisico per essere contrastati. In pratica si parla di apparecchiatura fisico-terapeutica per lo svolgimento di esercizi che stimolano muscoli e ossa, e aiutano a mantenere una condizione fisica ottimale.

Quest'apparecchiatura non è tanto diversa da quella che si può trovare in una palestra o in un centro di riabilitazione, con la differenza che questi attrezzi devono lavorare in condizioni di microgravità per cui la frizione tra i componenti è minore; ciò può aumentare la loro durabilità ma anche modificarne il funzionamento, per cui la resistenza meccanica si ottiene per lo più grazie a sistemi idraulici e pneumatici. Inoltre è necessario ricalcolare le resistenze meccaniche affinché esse siano soddisfacenti per la prevenzione del decondizionamento, senza esporre gli astronauti a sovraccarichi pericolosi che date le condizioni di microgravità non possono essere percepiti adeguatamente.

Un'altra peculiarità nella progettazione di queste apparecchiature è la necessità di

---

<sup>27</sup> I contenuti nella sezione 2 sono sintesi da informazioni raccolte da documenti vari, tecnici e descrittivi dalle agenzie NASA ed ESA, così come dai siti web della NASA e dell'ISS (<http://www.nasa.gov>) riguardanti i vari sistemi di contromisure. Vedere bibliografia.

isolare le vibrazioni prodotte durante le attività svolte su di esse, che potrebbero trasmettere vibrazioni non desiderate a tutta la stazione. Inoltre, la progettazione deve prevedere la modularità nei pannelli dell'ISS per la loro installazione. Ciò significa che questi attrezzi occupano permanentemente spazi che potrebbero invece contenere apparecchiatura scientifica o altro.

In questo momento nell'ISS si trovano apparecchi che si sono dimostrati efficaci, ma si lavora in continuazione per migliorarli, e quindi alcuni di essi sono o saranno smontati per dare spazio alle nuove versioni. Il processo di smontaggio e montaggio richiede tempi rilevanti, e di solito impegna più di un astronauta.

Di seguito saranno descritti con più dettaglio gli attuali dispositivi di contromisure, ovvero CMS (*Counter Measure Systems*) che si trovano sull'ISS. Questa descrizione è basata principalmente sul catalogo hardware degli Stati Uniti "CHECS" (*Crew Health Care System*) e il MO russo (*Medical Operations Book*), che contengono l'informazione tecnica generale su tutta l'apparecchiatura a bordo dell'ISS che riguarda il mantenimento delle condizioni di salute dell'equipaggio.

Saranno anche descritti alcuni degli apparecchi in fase di valutazione per un futuro inserimento, tra cui alcuni attrezzi sviluppati dall'agenzia europea (ESA).

## **2.1. TVIS (*Treadmill with Vibration Isolation System*)**

### **Tapis roulant con sistema d'isolamento delle vibrazioni**

Come descritto in precedenza, TVIS è un tapis roulant dotato d'isolamento delle vibrazioni e sistema di stabilizzazione (VIS), costruito dagli Stati Uniti. L'isolamento delle vibrazioni deve ridurre al minimo il trasferimento delle forze dinamiche, causate durante l'uso, alla struttura del modulo di servizio dell'ISS in cui si trova. Per contrastare i noti effetti fisiologici negativi della microgravità sul corpo umano, il sistema consente di camminare e correre per preservare i riflessi muscolo-scheletrici e neurofisiologici della locomozione e le prestazioni cardiovascolari. Il carico sul soggetto per sostituire la forza di gravità è generato principalmente dallo SLD (*Subject Loading Device*: Dispositivo di Carico sul Soggetto) del sistema, costituito da un'imbacatura per la parte superiore del corpo,

che copre le spalle e i fianchi, collegati da cinghie (di lunghezza regolabile) che, quando ci si trova in posizione eretta sul TVIS, scendono da entrambi i lati parallelamente alle gambe. Le cinghie sono collegate a ganci a livello dei piedi del tapis roulant su entrambi i lati del nastro di corsa.



**Fig. 15. Astronauta in allenamento sul TVIS.**

Anche se il sistema SLD era stato previsto per essere utilizzato permanentemente, è attualmente utilizzato solo 30 giorni prima del ritorno sulla Terra, al fine di proteggere la struttura SLD da un prematuro sovraccarico meccanico che può portare a malfunzionamenti nella parte critica del volo. Prima di quel momento i membri dell'equipaggio usano cinghie elastiche, che sostituiscono il sistema di SLD in tutti gli altri giorni sulla stazione.

Queste cinghie sono usate per assicurare l'astronauta con l'imbracatura al tapis roulant invece dei cavi metallici del sistema SLD. L'attrazione elastica degli elastici sul corpo umano che lavora sul tapis roulant è diverso rispetto al sistema SLD, e permette un carico più leggero, che corrisponde a circa il 70% della capacità dello SLD. La tensione degli elastici varia secondo il numero di fermagli e di cinghie elastiche.

Per la misurazione della frequenza cardiaca durante l'esercizio fisico si usa un orologio "Polar". Il sistema originale usa una cinghia al petto e un ricevitore

integrato al TVIS (o CEVIS) oppure un ricevitore esterno di pulsazione, che in teoria può registrare una velocità massima di battito cardiaco dell'astronauta di 240 battiti al minuto (bpm), con una precisione di +/-5 bpm.

Il sistema d'isolamento delle vibrazioni e di stabilizzazione è composto da stabilizzatori lineari con sistema di controllo dei motori, un giroscopio e un sistema di controllo del Sistema di Isolamento delle Vibrazioni (VIS). Il TVIS permette due modalità d'uso, con nastro motorizzato o non motorizzato. La velocità del nastro motorizzato è regolabile da zero a 16 chilometri massimo l'ora (0-10 mph) in stadi di 1,6 km/h (1 mph). Il caricamento del sistema SLD può essere modificato solo in modalità di "pausa". La velocità può essere variata durante la corsa, ma si consiglia di utilizzare profili pre-programmati sulla scheda elettronica personale (PCMCIA).

Il modo passivo, non motorizzato, permette anche una variazione di velocità tra i 0-16 km/h (0-10 mph) con una resistenza meccanica variabile. La velocità massima reale in modo motorizzato può essere limitata a causa del carico applicato sui soggetti e lo stile di corsa. Questo è legato a una condivisione della fonte di energia che è la stessa per il nastro e per il sistema VIS: se lo stile di esecuzione richiede più risorse per la stabilizzazione, meno energia rimane per la velocità del nastro. Soggetti più pesanti (caricati) saranno limitati a una velocità massima di 13,6 km/h (8 mph) a causa della limitazione nel consumo di energia. Il valore medio di potenza è di circa 250 W (a 0 km/h o mph) e i valori di picco a 920 W alla massima velocità possibile.

La forza di ritenuta del Sistema SLD è tra 0-100 kg (0-220 lbs), con una precisione di 1 kg/1 lbs (4,5 kg/10 lbs). Il massimo valore numerico sullo schermo per la distanza in chilometri o miglia è 99 (precisione 0,2 km/0,1 m), ed è possibile visualizzare altrettante cifre per il tempo trascorso: 99 ore/min/sec con una precisione di 1 secondo.

Lo SPD (Dispositivo di Posizionamento del Soggetto: *Subject Positioning Device*) serve a mantenere il soggetto al centro del nastro, e si attacca all'imbracatura, all'altezza dell'anca. Questo dispositivo è importante per l'esercizio sul tapis roulant in entrambe le modalità. Lo SPD è indispensabile quando il TVIS viene

utilizzato in modalità passiva per mantenere il membro dell'equipaggio fisso sul posto. Durante la corsa non è generalmente utilizzato dai membri dell'equipaggio perché provoca disagio. Lo SPD può essere rimosso e riposto.



**Fig. 16. Interazione di TVIS e la scheda elettronica personale dell'astronauta.**

L'equipaggio utilizza il tapis roulant di solito tra 2 e 7 volte la settimana, a seconda della prescrizione di allenamento. Il tapis roulant è previsto per essere utilizzato più volte ogni giorno, secondo il numero dei membri dell'equipaggio nella stazione. Per utilizzare TVIS, il membro d'equipaggio deve accenderlo, estrarre la sua scheda PCMCIA con il suo profilo personale di corsa per l'acquisizione dei dati. Dopo aver indossato l'imbracatura, gli elastici oppure lo SLD e lo SPD possono essere collegati. La scheda dei dati personali PCMCIA viene inserita nel pannello di controllo e la modalità desiderata (carico e velocità) viene selezionata. Il soggetto è ora pronto per l'esercizio. Durante il suo allenamento, il membro dell'equipaggio viene costantemente tratto verso il basso dagli elastici o dallo SLD. In funzione di fattori diversi come stile personale di corsa, disposizione di energia, ecc, la velocità massima può essere limitata, ad esempio a 9,5 km/h (6 mph), ma quest'ultima può essere comunque modificata in qualunque momento. Non ci sono restrizioni di velocità per la modalità passiva.

I dati (frequenza cardiaca, distanza, velocità, ecc.) vengono automaticamente



memorizzati nella scheda PCMCIA. Nel caso che il ricevitore di frequenza cardiaca nel TVIS non sia operativo, un orologio "Polar" può essere utilizzato, e i dati poi scaricati nel MEC (Attrezzatura Informatica Medica: *Medical Equipment Computer*). Da questo computer i dati sono scaricati dalle agenzie sulla Terra per un'ulteriore valutazione e prescrizione di allenamento. Dopo aver terminato la sessione, il TVIS viene spento, il membro dell'equipaggio si toglie l'imbracatura, pulisce il TVIS e ripone la sua scheda PCMCIA al suo posto.

Il TVIS deve ricevere regolare manutenzione da parte dell'equipaggio. Alcuni elementi, come le cinture e i cavi SLD, devono essere controllati ogni giorno; gli altri elementi settimanalmente, mensilmente o annualmente.

Nel caso di un guasto al nastro del TVIS, il BD-1 è previsto per servire come nastro alternativo per la corsa. Originariamente, prima che il BD-1 venisse installato sulla stazione, la CES (Superficie di Contingenza per Esercizi: *Contingency Exercise Surface*) avrebbe potuto in teoria essere utilizzata per eseguire flessioni sulle gambe, marcia, jogging, sprint e corsa sulla superficie di scorrimento. Il membro dell'equipaggio avrebbe dovuto indossare gli stivali speciali per correre sulla superficie, ma questo set-up non era ancora in uso.

## **2.2. RED (*Resistive Exercise Device*)**

### **Dispositivo di esercizi resistivi**

Il RED è uno strumento importante di formazione per l'allenamento di resistenza al fine di ridurre al minimo l'atrofia muscolare; esso offre una varietà di circa 25 esercizi ufficialmente riconosciuti, soprattutto per i cosiddetti muscoli "anti-gravità" (gambe, anche, tronco). Esso offre anche esercizi per la parte superiore del corpo e le braccia. Lo scopo degli esercizi praticati con il RED è il mantenimento della forza muscolare complessiva dei membri dell'equipaggio, e la prevenzione di perdita ossea, per quanto sia possibile, tramite l'applicazione di una resistenza. Il RED prevede carichi eccentrici e concentrici tramite un'ampia gamma di movimenti. È costituito da due cilindri di un'altezza di circa 50 centimetri, distanti tra loro 1 metro. Dalla parte interna di entrambi i cilindri esce un cavo al quale gli accessori di allenamento sono attaccati. Per la maggior parte degli esercizi

entrambi i cavi sono collegati, per esempio, con una barra di metallo per eseguire distensione su panca, stacchi, piegamenti, ecc., o con l'imbacatura per eseguire squat e sollevamento dei talloni. Altri esercizi, come l'adduzione e abduzione dell'anca vengono eseguiti con una gamba, mentre l'altra deve rimanere stabile. Al fine di mantenere relativamente uguale il numero di cicli per entrambi i cilindri, l'altra gamba si esercita con l'altro cilindro. Il numero di ripetizioni deve sempre essere contato e inserito manualmente nel software appropriato sul MEC.



**Fig. 17. RED in uso.**

Gli esercizi seguenti possono essere effettuati con RED: squat, alzate frontali, sollevamento di ginocchio, adduzione e abduzione dell'anca, leg curl, calf, rematore con manubrio, sollevamento di spalle, french press, curl di braccia, estensione tricipiti, curl di polso e lancio del martello. Alcuni esercizi possono essere eseguiti anche con una sola gamba applicando un carico superiore tramite l'impiego di entrambi i cilindri.

La resistenza è generata da una raccolta di "*flex packs*" che sono dischi con elementi in gomma, che si snodano intorno a un asse interno e applicano una tensione crescente sulle parti elastiche. Queste parti devono essere sostituite regolarmente

dopo un numero limitato di cicli. Il carico massimo è di 68 kg (150 lbs) per cilindro e 136 kg (300 lbs) in totale. La gamma complessiva di carico minimo è compresa tra 4,5 kg (10 lbs) e un massimo di 136 kg (300 lbs). Un indicatore esterno mostra numeri compresi tra 1 e 11,5 (in stadi di 0,5) che rappresentano la quantità di resistenza, che non è tuttavia espressa in unità come kilogrammi o libbre. Per la calibrazione esiste un foglio che indica la carica equivalente in kilogrammi o libbre. Quando i cavi di RED sono scambiati i *flex packs* devono essere ricalibrati, procedimento che può essere compiuto con un semplice dinamometro.

RED è fisso e le vibrazioni non sono isolate, per cui ci sono delle restrizioni riguardo al modo di eseguire gli esercizi. Di solito la frequenza di ripetizione non deve essere superiore a 3 secondi per ripetizione.



**Fig. 18. RED in uso con accessori.**

I membri dell'equipaggio americano hanno un programma personale di allenamento sul RED, che viene regolarmente aggiornato dal trainer fisico a terra. In questo programma viene dato il numero di ripetizioni e le serie, e il carico per ogni esercizio. Alcuni esercizi sono considerati "obbligatori" per la loro proprietà di produrre carico assiale sul corpo umano, e quindi per l'allenamento dei muscoli

anti-gravitazionali delle gambe e del tronco, e sono eseguiti quotidianamente.

Per lavorare con il RED, l'astronauta deve prendere e aggiustare gli accessori per l'allenamento; dopo aver terminato la sessione, gli elementi utilizzati devono essere puliti e gli accessori RED riposti.

Una volta alla settimana i membri dell'equipaggio inseriscono i dati dei loro esercizi nel MEC, da dove i dati sono scaricati e analizzati dagli specialisti dell'agenzia responsabile sulla Terra e nuovi protocolli basati sui risultati sono inviati periodicamente.

La vita utile di ogni cilindro del RED si stima in anticipo e dipende dal numero di cicli effettuati con ciascuno. Per essere in grado di giudicare l'età del cilindro e per anticipare la necessità di sostituirlo, il numero dei cicli di ognuno di essi deve essere conteggiato. Il RED non ha un sistema di conteggio, e di conseguenza ogni membro dell'equipaggio esegue esattamente il numero prescritto di ripetizioni e di serie; in alternativa si deve conteggiare e riportare il conto in modo di avere il risultato totale. Queste informazioni saranno trasmesse agli ingegneri sulla Terra, che sono responsabili per la manutenzione dell'hardware della stazione.

Gli esercizi devono essere eseguiti in modo limitato; al fine di proteggere la struttura della stazione e gli esperimenti che dipendono dalla gravità zero, le esercitazioni dinamiche sul RED non sono ammesse e anche la velocità di movimento con i cilindri RED è limitata. Tutte le ripetizioni effettuate, in particolare quelle con carichi elevati, richiedono un periodo minimo di tre secondi tra l'una e l'altra.

Dal feedback dell'equipaggio dopo le missioni NASA risulta che le prestazioni RED sono molto soddisfacenti per gli equipaggi degli Stati Uniti, ma è opinione diffusa che l'apparecchio sarebbe ancora migliore se fosse in grado di produrre più resistenza, e se potesse simulare più realisticamente il sollevamento pesi (OHDBS\_03\_001, Exp 5 Resoconto Sommario Post Volo). A causa del carico di resistenza elastico generato con gli elementi in gomma, la curva di forza-velocità non è simile al percorso che essa sviluppa con i pesi reali sulla Terra.

### 2.3. CEVIS (*Cyclo Ergometer Vibration Isolation System*)

#### Ciclo-ergometro con sistema d'isolamento delle vibrazioni

Il CEVIS è il cicloergometro per il condizionamento aerobico e cardiovascolare fornito dagli Stati Uniti per la stazione. Si differenzia da un normale ciclo ergometro perché composto da vari elementi: la torre con i pedali e le parti del sistema d'isolamento delle vibrazioni, lo schienale e il display del controller collegato con un cavo alla torre. In microgravità non è necessario un sedile, però ci si deve assicurare allo schienale con una cintura. Inoltre si usano scarpe da ciclista con meccanismo di fissaggio ai pedali.



Fig. 19. Sessione di allenamento su CVIS.

Il range di lavoro tecnicamente possibile varia da 25 a 350 Watt, e la velocità di rotazione varia tra 30 e 120 giri/min. Il pannello di controllo digitale, che opera come un *touch-screen*, indica il carico di lavoro (W), la velocità di pedalata (rpm), la deviazione dalla velocità indicata ( $\Delta speed$  [rpm]), il carico di lavoro impostato e il carico di lavoro effettivo, la frequenza cardiaca ottimale, la frequenza cardiaca attuale, la deviazione dalla frequenza cardiaca ottimale ( $\Delta heart rate$ ) e il tempo

trascorso.

Esso dispone inoltre di un controller di scorta in un formato più semplice nel caso di un malfunzionamento dell'altro. Questo però, indica il carico in volt (V) anziché in Watt (W), e ciò richiede una tabella con i valori corrispondenti al fine di proseguire gli allenamenti fino alla sostituzione del pannello.

Il CEVIS è montato su un telaio di metallo, attaccato a binari scorrevoli e regolabili (*seat tracks*) in uno scaffale modulare dell'ISS. Posti agli angoli del telaio, degli isolatori realizzati con funi metalliche, servono ad assorbire le vibrazioni generate durante l'esercizio insieme alla scatola del sistema isolatore di vibrazioni.



**Fig. 20.** Uso del CEVIS durante una valutazione medica di routine.

Il CEVIS può essere utilizzato anche come un ergometro per le braccia, come preparazione per EVA. In questo caso i pedali devono essere sostituiti da maniglie, ma questa modifica è dispendiosa.

Per operare il CEVIS, il membro dell'equipaggio deve estrarre la sua scheda PCMCIA, che dovrà essere inserita nel pannello di controllo CEVIS, contenente i suoi protocolli di allenamento e di settaggio per l'ergometro. Il carico di lavoro può essere regolato manualmente in modo on-line direttamente sul pannello di controllo,

o mediante l'applicazione di un protocollo dalla scheda PCMCIA. Dopo l'uso, il CEVIS viene ripulito, e gli accessori riposti.

#### 2.4. Attrezzi elastici per l'allenamento (Dyna-band®/Thera-band®)



Fig. 21. Dyna-band®.



Fig. 22. Thera-band®.

Queste bande elastiche sono utilizzate per esercizi di stretching e per l'allenamento della forza. Se l'astronauta deve svolgere un EVA, egli è tenuto a compiere un allenamento incentrato su spalle, braccia e dita, poiché un EVA richiede in particolare l'attività di questi gruppi muscolari. Al fine di evitare la stanchezza e gli infortuni, questa formazione supplementare inizia diverse settimane prima dell'attività esterna. Per una passeggiata spaziale gli astronauti devono rimanere fino a otto ore in tuta spaziale pressurizzata, e ciò richiede forza e resistenza per vincere l'opposizione permanente che la tuta esercita, e per riuscire a manipolare gli ingombranti strumenti necessari per le attività di ingegneria. Il design della tuta permette inoltre una gamma molto limitata di movimenti.



## 2.5. VELO

Il VELO è la versione russa del cicloergometro, a cui può essere collegato il dispositivo chiamato Caricatore di Forza. È costituito da un corpo in metallo, con pedali, per piedi o mani, e lo schienale al quale il pannello di controllo è fissato.



**Fig. 23. VELO usato come cicloergometro.**

I carichi di lavoro possibili variano da 100 a 250 Watt a intervalli di 25 Watt ciascuno. Una volta selezionato il carico, esso rimane costante se la velocità di rotazione si mantiene tra i 40 e gli 80 giri/min. Diversi modi consentono diversi carichi. La modalità di pedalata attiva usa i suddetti carichi in Watt. La modalità inattiva crea una resistenza non superiore a 50 Watt, ma aumenta la resistenza al di là di una velocità di rotazione di 80 giri, e in modalità libera non vi è alcun carico. Il sedile può essere regolato in un range da 0 a 70 gradi.

È possibile pedalare sia con le gambe che con le braccia. Come per il CEVIS, l'allenamento delle braccia serve come preparazione per le attività EVA. Il pannello di controllo indica la velocità di rotazione dell'albero del pedale, il carico di lavoro (W), il tempo totale della sessione di allenamento, il tempo di allenamento con il carico indicato, il lavoro totale, la distanza e l'indicazione della modalità in uso.



## 2.6. Caricatori di forza



Fig. 24. Uso dei caricatori di forza con il CMS VELO.

I caricatori di forza sono principalmente utilizzati quando collegati al VELO, il che aumenta la varietà di esercizi possibili. Il caricatore è costituito da una corda avvolta all'interno di un tamburo, con un'impugnatura che permette di estrarla. La resistenza è generata con la tensione elettromagnetica, alimentata dal VELO. Tirando il cavo si crea la resistenza che permette esercizi di forza diversi. La corda può essere sistemata per lavorare dal dietro o dal fronte dell'utente seduto, per permettere l'allenamento di vari gruppi muscolari. Inoltre, il cosmonauta è libero di creare esercizi supplementari.

## 2.7. Espansori

Gli espansori sono elementi elastici utilizzati per l'allenamento della forza di gruppi muscolari diversi. Secondo la lunghezza dell'espansore si possono prevedere diversi esercizi; si dispone di tre diverse lunghezze, quella inferiore per gli esercizi della spalla, quella media per gli esercizi che coinvolgono i muscoli del tronco, e quella maggiore gli esercizi gambe-tronco. Tutti gli espansori hanno una maniglia a ciascuna estremità; quelli lunghi e corti sono dotati inoltre di spalline, studiate per proteggere il materiale e le spalle dei membri dell'equipaggio dalle

abrasioni. Queste coperture possono essere sostituite.



**Fig. 25. Espansori.**

## **2.8. Tuta Pinguino**



**Fig. 26. La tuta pinguino.**

Questa tuta russa è indossata di solito durante le normali attività quotidiane per un

periodo limitato di tempo. Essa crea una resistenza permanente a chi la indossa, con il fine di sottoporre il cosmonauta a un carico mentre egli svolge altre attività. Cinghie elastiche regolabili e integrate forniscono questa resistenza, che dovrebbe essere efficace se la tuta viene indossata costantemente. In realtà, un'altra importante applicazione della tuta pinguino è quella di "comprimere" il cosmonauta per consentirgli di adattarsi al suo posto nello Shuttle Soyuz. Sedili su misura vengono costruiti per gli astronauti russi prima che essi inizino il viaggio nello spazio; come abbiamo già detto, in microgravità si guadagnano alcuni centimetri in altezza.

## 2.9. Stimolatore Mioelettrico

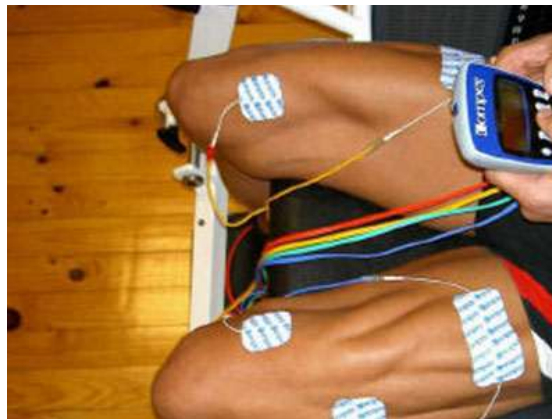


Fig. 27. Stimolatore mioelettrico.

L'agenzia spaziale russa utilizza l'elettrostimolazione per il rafforzamento muscolare, applicando elettrodi su coscia, polpaccio, addome, schiena e muscoli trapezoidali. Questo metodo non è applicato agli astronauti della NASA.

## 2.10. CHIBIS (LBNP: *Lower Body Negative Pressure*)

### Pressione negativa per il segmento inferiore del corpo

Questo dispositivo, anch'esso russo, simile a dei pantaloni, produce una pressione negativa intorno agli arti inferiori (gambe e fianchi) grazie a una micro-pompa che depressurizza il sistema mentre l'astronauta è in piedi al suo interno; la chiusura si trova all'altezza della vita. La pressione negativa induce l'accumulo del sangue nelle parti inferiori, il che è utile per l'allenamento del sistema cardiovascolare con

un carico simulato longitudinale.



Fig. 28. CHIBIS.

Quest'allenamento va fatto poco prima del ritorno sulla Terra, per ridurre al minimo il rischio d'ipotensione ortostatica, a causa dell'effetto della gravità sui liquidi corporei; essi, al ritorno sulla Terra, vengono inizialmente trascinati verso la parte bassa del corpo, con la conseguente diminuzione di pressione arteriosa nella parte superiore (in particolare la testa, il che può produrre svenimenti). CHIBIS lavora con una gamma di pressione negativa tra i 10 e i 60 mm Hg (+/- 5), e i dati al suo interno sono scaricati dal personale a Terra.

### 2.11. ARED (*Advanced Resistive Exercise Device*)

#### **Dispositivo di esercitazione resistiva avanzata**

L'ARED è la versione evoluta del RED, che però crea la resistenza mediante meccanismi idraulici; è stato progettato per aumentare il ciclo di vita utile delle sue parti, ed è in grado di generare un'elevata resistenza per l'allenamento al fine di consentire efficaci contromisure fisiche.



Fig. 29. ARED.

## 2.12. FWED (*Flywheel Exercise Device*)

### Dispositivo di esercitazione con volano

*Flywheel* funziona con un sistema che sfrutta l'inerzia generata da una ruota accelerata grazie a un sistema di volano, e permette movimenti concentrici ed eccentrici. Questa apparecchiatura europea può essere usata per l'allenamento delle braccia, ma è principalmente indirizzata all'allenamento delle gambe e del tronco, in particolare i muscoli del dorso. La struttura consiste in un sistema di volano all'interno di una struttura che contiene il sistema ausiliare di freno, il poggiapiedi e l'unità di controllo, e alla quale si connette un laptop. Perpendicolarmente ad essa si trova un binario metallico sul quale scorre il sedile al quale l'utente si aggancia. Nel sedile si trova anche l'imbracatura semirigida, progettata per proteggere la schiena e il collo. A questa imbracatura si aggancia la corda di azionamento del volano.



**Fig. 30. Collaudo del FWED sull'ISS.**

Il principio meccanico del FWED permette un'ampia gamma di carico di lavoro, perché più forza viene esercitata nella fase concentrica (di svolgimento della corda), più forza è richiesta nella fase eccentrica (di avvolgimento della corda). La struttura di aggancio è anche il sistema di smorzamento delle vibrazioni. I dati e i protocolli di allenamento sono amministrati da un software caricato sul laptop personale.

### 3. Allenamento e benessere nello spazio

#### 3.1. La routine d'allenamento nell'ISS<sup>28</sup>

Sebbene esistano differenze nell'approccio ai protocolli di allenamento, principalmente tra l'agenzia russa e l'agenzia statunitense, c'è accordo sul fatto che 2,5 ore al giorno sono essenziali per garantire l'integrità fisica e mentale degli astronauti. Allenamento extra è previsto in caso di EVA e valutazioni di condizione fisica (PFE: *Periodical Fitness Evaluation*).

I membri dell'equipaggio russo hanno un protocollo di allenamento con un approccio schematico, composto di piccoli cicli che alternano periodi di lavoro intensivo e giorni di "riposo". La controparte americana preferisce lavorare solo con l'apparecchiatura degli Stati Uniti (TVIS, RED, CEVIS), e la prescrizione individualizzata di protocolli di allenamento; di solito il RED viene utilizzato con cadenze alterne, per evitare il sovraccarico e il calo di motivazione.

Entrambi gli approcci prevedono lavoro giornaliero sia nel campo muscolo-scheletrico che in quello cardiovascolare. Per i protocolli americani è previsto un giorno di riposo, mentre i russi hanno giorni di "riposo attivo" durante i quali possono scegliere il lavoro da fare. Tutti gli astronauti possono dividere i loro blocchi di lavoro in due sessioni; questo comporta però l'aumento del tempo richiesto per il settaggio e la pulizia degli attrezzi. Comunque, gli astronauti preferiscono questa modalità, e usano un solo apparato per sessione, per lo più TVIS nella prima sessione, e RED o VELO con i caricatori di forza nella seconda sessione.

Lo schema russo consiste in due cicli: il primo è di quattro giorni con inizio il lunedì, e il quarto giorno è di riposo attivo; il secondo ciclo è di tre giorni, e l'ultimo giorno è anch'esso di riposo attivo. Un'altra particolarità dell'approccio russo è l'uso del

---

<sup>28</sup> Nora Petersen, *op. cit.*, pp. 21-25.



TVIS, con una combinazione di allenamento cardiovascolare ed esercizi da fare in piedi in durante le pause della corsa. Questi esercizi sono di stretching e mobilità, oltre a tecniche di respirazione.

Il VELO permette anche la combinazione di allenamento cardiovascolare e di forza muscolare, sia mediante l'uso come cicloergometro, sia con i caricatori di forza.

### 3.2. La valutazione *fitness* dell'equipaggio<sup>29</sup>

Per valutare la condizione fisica dell'equipaggio si misura la frequenza cardiaca e la pressione sanguigna, e si comparano i dati ottenuti con quelli raccolti prima del volo. I dati servono anche a tracciare una curva di andamento per capire meglio gli effetti delle condizioni di lavoro e microgravità. Queste valutazioni sono fatte periodicamente nel CEVIS o TVIS, secondo la predilezione dell'agenzia rispettiva. L'OUM (*Oxygen Uptake Measurement*) si usa con il CEVIS e l'apparecchiatura dell'agenzia europea, per misurare il VO<sub>2</sub><sup>30</sup>.



Fig. 31. Valutazione VO<sub>2</sub> a bordo dell'ISS.

Altre prove più semplici servono a valutare la forza muscolare delle braccia,

<sup>29</sup> *Ibidem.*

<sup>30</sup> VO<sub>2</sub> è la misura della capacità di ossigenazione del soggetto, durante un'attività fisica incrementale. V sta per Volume/Tempo, O<sub>2</sub> per Ossigeno.



fondamentale durante un EVA. La NASA fa un monitoraggio continuo sul lavoro che fanno gli astronauti sul RED per valutare in questo modo il rendimento muscolare generale.

Gli astronauti sono sottoposti ad altre analisi tra le quali i test di urina e sangue. Tutti i dati servono a controllare in modo continuativo le condizioni integrali dell'equipaggio, sebbene non siano tute collegate alla condizione *fitness*.

### 3.3. Condizioni di stress

La microgravità non influisce solo fisicamente sull'equipaggio dell'ISS, ma anche sullo stato mentale dei suoi membri. I cambiamenti nella propriocezione del corpo, il disorientamento e la difficoltà nel compiere le cose più elementari mette a dura prova lo stato d'animo degli astronauti. A questo va sommato il fatto di trovarsi in un contenitore che viaggia a oltre 27.000 chilometri l'ora, a circa 400 chilometri dalla superficie terrestre, tra persone che molto probabilmente hanno diverse origini culturali. Ci si può aspettare un notevole stress fisico e mentale.



Fig. 32. Equipaggio dell'ISS a pranzo.

I potenziali candidati astronauti sono soggetti a numerosi esami medici e psicologici durante il processo di selezione, e solo quelli più in forma fisicamente e

mentalmente sono selezionati come candidati astronauti dell'ISS<sup>31</sup>.

A livello delle agenzie si parla di “gestione della salute degli astronauti”, il che comprende lo studio, la cura e la previsione del loro percorso integrale: il momento della selezione, il viaggio, il tempo in missione, e il ritorno. Ciò avviene allo scopo di salvaguardare adeguatamente la salute degli astronauti in modo che essi possano massimizzare le loro abilità, svolgere i propri compiti in modo sicuro, ed eseguire le proprie responsabilità.

La gestione della salute, oltre alle operazioni di controllo, comprende lo sviluppo di nozioni e si estende anche alle famiglie, al fine di generare, in tutto il circolo sociale degli astronauti, una consapevolezza delle condizioni di vita di questi ultimi, di ridurre lo stress causato dall'allontanamento fisico, e di incrementare la confidenza nell'insieme di sistemi che garantiscono la sopravvivenza dei cosmonauti a bordo dell'ISS.

La formazione integrale quindi, permette che i soggetti lavorino in condizioni ottimali, “ovviando” ai fattori stressanti; in termini di stress lavorativo si può dire che mediante la formazione è possibile trasformare uno stato di *stress cronico* in uno di *stress acuto*<sup>32</sup>.

Nella gestione dello stress aiuta anche l'attività fisica che, inoltre, riduce l'ansietà, migliora lo stato d'animo e la percezione di se stessi, oltre a prevenire la depressione<sup>33</sup>.

### **3.4. Uso del tempo nell'ISS**

Il personale a bordo ha giornate lavorative di 24 ore, per rimanere in un ciclo temporale di lavoro simile a quello sulla Terra, sebbene l'ISS compia un giro intorno alla Terra in 92 minuti; di queste 24 ore, l'astronauta può essere attivo al

---

<sup>31</sup> *Managing Astronauts' Health for Long-Duration Stays in Space*,  
[http://iss.jaxa.jp/iss/kibo/develop\\_status\\_9906\\_e.html](http://iss.jaxa.jp/iss/kibo/develop_status_9906_e.html)

<sup>32</sup> S. Di Nuovo, L. Rispoli, E. Genta, *Lo stress come esempio della sintesi mente/corpo*, vol. Misurare lo stress, Milano, Ed. F. Angeli, 2000.

<sup>33</sup> *Health benefits of physical activity*, [www.medicinenet.com/script/main/art.asp?articlekey=10074](http://www.medicinenet.com/script/main/art.asp?articlekey=10074)

massimo 18 ore, delle quali 6,5 sono destinate al lavoro che si deve svolgere secondo la missione (ricerca, analisi, test, ecc.), e 2,5 ore DEVONO essere destinate all'allenamento fisico, che può essere suddiviso in due blocchi a scelta dell'astronauta.

Ai fini della programmazione delle attività occorre tenere conto dell'imprescindibilità del pranzo insieme al resto dell'equipaggio. Per quanto riguarda, poi, i blocchi di allenamento fisico, che NON POSSONO ESSERE TRALASCIATI, è importante che trascorrono 90 minuti tra la fine di un pasto e l'inizio del blocco, e che la fine del blocco sia almeno 2 ore prima dell'inizio del periodo dedicato al sonno.

Per le comunicazioni con il personale sulla Terra si spendono circa 15 minuti, e ci sono a disposizione anche 15 minuti per parlare in privato con il proprio medico.

Questi sono i tempi nominali di una giornata Tipo di un astronauta:

- 1,5 ore            Post sonno  
(colazione, igiene personale, fino a 10 minuti di attività di preparazione dei sistemi).
  - 0,5 ore            Conferenze giornaliere programmate  
(AM e PM/15 minuti ognuna).
  - 0,5 ore            Preparazione mattutina del lavoro
  - 6,5 ore            Ore lavorative, operazioni di sistemi e di carico.
  - 1,0 ore            Pranzo (programmato insieme).
  - 2,5 ore            Allenamento  
(Allestimento, esercitazioni, igiene, pulizia e stoccaggio).
  - 0,5 ore            Revisione del piano giornaliero.
  - 0,5 ore            Preparazione notturna del lavoro.
  - 2,0 ore            Pre-sonno (cena, igiene e tempo personale).
- 
- 15,5 ore            Totale di tempo attivo.
-

- 8,5 ore      Periodo di sonno.



Fig. 33. Astronauti che dormono nell'ISS.

### 3.5. Fitness

#### 3.5.1. Definizione del Fitness

La parola fitness proviene dall'inglese ed è traducibile come “appropriatezza” o “adeguatezza”<sup>34</sup>. Nel contesto dell'attività fisica il concetto ha comunque un'accezione più ampia, che comprende l'idea di idoneità fisica e di buona salute, un benessere fisico e mentale, un equilibrio tra mente e corpo.

Questa associazione era già stata considerata da Ippocrate, nel 460 a.C., il quale sosteneva che “Se all'individuo si potesse somministrare la giusta quantità di nutrimento e di esercizio fisico avremmo trovato la giusta strada per la salute”.

L'**EHFA** (*European Health & Fitness Association*), ufficialmente definisce Fitness come: “Uno stato dinamico di benessere fisico, psicologico e sociale, risultante

<sup>34</sup> FITNESS: *s. f. invar.*

1 (*biol.*) insieme delle caratteristiche genotipiche e fenotipiche che rendono un organismo adatto a sopravvivere e a riprodursi in un determinato ambiente

2 perfetta forma fisica, sia funzionale sia estetica, raggiungibile seguendo programmi integrati di ginnastica, idroterapia, cosmesi e dietetica.

dalla pratica di un'attività motoria adeguata alle capacità, possibilità ed esigenze-preferenze di ciascun individuo che assume la responsabilità della propria salute".<sup>35</sup>

Come concetto "normativo" si riporta la definizione di fitness dell'Autorità Garante per la Concorrenza e il Mercato, per il quale "la fitness è un termine che identifica uno stile di vita orientato al benessere: promuove una attività motoria a bassa intensità e quindi non è un'attività sportiva".<sup>36</sup>

Nel contesto di questo documento il fitness è inteso nell'accezione dell'EHFA; cioè uno stato integrale di benessere, collegato alla pratica sportiva. Definirlo come "uno stile di vita" è inappropriato perché porta al significato socio-culturale che dà prevalenza all'aspetto sociale del termine, associato all'appartenenza a un determinato gruppo sociale. Un altro uso improprio del termine è la sua associazione con la capacità di effettuare attività fisica, a volte esasperata, per ottenere un fisico muscoloso con percentuale di grasso minima e dalle proporzioni considerate perfette.

Il termine fitness riporta al benessere integrale, e ciò vuol dire che tanto gli effetti, quanto i risultati e le conseguenze sono considerati durante la pratica sportiva con lo scopo di definire il programma più adatto a ogni individuo. È un modo di praticare tutti gli sport in modo sicuro, salutare e non violento.

### **3.5.2. Fitness in assenza di gravità<sup>37</sup>**

Alcune nuove tendenze di allenamento fisico promuovono l'attività riducendo, in parte, il carico strutturale della gravità.

Queste tendenze propongono l'allenamento fisico in una forma che riduca il peso al quale sono sottoposti articolazioni, legamenti e muscoli per il contatto diretto del

<sup>35</sup> P. Adami, *I volti del fitness, fra storia, movimento, salute ed economia*, Università degli studi di Roma-Tor Vergata, Master in "Economia e gestione dello sport", 2006.

<sup>36</sup> L. Musumarra et al., *La disciplina dell'attività motoria e sportiva in Europa: la tutela del consumatore tra ordinamento sportivo, statale e comunitario*, tratto dal Progetto Europeo "Palestre Sicure", consultabile sul sito [www.palestresicure.net](http://www.palestresicure.net)

corpo con il suolo. Il sovrappeso può infatti essere causa di lesioni in queste parti del corpo. L'eccesso di massa corporea può inoltre provocare problemi di mobilità legati anche alla propriocezione del corpo, e l'incremento della fatica muscolare.

Le attività anti-gravità cercano di ridurre la forza alla quale il corpo è soggetto in conseguenza della gravità della Terra, e di approfittare la condizione "fluttuante" per allenare i muscoli in un modo diverso.

Alcune tra le attività più innovative in tal senso sono:

- Antigravity Yoga
- Jukari Fit to Fly
- TRX Suspension Training

Nel caso dell'Antigravity Yoga viene usata una specie di amaca appesa al soffitto sulla quale si eseguono le varie posizioni yoga, le Asana. Per lo Jukari si utilizza il FlySet, una barra appesa tramite delle robuste corde al soffitto che ricorda in qualche modo il trapezio usato dagli acrobati circensi. Per il TRX Suspension Training si usano dei cavi con delle maniglie alle estremità, sospesi dal suolo tramite una struttura metallica che è in grado di ospitarne diversi.

### **3.5.2.1.      *Antigravity Yoga***

Lo yoga è una pratica di allenamento fisico e mentale, che privilegia le facoltà mentali per riuscire a rilassare il corpo e ad eseguire i movimenti con la massima precisione e senza fretta, per arrivare a una posizione determinata (Asana). Alcune di esse richiedono lunghi periodi di allenamento per essere raggiunte, e prima è necessario ripeterle molte volte per il perfezionamento dei movimenti, e anche per evitare lesioni.

Lo yoga antigravità permette la realizzazione di Asana di alto livello in maniera molto più agevole. In questo modo, lo yoga è accessibile a persone con problemi fisici che possono essere limitate nello yoga tradizionale, sia per motivi di sovrappeso, che per problemi articolari, che per altri fattori. L'amaca appesa al

---

<sup>37</sup> Tratto da: [http://www.benessere.com/fitness\\_e\\_sport/arg00/assenza\\_gravita.htm](http://www.benessere.com/fitness_e_sport/arg00/assenza_gravita.htm)

soffitto aiuta a “liberare” il corpo dal proprio peso, tende a creare uno stato di concentrazione maggiore e permette di eseguire esercizi molto più produttivi sotto il profilo bio-meccanico.



**Fig. 34. Yoga anti-gravità.**

### 3.5.2.2. Jukari *Fit to Fly*

Questa tecnica ha un approccio più ludico, acrobatico, con l’obiettivo di essere più efficace nella formazione fisica. Lo Jukari utilizza una sbarra appesa di forma regolabile a delle corde fissate al soffitto. Il lavoro in sospensione serve all’allenamento del sistema cardiovascolare e muscolare scheletrico, e inoltre è possibile riscoprire le capacità acrobatiche innate.



**Fig. 35. Jukari, fitness acrobatico.**



Gli esercizi di questa tecnica rinforzano in particolar modo gli addominali, i glutei e la forza degli arti superiori, oltre a sviluppare un maggiore controllo del corpo in generale.

### 3.5.2.3. **TRX Suspension Training**

Quest'attività fisica usa esclusivamente il peso corporeo, tramite la sospensione di parti del corpo a delle corde, in modo da allenare contemporaneamente forza, equilibrio e flessibilità. L'ampia gamma di posture di lavoro offre la possibilità di lavorare integralmente su tutto il corpo.



**Fig. 36. Sistema TRX.**

L'attività risulta molto efficace dal punto di vista muscolare ma mai faticosa sotto il profilo articolare. I muscoli sono potenziati senza appesantire la struttura generale del corpo. Le fasce muscolari diventano più forti ma nello stesso tempo più lunghe. Gli anelli terminali si possono impugnare con le mani, con entrambi i piedi e mantenendo le mani a terra, con un singolo piede, in posizione statica o oscillante.

### 3.5.2.4. **Vantaggi generali dell'allenamento antigravità**

Possiamo riassumere i vantaggi dell'allenamento antigravità nei seguenti punti:

- Allena il corpo in maniera naturale senza bisogno di sovraccarico aggiuntivo
- Riduce le tensioni alle articolazioni e ai legamenti
- È ottimo nel caso in cui si soffre di patologie alla colonna vertebrale, poiché allunga e distende le vertebre



- È efficace e divertente
- È adatto a tutti i soggetti, senza limiti di età o di forma fisica
- Per la pratica non necessita di particolari abilità sportive
- È in grado di allenare componenti importanti come stabilità ed equilibrio
- Crea un corpo tonico senza appesantirlo
- Consente di allenare tutte le aree muscolari
- È un tipo di lavoro completo sia sotto il profilo cardiovascolare che muscolare

#### **4. Anatomia del corpo e allenamento fisico<sup>38</sup>**

L'esperienza ha dimostrato che il miglior metodo per contrastare il decondizionamento fisico è l'esecuzione di programmi di allenamento indicati dagli specialisti in aree come la fisioterapia, la cinesiologia e la biomeccanica. Lo sviluppo delle apparecchiature di allenamento è direttamente legato al lavoro degli specialisti in questi settori poiché essi definiscono gli esercizi che sono più efficaci per la prevenzione del decondizionamento.

Queste aree hanno in comune la conoscenza dell'anatomia umana, e in particolare del movimento anatomico, per il quale esiste una terminologia unificata che bisogna conoscere.

##### **4.1. I segmenti anatomici coinvolti**

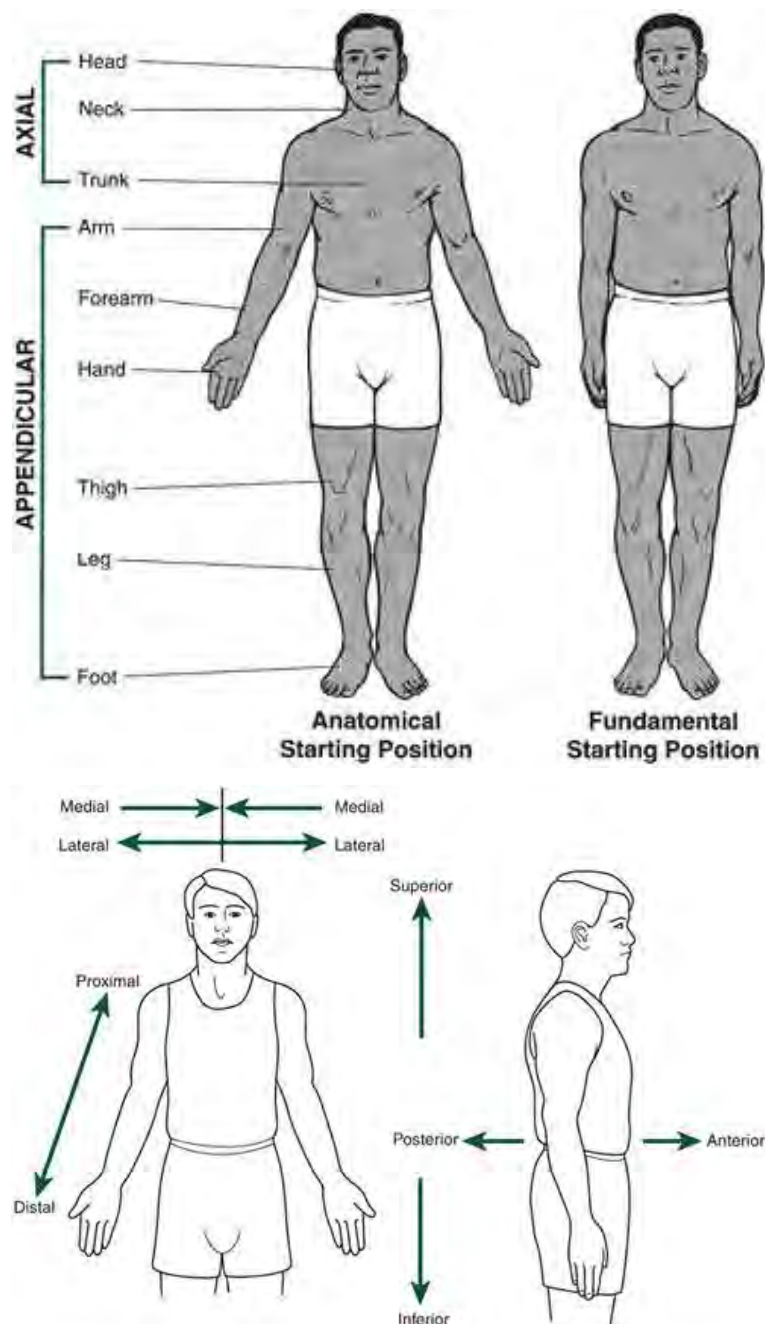
La corretta identificazione dei segmenti corporei è fondamentale per capire le indicazioni terapeutiche. La testa, il collo e il tronco sono i segmenti che comprendono la porzione assiale dello scheletro. Questa rappresenta più del 50% del peso totale di una persona, e si muove più lentamente rispetto agli arti superiori e inferiori, che sono detti scheletro appendicolare. Man mano che ci si allontana dal tronco, ovvero che ci si muove in senso distale, i segmenti corporei diventano più piccoli e si muovono più velocemente.

I movimenti del braccio si riferiscono all'articolazione della spalla, più

---

<sup>38</sup> L'informazione nei numerali contenuti in questa sezione è un riassunto di: J. Hamill e K. Knutzen, *op. cit.*, pp. 9-16, 78-81, 91-94.

propriamente chiamata **cingolo scapolare**; quelli dell'avambraccio sono descritti rispetto al gomito, e i movimenti della mano in relazione al polso. Negli arti inferiori la coscia, la regione tra l'anca e il ginocchio, si muove rispetto all'anca, la gamba, dal ginocchio alla caviglia, si muove rispetto al ginocchio, e infine il piede si muove rispetto alla caviglia.



**Fig. 37. Riferimenti anatomici.**

Quando si descrive una posizione di un segmento o di un movimento articolare, lo si fa con riferimento a una postura iniziale. Questa postura è un riferimento standard

usato da molti anni dai professionisti dell'anatomia, della biomeccanica e di altre aree mediche. La postura Anatomica descrive il corpo in una posizione eretta con la testa rivolta verso il fronte, le braccia al lato del tronco con i palmi rivolti in avanti, e le gambe con i piedi puntati in avanti. Alcuni biomeccanici preferiscono la postura Fondamentale come riferimento; essa non è molto diversa da quella Anatomica, tranne per il fatto che le braccia sono distese sui lati del tronco e con i palmi rivolti verso di esso.

Altro dato importante da riferire nei movimenti dei segmenti è l'angolo in comune, cioè l'angolo tra i due segmenti in relazione al punto zero, postura iniziale di riferimento. Inoltre i movimenti e le posizioni vengono descritti anche con termini che indicano posizioni relative e/o direzioni.

Il termine Mediale si riferisce a una posizione vicina alla linea media del corpo, o segmento, o un movimento in quella direzione, mentre quello Laterale si riferisce a movimenti nel verso opposto alla linea media e posizioni lontane da essa. Proximale e Distale sono termini che indicano posizione o movimento che si riferiscono a un punto determinato. Il gomito è proximale mentre il polso è distale rispetto alla spalla.

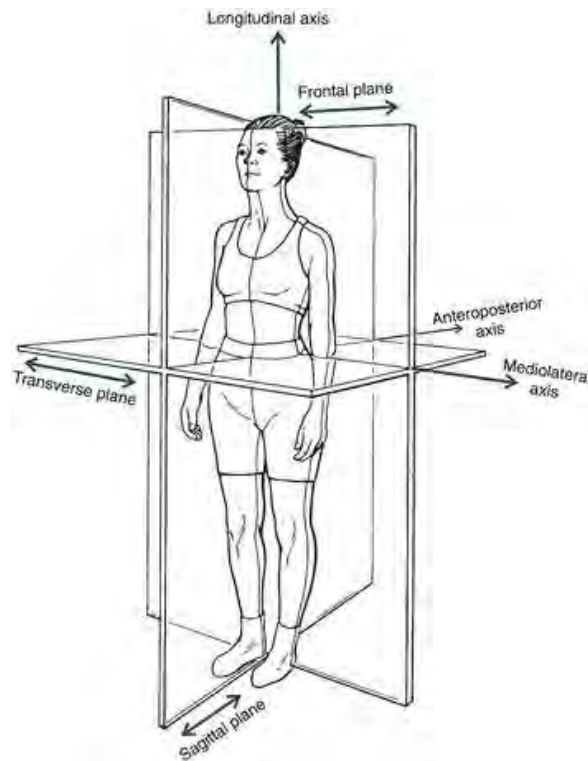
Anche i termini Superiore e Inferiore devono essere descritti in relazione a un punto determinato, essendo superiore tutto il segmento compreso tra il punto dato e la testa, e Inferiore quello tra il punto dato e i piedi. Anteriore e Posteriore fanno riferimento anche ai concetti di Ventrale e Dorsale.

Isolaterale fa riferimento a una posizione o un movimento sullo stesso lato del corpo, controlaterale invece vuol dire che la posizione o il movimento hanno luogo sul lato opposto.

#### **4.2. Piani e assi del corpo**

Per lo studio anatomico e dinamico del corpo umano si usano come riferimenti i piani cardinali e gli assi che passano per il centro di gravità. Il piano sagittale divide il corpo in due metà laterali; i movimenti su questo piano occorrono intorno all'asse

medio-laterale. Il piano frontale o coronale divide il corpo in una metà frontale e una posteriore, e i suoi movimenti avvengono intorno all'asse antero-posteriore. Infine il piano trasversale divide il corpo nei segmenti superiore e inferiore, e i movimenti in questo piano avvengono intorno all'asse longitudinale.



**Fig. 38. Piani e assi anatomici.**

Allo stesso modo gli stessi piani e assi servono come riferimento per le articolazioni, il che serve all'analisi dei movimenti complessi degli arti, e anche allo studio dei movimenti in condizioni di microgravità.

### **4.3. Descrizione dei movimenti basici e specializzati**

#### **4.3.1. Movimenti Basici**

Nelle articolazioni del corpo possono avvenire sei movimenti in svariate combinazioni. Per prime troviamo la flessione e l'estensione, che possono verificarsi in quasi tutte le articolazioni del corpo tra cui dita, caviglie, ginocchia, anche, tronco, spalle, gomiti e polsi. La flessione è un movimento di piegamento in cui si riduce l'angolo tra due segmenti adiacenti in relazione all'angolo Zero o

iniziale. L'estensione è un raddrizzamento: l'angolo tra i segmenti aumenta fino al punto Zero. Inoltre c'è l'iperestensione, che avviene quando l'angolo tra i segmenti supera il valore Zero. I muscoli antigravitazionali sono estensori di svariate articolazioni che permettono la postura iniziale o eretta.

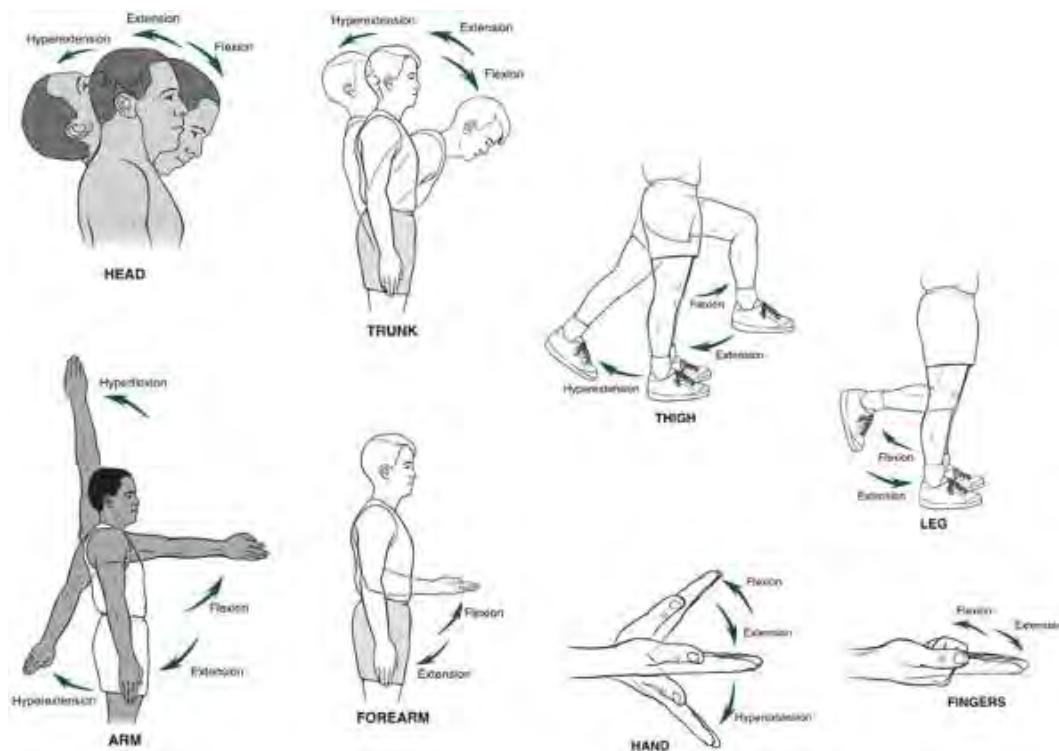


Fig. 39. Movimenti basici: Flessione ed estensione.

L'Abduzione e l'Adduzione sono movimenti comuni ad un numero limitato di articolazioni, tra cui i metacarpi, i metatarsi, le falangi dei piedi e delle mani, le articolazioni dell'anca, della spalla e del polso. Non sono da confondersi con flessione ed estensione. L'Abduzione è un movimento che allontana dalla linea media del corpo o segmento, l'Adduzione è il movimento verso quella linea media.

L'iperabduzione avviene, ad esempio, quando il braccio dopo un'abduzione di circa 180°, si muove ancora per portarsi dietro alla testa. L'iperadduzione accade invece quando il braccio viene portato davanti al corpo, continuando l'adduzione che l'ha portato alla posizione Zero. Il controllo dei movimenti di abduzione e adduzione della coscia è molto importante per la stabilità del bacino e degli arti durante la deambulazione e la corsa.

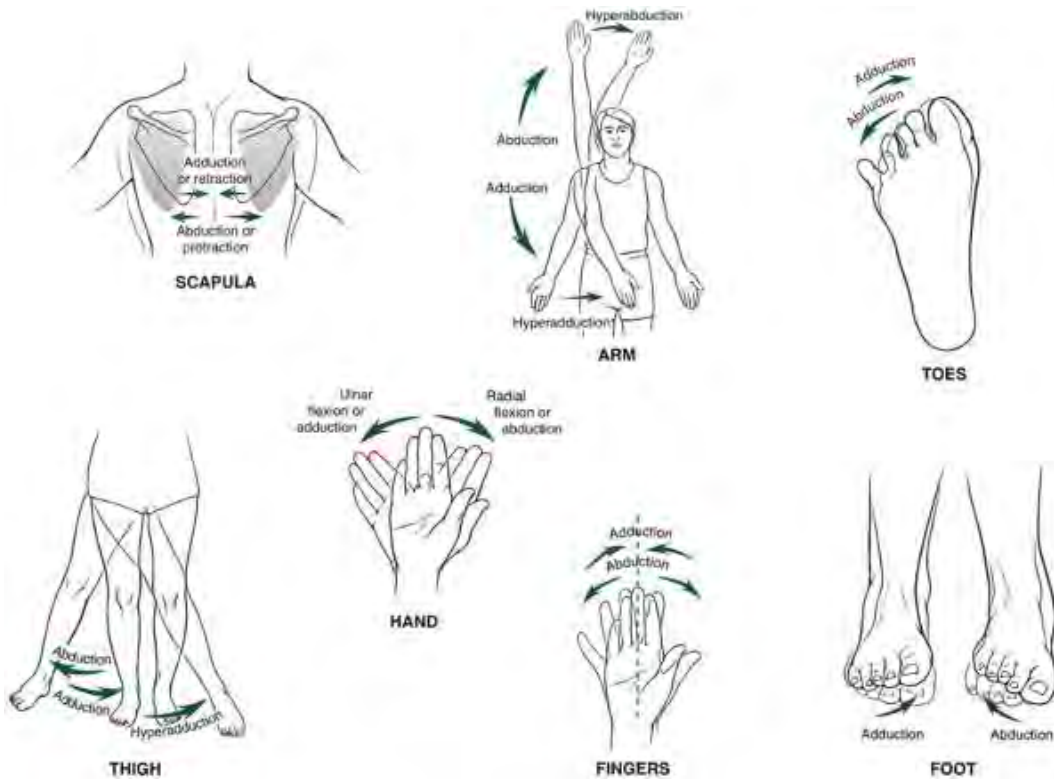


Fig. 40. Movimenti basici: Abduzione e adduzione.

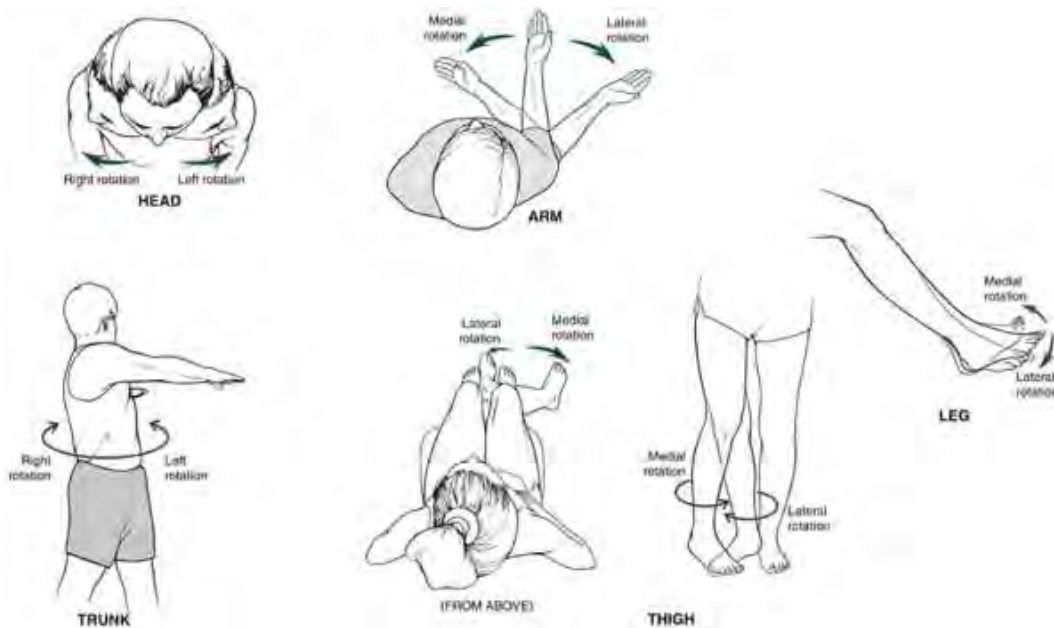


Fig. 41. Movimenti basici: Rotazioni.

Ci sono infine i movimenti di rotazione che possono essere mediali e laterali, in rapporto al senso della rotazione del corpo o del segmento. Solo per il tronco e la testa le rotazioni sono note come destra o sinistra, in accordo alla persona che compie il movimento e non a quella che osserva. Partendo dalla postura Zero, la rotazione avviene intorno all'asse verticale del segmento. La rotazione mediale o

interna porta la superficie anteriore del segmento che ruota verso la linea media del corpo, mentre la rotazione laterale o esterna è il movimento contrario. Le articolazioni delle vertebre, la spalla, l'anca e il ginocchio sono capaci di movimenti di rotazione.

#### 4.3.2. Movimenti specializzati

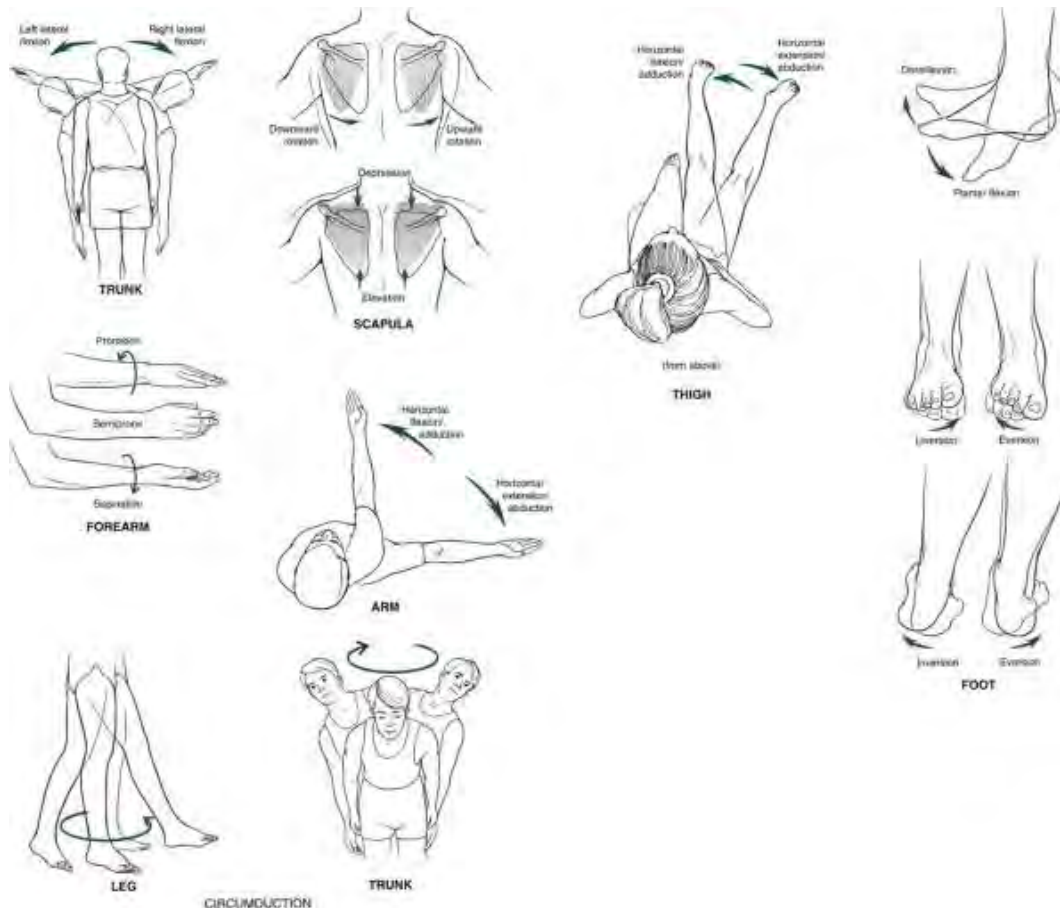


Fig. 42. Alcuni movimenti specializzati.

La maggior parte di questi movimenti specializzati si trova tecnicamente tra i sei movimenti basici, però gli specialisti del movimento utilizzano la seguente terminologia. Flessione laterale destra e sinistra viene usato per i movimenti della testa e il tronco; se questi ultimi si inclinano lateralmente il movimento si chiama flessione laterale. Se il lato destro, sia della testa che del tronco si affaccia verso il basso durante il movimento, quest'ultimo viene chiamato flessione laterale destra. Lo stesso si applica per la sinistra.

Il cingolo scapolare ha movimenti particolari che possono essere descritti meglio osservando i movimenti della scapola: l'alzata di spalle è chiamata Elevazione, e il movimento opposto Depressione. Se le scapole si allontanano si parla di Protrazione, invece quando esse si avvicinano si tratta di una Ritrazione. Le scapole possono infine oscillare in modo tale che la parte bassa si allontani dal tronco e la parte alta si avvicini a esso, ciò è noto come rotazione verso l'alto, e il movimento inverso è chiamato rotazione verso il basso.

Nei segmenti delle braccia e delle cosce, l'adduzione orizzontale, a volte chiamata anche flessione orizzontale, è una combinazione di adduzione e flessione, che porta il segmento davanti al corpo e verso il centro del corpo, in un movimento orizzontale rispetto al suolo. L'abduzione orizzontale o estensione orizzontale è invece la combinazione dell'estensione e dell'abduzione del segmento in un movimento di allontanamento dal piano medio del corpo, orizzontale in relazione al suolo.

Nell'avambraccio, la pronazione e la supinazione si verificano quando l'estremo distale del raggio ruota intorno all'ulna in corrispondenza dell'articolazione radio-ulnare. Nella postura fondamentale la supinazione è il movimento che ruota il palmo della mano verso il fronte, mentre con la pronazione il palmo ruota all'indietro. La supinazione e la pronazione sono anche note rispettivamente come rotazione esterna e interna. Nel passaggio tra posizione supina e prona, l'avambraccio passa per la posizione semiprona nella quale i palmi delle mani sono rivolti verso il torso e i pollici puntano in avanti.

Nel polso il movimento della mano verso il pollice si chiama flessione radiale, il movimento opposto verso il mignolo si chiama flessione ulnare. La flessione plantare e la dorso-flessione plantare sono movimenti del piede, e corrispondono rispettivamente a estensione e flessione. La flessione plantare muove la pianta del piede verso il basso, aumentando l'angolo tra gamba e piede oltre i 90°; la dorso-flessione riduce quest'angolo portando il dorso del piede verso la gamba.

Il piede è capace di un altro paio di movimenti specializzati, chiamati inversione ed eversione, che avvengono nelle articolazioni intertarsali e metatarsali; l'inversione



del piede avviene quando il bordo mediale del piede si solleva in modo che la pianta del piede sia rivolta in senso mediale. L'eversione è il movimento opposto del piede: il bordo laterale del piede si solleva permettendo che la pianta del piede sia rivolta in senso laterale.

L'ultimo movimento specializzato è la Circonduzione, che avviene in ogni segmento o articolazione capace di muoversi in due direzioni: come risultato il segmento si muove in modo conico, con la parte distale del segmento che si muove in un percorso circolare, come quando si disegna un cerchio immaginario in aria. In questo caso la circonduzione non è una rotazione, ma è una sequenza di quattro movimenti del braccio: Adduzione, flessione, abduzione ed estensione. I movimenti di circonduzione sono possibili anche in piede, coscia, busto, testa, e mano.

#### **4.4. L'attività fisica e le ossa**

Le ossa richiedono stress meccanico per crescere e rafforzarsi; esse possono anche lentamente perdere o aggiungere massa e modificarsi in risposta ad alterazioni di carico meccanico, ed è per questo che l'attività fisica è una componente importante dello sviluppo e del mantenimento della loro integrità e forza; il tessuto osseo deve essere stimolato giornalmente per mantenersi in salute. La contrazione muscolare nei movimenti attivi, accoppiata con forze esterne, esercita la maggior pressione sulle ossa, ma non tutti gli esercizi sono ugualmente efficaci. Forze di sovraccarico devono essere applicate per stimolare e adattare la forza, e l'adattamento continuo richiede un sovraccarico progressivo.

In generale, il caricamento dinamico è migliore per la formazione delle ossa rispetto al carico statico; le ripetizioni numerose sono più efficaci, mentre l'esercizio prolungato ha un rendimento decrescente. Le attività di carico ripetitive associate ad attività abituali possono avere un ruolo marginale nella preservazione delle ossa, e invece possono ridurre il potenziale di sviluppo osseo, perché le ossa diventano insensibili. I periodi brevi e intensi sono più efficaci, ed è quindi meglio suddividere una sessione lunga di allenamento in varie più brevi, il che negli adulti può stimolare un miglioramento del metabolismo osseo.

L'effetto dell'attività fisica sulla massa ossea varia nel corso della vita; nello scheletro in crescita, i carichi applicati forniscono un effetto maggiore rispetto a uno scheletro maturo. Negli adulti più anziani con massa ossea ridotta, l'esercizio fisico è moderatamente efficace per la generazione di tessuto osseo. La massa ossea raggiunge i livelli massimi tra i 18 e i 35 anni di età, e successivamente si riduce di circa il 0,5% l'anno dopo i 40 anni. In età adulta, si definisce come massa ossea la massa ossea massima diminuita della quantità persa; l'esercizio può quindi essere efficace soltanto per attenuare il tasso di perdita ossea, ma non per aumentarla.

La perdita di massa ossea dopo una diminuzione del livello di attività può essere significativa; in condizioni di sotto-carico come il riposo a letto, la massa ossea viene riassorbita, con la conseguente riduzione della massa e l'assottigliamento delle ossa. Lo scheletro percepisce i cambiamenti nei carichi e si adatta in modo da essere più efficiente e utilizzare la quantità minima di massa ossea necessaria. In condizioni di microgravità gli astronauti, sottoposti a una ridotta attività e privi degli effetti del peso corporeo, perdono massa ossea in quantità significativa in periodi relativamente brevi. Alcuni dei cambiamenti che si verificano a livello osseo in seguito ai viaggi spaziali includono perdita di rigidità, aumento della flessione di spostamento, diminuzione della lunghezza dell'osso e della sezione trasversale corticale, e rallentamento della formazione dell'osso.

#### **4.5. Azioni dei muscoli**

##### **4.5.1. Azione Isometrica**

La tensione muscolare è generata contro una resistenza per mantenere la posizione, alzare o abbassare un segmento o un oggetto, o controllare il suo movimento. Se il muscolo è attivo e si sviluppa la tensione ma non c'è alcun cambiamento visibile o esterno nella posizione dell'articolazione, l'azione muscolare è chiamata isometrica. Stando in piedi i muscoli estensori della colonna vertebrale hanno un'azione isometrica per contrastare la forza di gravità.

#### 4.5.2. Azione Concentrica

Se un muscolo si accorcia visibilmente durante la generazione di tensione attiva, l'azione muscolare è chiamata concentrica; nel movimento di un'articolazione gli sforzi muscolari avvengono nella medesima direzione, mentre i muscoli antagonisti hanno funzioni di controllo. Il movimento degli arti prodotto da un'azione concentrica del muscolo viene inoltre definito positivo, in quanto le azioni di solito avvengono contro la gravità o sono la fonte iniziale dello spostamento del corpo steso o di una massa esterna.

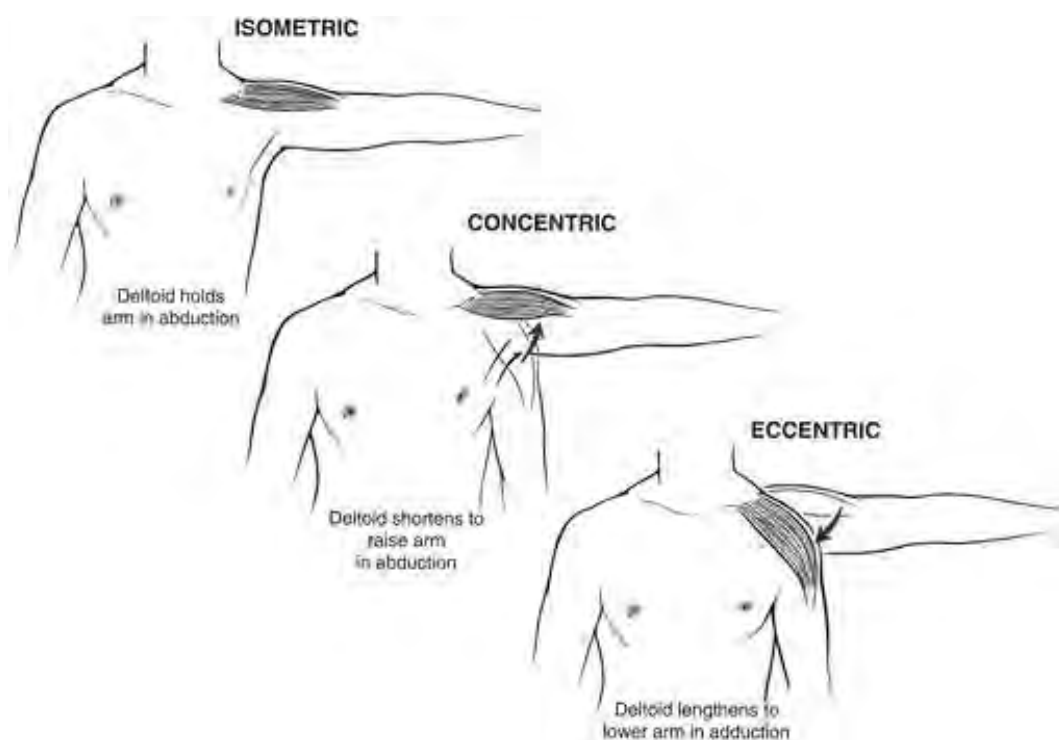


Fig. 43. Azioni dei muscoli.

#### 4.5.3. Azione Eccentrica

Un muscolo sottoposto a una coppia, o momento torcente, maggiore di quello generato dal muscolo stesso, si allunga, e tale azione viene definita Eccentrica. La fonte della coppia maggiore che provoca l'azione sono di solito la gravità oppure l'azione di un gruppo muscolare antagonista.

Il movimento degli arti prodotto dalle azioni eccentriche è chiamato negativo perché le azioni articolari si muovono verso il basso, con la gravità, o sono azioni di

controllo del movimento. Durante un'attività come camminare in discesa, i muscoli si comportano come ammortizzatori e resistono al movimento verso il basso, allungandosi.

#### 4.6. Modalità di allenamento

Ci sono vari modi di allenamento muscolare, con vantaggi e svantaggi in termini di sviluppo della forza.

##### 4.6.1. Esercizio Isometrico



Fig. 44. Esercizio isometrico.

L'allenamento isometrico applica un carico al muscolo in una posizione articolare in modo che la coppia muscolare sia uguale alla coppia della resistenza, e non ci sia movimento. Questo allenamento procura un moderato guadagno di forza muscolare, e viene usato per incrementare la dimensione muscolare (volume), applicando grossi carichi di resistenza.

L'esercizio isometrico viene utilizzato anche per la riabilitazione e per individui fuori forma, perché è più facile da eseguire rispetto all'esercizio concentrico. Il problema principale associato agli esercizi isometrici è che essi non sono molto utili nel quotidiano poiché le attività ordinarie coinvolgono soprattutto azioni concentriche ed eccentriche. Inoltre l'esercizio isometrico aumenta solo la forza del gruppo muscolare nell'angolo articolare in cui il muscolo viene stressato, il che limita lo sviluppo della forza in tutta la gamma possibile del movimento.

#### 4.6.2. Esercizio Isotonico

La modalità isotonica è la più popolare. Un esercizio isotonico è quello in cui il segmento muove un peso determinato in una gamma di moto. Sebbene il peso sia costante, il carico effettivo imposto sul muscolo varia in tutta la gamma di movimento. In sollevamento isotonico, il carico iniziale o resistenza viene superato e poi mosso durante il movimento. Se la resistenza è maggiore della coppia muscolare nel punto più debole dell'articolazione, non è possibile fare l'esercizio.



Fig. 45. Esercizio isotonico.

Per questi esercizi si possono usare Pesi Liberi o Macchine; la differenza principale sta nel fatto che con i pesi liberi si esercitano simultaneamente gruppi muscolari antagonisti per aiutare a controllare il moto, mentre con le macchine la maggior parte del controllo è esercitato dalla macchina stessa, ed è possibile regolare sia la gamma del moto che la resistenza.

Un movimento isotonico può essere prodotto con un'azione eccentrica o concentrica del muscolo, e, sebbene il peso sia costante, la coppia generata dal muscolo non lo è, a causa dei cambiamenti lunghezza-tensione o forza-angolo oppure della velocità del movimento. Avviare una flessione con resistenza richiede più tensione nel muscolo rispetto a quella richiesta a moto avviato, sia per motivi inerziali sia per l'angolo d'inserimento dei muscoli che fa sì che la leva muscolo-scheletrica sia meno efficiente rispetto al range medio del moto, dove la tensione muscolare richiesta è minore e la leva più efficiente.

L'esercizio isotonico potrebbe non sovraccaricare adeguatamente i muscoli nel range medio del moto, in particolare quando viene compiuto molto rapidamente. Un movimento a velocità costante eserciterà il muscolo in tutto il range del moto.

#### 4.6.3. Esercizio Isocinetico



Fig. 46. Esercizio isocinetico.

Gli esercizi isocinetici devono essere eseguiti su un dinamometro isocinetico, che permette l'isolamento di un arto, per eseguire un movimento a velocità controllata con diverse resistenze. Il dinamometro consente inoltre la stabilizzazione dei segmenti adiacenti e la regolazione della velocità di movimento, che va in genere da  $0^\circ$  a  $600^\circ/\text{sec}$ .

Uno degli svantaggi dell'allenamento isocinetico è che nell'attività quotidiana o nelle attività sportive i movimenti di segmenti o arti a velocità continua non sono comuni.

#### 4.6.4. Esercizio Cinetico di Catena Aperta e Chiusa

Molti terapeuti hanno smesso di usare gli esercizi cinetici a catena aperta come allenamento fisico; sono definiti "a catena aperta" quelli esercizi che si fanno con

l'ausilio delle macchine. Si preferiscono invece gli esercizi a catena chiusa, dove si usa il peso del corpo e s'impiegano azioni eccentriche e concentriche dei muscoli. Un esercizio a catena chiusa è un esercizio isotonico con un vicolo fisso, come quando si fa uno squat con i piedi per terra.



**Fig. 47. Esercizio cinetico a catena aperta.**



**Fig. 48. Esercizio cinetico a catena chiusa.**

Si crede che questi esercizi a catena chiusa siano più efficienti di quelli “aperti”, perché utilizzano il peso corporeo e mantengono i rapporti muscolari, e sono più paragonabili alla normale funzione umana.

#### **4.6.5. Allenamento Funzionale**

L'allenamento funzionale è un protocollo di formazione specializzato per scopi specifici che usa anche attrezzature diverse secondo lo scopo funzionale. Questo allenamento richiede di solito in ogni esercizio sia equilibrio che coordinazione, in modo che venga stimolata la stabilità.

Le palle per esercizi, balance trainer (Bosu®), tubi di gomma e pulegge sono alcuni degli strumenti utilizzati nell'allenamento funzionale. Un tipo specifico di formazione funzionale, l'allenamento della forza multi-vettore, è l'allenamento di resistenza nel quale l'individuo deve coordinare le azioni del muscolo che si verificano in tre direzioni o piani di movimento allo stesso tempo.



**Fig. 49. Esercizio di allenamento integrale.**

Il rafforzamento dei muscoli non garantisce da solo un miglioramento delle prestazioni funzionali: dopo l'aumento della resistenza avvengono cambiamenti fisici e i muscoli s'irrigidiscono; lo stesso avviene per i cambiamenti negli input neurali, che richiedono un maggiore coordinamento. Pertanto, il miglioramento della funzionalità non sempre si verifica come conseguenza di un miglioramento della forza.



## 5. L'attività ludica<sup>39</sup>

Il gioco è un'attività che si basa su due componenti: un obiettivo e delle regole. Durante l'attività la o le persone che vi partecipano (giocatori) cercano di raggiungere l'obiettivo rispettando le regole del gioco.

Un gioco può avere una funzione ricreativa, educativa, biologica e/o sociale; l'obiettivo può essere diverso per ogni giocatore, e le azioni al di fuori delle regole costituiscono in genere un errore o fallo che, se fatto in modo intenzionale, equivarrebbe a barare.

### 5.1. Origine e tipologia

L'attività ludica è, ed è sempre stata, molto importante per la storia umana. Esiste una quantità infinita di giochi, e i ludologi ne riconoscono grosso modo diverse tipologie base. I giochi, siano essi popolari o inventati da qualcuno, che è poi sempre difficile da identificare, hanno sempre come premessa l'intrattenimento e il divertimento, e raggiungono molto spesso notevoli risultati educativi. I giochi **basati su forme, lettere e colori** sono fondamentali nelle prime età; negli anni successivi acquistano importanza i giochi **mnemonici** (es. giochi con le carte e di quiz), i giochi che richiedono **ragionamento** (es. scacchi, giochi di strategia) e i giochi preposti **all'apprendimento di alcune realtà** (es. programmi di simulazione). Un elemento importante del gioco è la fortuna, o il caso, e alcuni giochi sono determinati da esso, come i giochi d'azzardo.

Sebbene alcuni giochi possano essere giocati in solitario, nella maggior parte dei casi il gioco prevede la partecipazione di più persone, e alcuni comportano inoltre una competizione tra i partecipanti.

Giocare è un'attività comune a tutte le culture, pur con forme e modalità

---

<sup>39</sup> Tratto da: <http://it.wikipedia.org/wiki/Gioco>

diversissime; così come è comune a tutte le attività ludiche la “gratuità”: il fatto di non essere strettamente necessario. Ciò non sminuisce la sua importanza.

Lo studio dei giochi, la Ludologia, coinvolge spesso molti campi tecnici, inclusi la psicologia, la sociologia, la semiotica, il calcolo delle probabilità, la statistica, l’economia, l’etnomatematica<sup>40</sup> e la teoria dei giochi, branca specialistica della Matematica.

## **5.2. L’approccio filosofico**

I filosofi definiscono il gioco da molteplici punti di vista, però a grandi linee si potrebbe dire che filosoficamente il gioco è associato ad ambiti che trascendono la necessità pratica, vale a dire il lavoro o la produzione di un risultato materiale. Il gioco è un’espressione libera, associata al piacere, alla virtù e alla gioia, ed è anche un’opportunità per l’espressione della fantasia.

## **5.3. L’approccio sociologico**

Roger Caillois<sup>41</sup> definisce l’attività del gioco come:

- Libera: il giocatore non può essere obbligato a partecipare.
- Separata: entro limiti di spazio e di tempo.
- Incerta: lo svolgimento e il risultato non possono essere decisi a priori.
- Improduttiva: non crea né beni, né ricchezze, né altri elementi di novità.
- Regolata: con regole che sospendono le leggi ordinarie.
- Fittizia: consapevole della sua irrealtà.

Inoltre Caillois propone una classificazione dei giochi in quattro categorie:

- Giochi di competizione (agon): In genere tutte le competizioni, siano queste sportive o mentali.
- Giochi di azzardo (alea): Tutti i giochi dove il fattore primario è la fortuna.

---

<sup>40</sup> L’Etnomatematica è lo studio delle pratiche matematiche dei gruppi socioculturali.

- Giochi di simulacro (mimicry): I cosiddetti "giochi di ruolo" dove si diventa "un altro".
- Giochi di vertigine (ilinx): Tutti quei giochi il cui scopo è sfidare noi stessi.

#### **5.4. L'approccio psicologico**

Jean Piaget, che riconosce al gioco una funzione centrale nello sviluppo di una sfera cognitiva personale e della personalità, armonizza due teorie contrapposte, quella del "post-esercizio" di Edward H. Carr, per cui l'attività ludica servirebbe a ottimizzare una nuova dinamica comportamentale, e quella del "pre-esercizio" di Karl Groos, che vede il gioco come momento propedeutico alla vita adulta.

Freud, che è stato il primo ad affrontare il tema, riconosce il gioco come attività d'interpretazione di ruoli, che attiva i processi d'identificazione nei bambini e aiuta a superare le paure, perché consente il trasferimento dell'oggetto di timore su un altro oggetto familiare, per cui non pericoloso.

Inoltre lo psicologo russo Lev Vygotskij considera il gioco anche come forza attiva per l'evoluzione affettiva e umana del ragazzo, e non solo cognitiva come Piaget. Vygotskij considera il gioco anche come un atto che supera i confini dell'attività non finalistica e non produttiva, in quanto, seppur esso sia un atto totalmente gratuito, il gioco costituisce un eccezionale elemento di crescita e di definizione della struttura della personalità in tutti i suoi aspetti.

#### **5.5. L'evoluzione del gioco – Wii Fit**

Questo videogioco unisce i due concetti di cui si parlava prima: Fitness e Ludico. Si approfitta del software come se fosse un allenatore col quale si può avere un feedback simultaneo grazie a una particolare periferica della console Wii, che permette il calcolo del baricentro, e grazie al suo spostamento si ottiene una reazione del software: in caso di esercizi, essa serve a valutare la corretta realizzazione; nel caso dei giochi, lo spostamento del baricentro rappresenta

---

<sup>41</sup> R. Caillois, *I giochi e gli uomini*, Milano, Bompiani, 1981

l'azione da compiere nel gioco, come input mediato dalla periferica e trasformato in moto nel gioco.



**Fig. 50. Wii-Fit® Interazione generale.**

Questa periferica fa uso di quattro sensori di pressione che permettono di valutare gli sforzi nei vettori del poligono di sustentazione. I sensori permettono anche il calcolo del peso dell'utente, e il software permette l'inserimento di dati come l'altezza; l'insieme dei dati acquisiti permette il calcolo del baricentro. Una volta immagazzinata l'informazione dell'utente, il software deve solo calcolare lo spostamento del baricentro tramite le variazioni di pressione dei sensori.



Fig. 51. Wii-Board® e i suoi sensori di pressione.

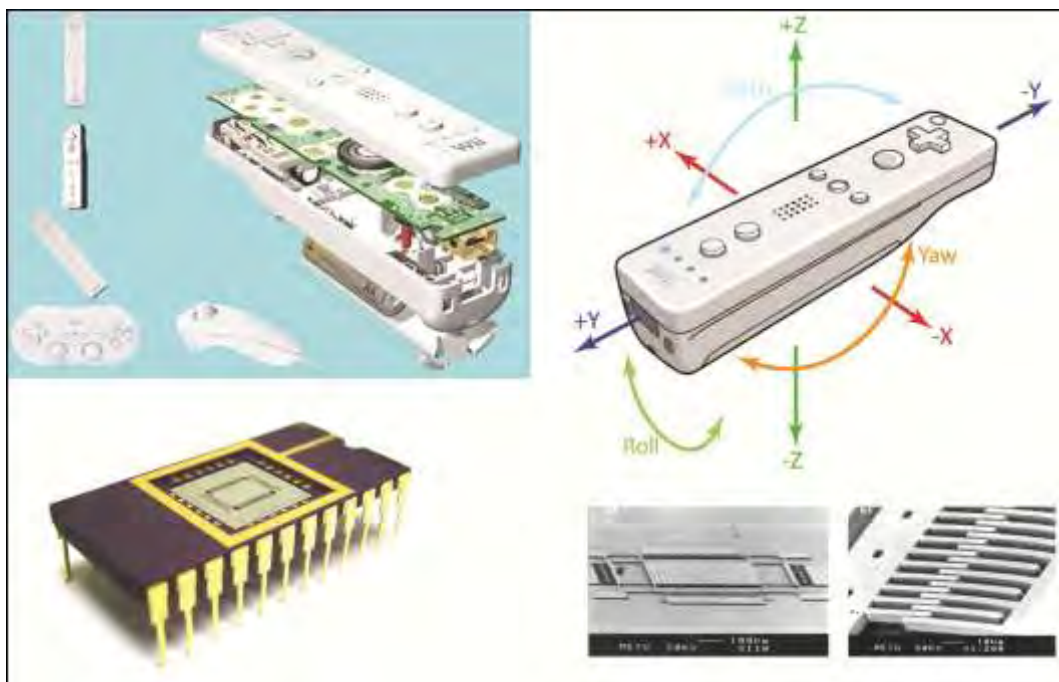


Fig. 52. Composizione interna del telecomando Wii-Mote.

Inoltre la console Wii usa un controller wireless dotato di giroscopi e accelerometri che permettono il calcolo dei vettori e la velocità di un determinato movimento, in genere quello delle braccia. Con il software Wii Fit questi controller sono opzionali

per alcune attività sportive/ludiche, ma sono invece indispensabili per l'interazione d'impostazione e selezione.

Wii Fit permette di impostare programmi di allenamento con obiettivi, oppure di selezionare un programma indicato dal software; Wii Fit funziona anche come calendario per l'amministrazione dei cronogrammi, premia il raggiungimento di determinati obiettivi, e possiede numerose altre funzioni, alcune delle quali fanno uso dell'interattività on-line della console. Contrariamente alle console pre-esistenti, alcuni giochi possono essere aggiornati invece che rimpiazzati con la nuova versione, senza perdere le informazioni dell'utente/giocatore.

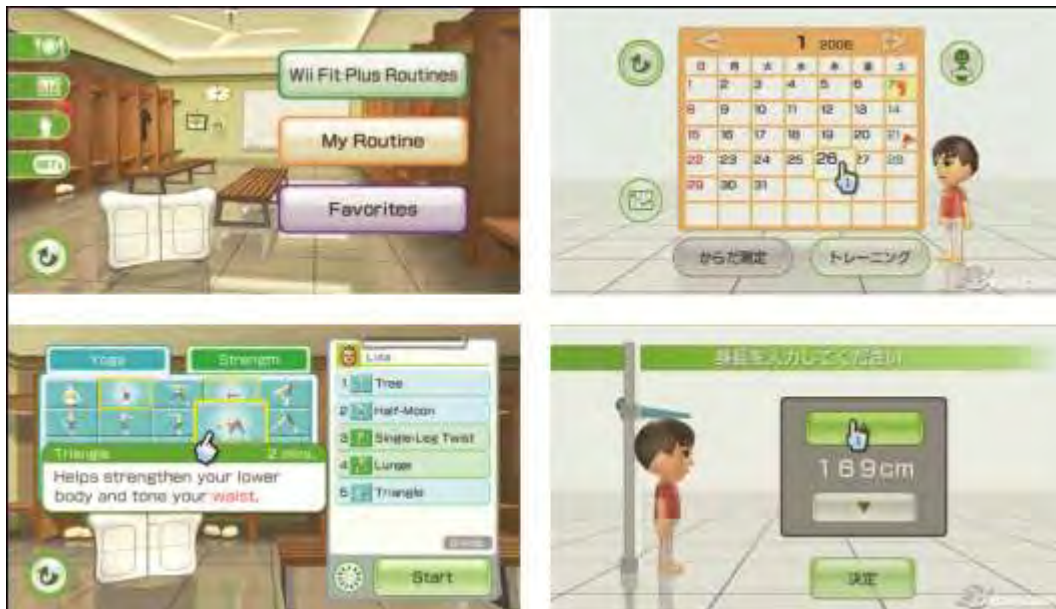


Fig. 53. Passaggi del menu di Wii Fit Plus

L'interattività on-line permette di condividere dati con altri utenti/giocatori, ma è anche un modo di condividere i dati e di fornire un feedback ad un vero medico/terapista/consulente. La console Wii, infatti, e in particolare le applicazioni che usano la Wii-Board, sono state molto apprezzate nel mondo del ricovero terapeutico per pazienti sottoposti ad amputazioni di uno degli arti inferiori<sup>42</sup>. Costoro hanno molta difficoltà a recuperare l'autonomia della deambulazione, dal momento che si verifica una perdita di equilibrio e, come conseguenza, il timore di muoversi da soli.

<sup>42</sup> <http://www.crossgatestoday.co.uk/5037/Seacroft-Hospital-Wii-helps-patients.4835248.jp> e <http://www.edge-online.com/news/balance-board-used-treat-amputation-patients>.

Il principio grafico di questo videogioco si basa sull'interattività intuitiva e la semplicità, e ciò permette l'interazione di utenti di qualsiasi età, con o senza esperienza nei videogiochi.

### 5.5.1. Sensori di pressione

I sensori di pressione, più precisamente chiamati sensori di forza o celle di carico, si trovano nei piedini della Wii-Board. Ognuno consiste in una sottile lamiera di metallo con un estensimetro attaccato alla sua superficie.

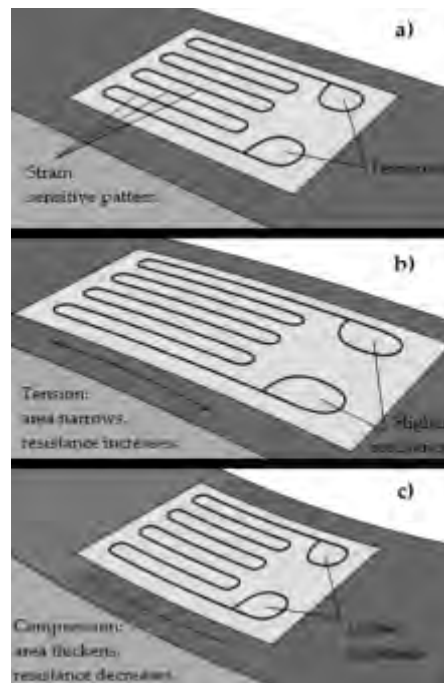


Fig. 54. Funzionamento di un *estensimetro*.

Un estensimetro è fatto da un finissimo e lungo filo metallico piegato a zig-zag, che forma una griglia, con una certa resistenza elettrica; la deformazione sulla lamiera altera la distanza tra i sottilissimi fili della griglia e quindi modifica la resistenza elettrica. La variazione della resistenza elettrica altera il voltaggio del circuito elettrico da cui il sensore fa parte, e una scheda elettronica, appositamente programmata e calibrata, interpreta quella variazione nel voltaggio. L'informazione ricevuta dai sensori, e computata con gli altri dati dell'utente, permette conoscere lo spostamento del baricentro, di forma dinamica, punto per punto costruendo il



percorso, risultando in un input di gioco molto completo, come se si facesse uso di un joystick, ma in questo caso il joystick è il corpo stesso.

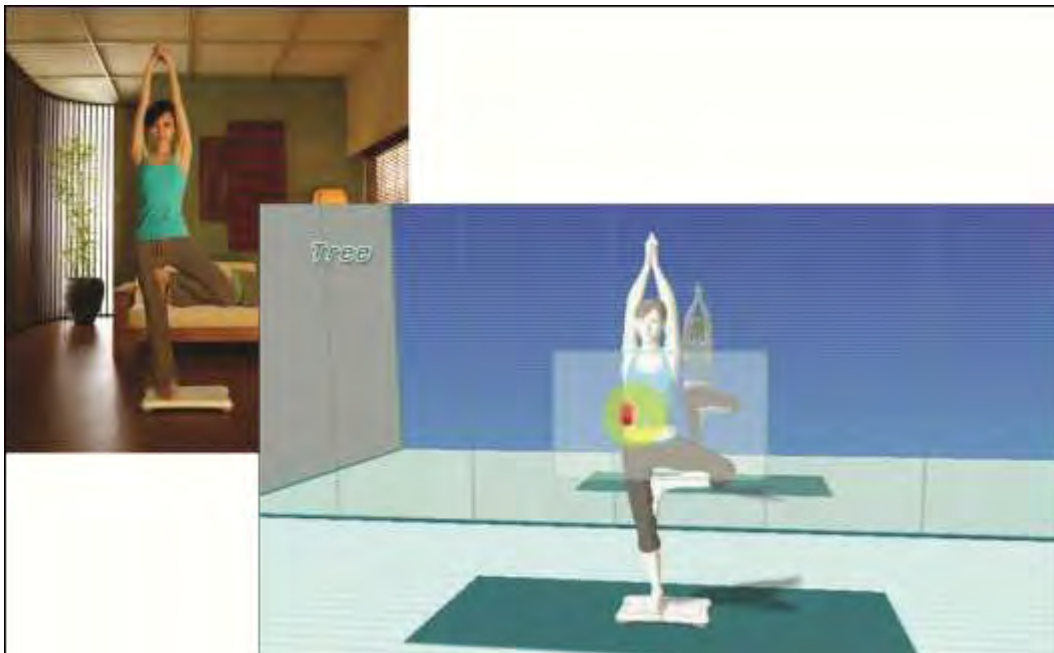


Fig. 55. Visualizzazione dello spostamento del baricentro in Wii-Fit.



Fig. 56. Il corpo diventa un Joystick in Wii-Fit.

### 5.5.2. Accelerometri e giroscopi

La microtecnologia fa parte fondamentale dell'interattività della console Wii; in particolare il controller ha al suo interno un'Unità di Misura d'Inerzia, ovvero IMU (*Inertial Measurement Unit*), una piccola scheda elettronica che contiene due micro sensori elettro-meccanici (MEMS: *Micro-Electro-Mechanical System*): un accelerometro e un giroscopio. Essi permettono una cattura di movimenti molto ampia (fino a 10 gradi di libertà) e molto accurata sui valori di velocità.



Ogni MEMS è un micro-meccanismo sigillato all'interno di un contenitore di dimensioni nell'ordine dei  $4 \times 4 \times 1$  millimetri. Il micro-meccanismo è percorso da un circuito elettrico, e le variazioni dimensionali nei suoi componenti dovute, sia all'inerzia, nel caso degli accelerometri, che all'effetto Coriolis nel caso dei giroscopi, sono rilevate e tradotte dalla scheda elettronica.

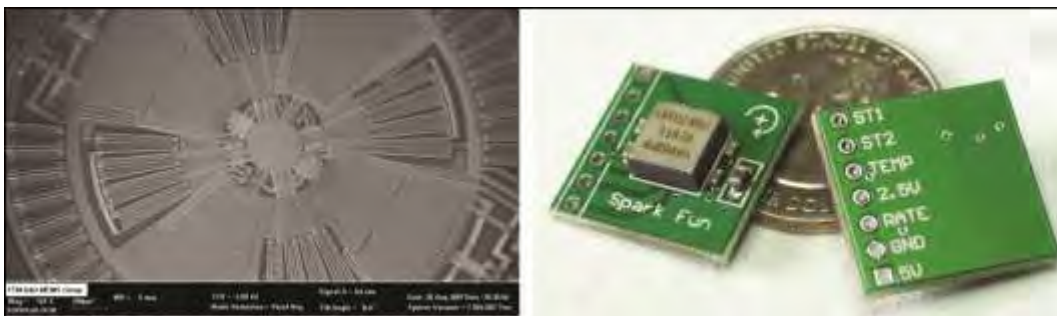


Fig. 57. Giroscopio in dettaglio.

L'accelerometro è capace di misurare le accelerazioni lineari grazie all'inerzia, in un'ampia gamma di valori, e può arrivare a  $\pm 24$  g; il giroscopio misura l'accelerazione angolare grazie all'effetto Coriolis. La precisione si aggira intorno ai 1000 dps (*degrees per second*: gradi per secondo), e misura le rotazioni sui tre assi ( $x, y, z$ ), rollio, beccheggio e imbardata (*roll, pitch, yaw*).

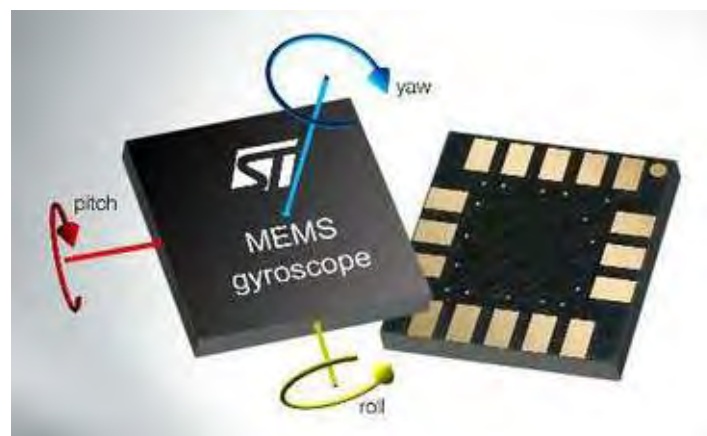


Fig. 58. Assi di rotazione dei giroscopi.

Una conferma diretta da un'azienda produttrice<sup>43</sup> di questi MEMS, assicura il loro funzionamento anche in condizioni di microgravità.

<sup>43</sup> Ingegnere Fabio Pasolini, STMicroelectronics, [fabio.pasolini@st.com](mailto:fabio.pasolini@st.com).

## 6. Parametri per la progettazione spaziale

Per la progettazione di tutto quello che riguarda l'interazione umana in missioni spaziali, la NASA ha per libera consultazione un documento on-line che viene aggiornato in continuazione, la Normativa per l'integrazione Uomo-Sistemi, NASA-STD-3000 che fornisce informazione specifica al fine di garantire una corretta integrazione dei requisiti per le interfacce uomo-sistema con quelli delle altre discipline aerospaziali. Inizialmente questa Norma prevedeva considerazioni per l'ISS, ma è stata aggiornata per considerare altri scenari dell'esplorazione spaziale umana (missioni interplanetarie).

Attualmente il processo di revisione e attualizzazione della norma ha portato allo sviluppo della NASA-STD-3001, che si trova in fase di costruzione: ogni capitolo verrà pubblicato man mano che viene completato. In questo momento il Volume 1, Salute dell'Equipaggio, rimpiazza il Capitolo 7, Volume 1, della norma precedente.

Nel gennaio del 2010 è stato approvato il Manuale di Design per la Integrazione Umana (HIDH: *Human Integration Design Handbook*), NASA/SP-2010-3407, e posteriormente pubblicato per libera consultazione. Tuttavia questo documento, sebbene approfondisca vari argomenti presenti sulla STD-3000, non la rimpiazza del tutto; ciò avverrà quando il volume 2, *Human Factors, Habitability, and Environmental Health*, della norma STD-3001, sarà stato completato.

Di particolare interesse per questo progetto sono:

Dalla NASA-STD-3000, il capitolo 2, *General Requirements*; il capitolo 3, *Anthropometry and Biomechanics*; capitolo 4, *Human Performance Capabilities*; alcuni spunti dai capitoli 6, *Crew Safety*, e capitolo 8, *Architecture*; i capitoli 9,10, 11 e 12 offrono informazioni utili per la progettazione di particolari, inclusi misure e modo di operazione.

Il capitolo 7, *Health Management*, è stato anche consultato, sebbene sia stato rimpiazzato dal Volume 1, *Crew Health*, della NASA-STD-3001.

In entrambi i casi, i documenti incorporano informazioni provenienti da molte aree tecniche e da diverse fonti, siano esse esperienziali di prima mano, siano ricerche teoriche. Questi documenti non sono previsti soltanto per la progettazione delle missioni NASA, ma possono anche avere un uso militare o commerciale.

I parametri scelti vanno anche considerati secondo gli obiettivi della missione<sup>44</sup>. Essi pongono i limiti di massima e minima secondo i fattori specifici della missione.

Nel caso specifico di questa tesi si lavora considerando le condizioni standard dell'ISS, e l'oggetto della tesi non influisce in maniera rilevante né vitale lo svolgimento delle missioni, per cui non è necessario agli scopi di questo lavoro accademico formulare un'ipotesi teorica di una missione per la contestualizzazione del progetto.

---

<sup>44</sup> Wiley J. Larson e Werner Balogh, *Designing Human Space Missions*, in *Human Spaceflight: Mission analysis and design*, a cura di Wiley J. Larson, cap. 2, MacGraw Hill Companies, 1999, pp. 17-52.

## DAL CONCEPT AL PROGETTO

*“Una volta definito il problema, può sembrare a qualcuno che basti avere una idea per risolverlo automaticamente.”*

*- B. Munari, Da cosa nasce cosa, Editori Laterza, Bari 2007*

### 7. Definizione del problema

Come già accennato, la microgravità colpisce in forma significativa le condizioni fisiche degli astronauti. Di particolare interesse sono elementi come lo sviluppo di osteoporosi, la perdita di tessuto muscolare, e il decondizionamento cardio-vascolare e fisico.

L'esperienza delle agenzie spaziali dimostra che la migliore contromisura per questi problemi è l'attività fisica. Gli svariati sistemi a bordo dell'ISS permettono l'allenamento di diversi gruppi muscolari e ossa. Alcuni di essi, come descritto prima, si concentrano sulla capacità cardio-vascolare e altri sulla forza muscolare.

TVIS, RED e ARED sono sistemi che possono stimolare simultaneamente alcuni muscoli posturali e le ossa corrispondenti, però dalla prospettiva ludica non sono molto flessibili, e possono invece risultare monotoni, il che può condurre alla perdita di motivazione.

I sistemi di contromisura presenti nell'ISS non hanno una considerazione particolare dell'aspetto ludico durante la pratica fisica, sebbene si riconoscano i benefici dell'attività fisica sullo stato d'animo e il trattamento dello stress.

L'aumento di equipaggio che si verificherà sull'ISS dal 2010, incrementerà le condizioni di stress dovute ai fattori di convivenza e isolamento, per cui risulta necessario considerare in forma più intenzionale la componente ludica in un'attività fisica che sia anche in grado di concentrare il lavoro fisico in muscoli e ossa ad alto rischio, come quelli posturali.

## 7.1. Il concetto

Un sistema di contromisura (CMS) per gli astronauti, che comprenda un'attività ludico-fisica, orientata ovvero con istruzioni in tempo reale, che stimoli principalmente i muscoli posturali, e che essi a sua volta trasferiscano sforzi nelle ossa della colonna, del bacino e degli arti inferiori.

In assenza di gravità il corpo propende a una postura fetale, la postura neutra, ciò è il risultato della distensione dei muscoli posturali (principalmente estensori delle gambe e della colonna), che non devono lavorare per contrastare l'effetto del carico costante della gravità al quale siamo abituati. Una resistenza a compressione, che propenda allo schiacciamento posturale, stimolerebbe l'estensione dei muscoli posturali, e produrrebbe carichi strutturali nelle ossa del tronco e negli arti inferiori.

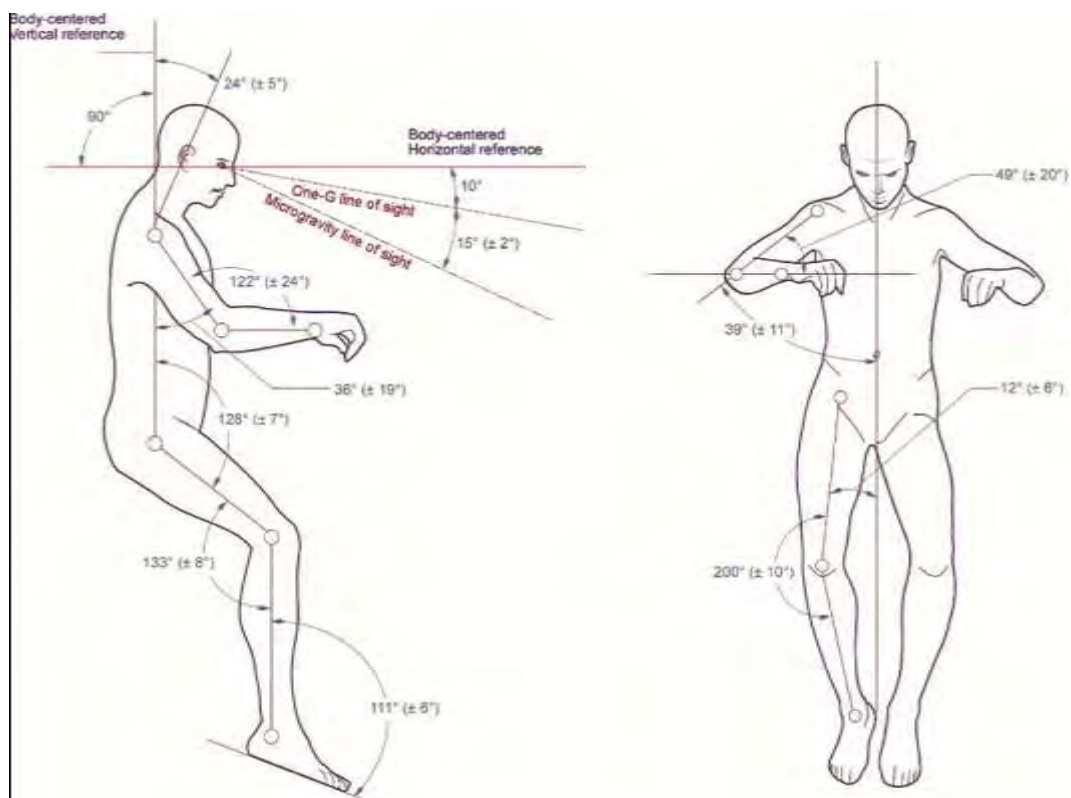
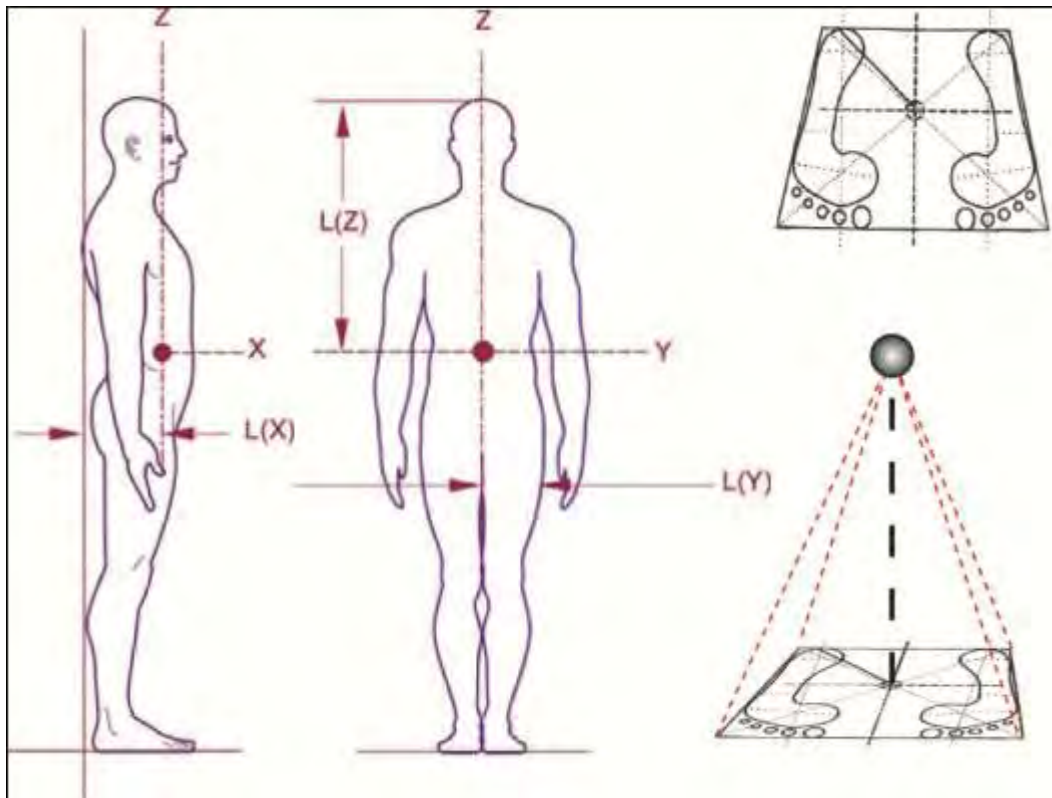


Fig. 59. Postura neutrale in microgravità.

In condizioni di gravità i muscoli posturali si attivano in risposta allo spostamento del baricentro del corpo, e agli input che producono gli organi vestibolari e visivi.

In condizioni di microgravità il baricentro del corpo cambia per lo spostamento dei fluidi corporei, gli organi vestibolari non hanno un riferimento preciso per orientare la persona e quindi ci si orienta con riferimenti visivi.

Una volta individuato e tracciato il baricentro, e con un adeguato input visivo, è possibile orientare il lavoro fisico evitando lesioni. Quest'orientamento funziona come un trainer virtuale che indica il lavoro da eseguire, e tramite un output visivo e/o sonoro può interagire con l'utente. Aggiungendo un profilo ludico a quest'interfaccia è possibile catturare l'attenzione dell'utente stimolando in questo modo la continuità e l'impegno nell'attività fisica.



**Fig. 60. Baricentro e poligono di sustentazione.**

L'obiettivo dell'attività fisica è quello di controllare l'equilibrio del corpo mentre si eseguono gli esercizi proposti, affinché l'astronauta sviluppi un maggior controllo del proprio corpo in assenza di gravità, esercitando muscoli che altri CMS non riescono a stimolare.

## 7.2. Idee

Per cominciare è necessario trovare l'elemento che possa generare una resistenza di compressione sulla maggior parte del sistema muscolo-scheletrico posturale, con il minor ingombro possibile. Le bande elastiche terapeutiche si dimostrano il metodo più efficace per questo fine, anche perché permettono un lavoro molto flessibile riguardo agli esercizi che si possono eseguire con esse.

Riguardo all'interazione, è più adeguato individuare e tracciare il baricentro dell'utente che cercar di catturare i movimenti tramite videocamere, giacché un sistema simile avrebbe bisogno di uno spazio maggiore per riuscire nell'interattività, e nell'ISS lo spazio "libero" è sostanzialmente poco; inoltre c'è un flusso continuo dell'equipaggio per cui il CMS dovrebbe trovarsi in un angolo molto ristretto, dove non causasse nessun disturbo alle operazioni di routine.



**Fig. 61. Accessorio Kinect per la console XBOX 360.**

Invece, tracciando il baricentro, bastano leggeri spostamenti e cambi negli sforzi applicati in una piccola area per riuscire nelle attività, come dimostra l'interazione con la consolle Wii, e la periferica Wii-Board; per cui lo spazio necessario non andrebbe in conflitto con quello a disposizione. Infatti, è interessante considerare la possibilità di un CMS che sia indipendente della struttura, in modo che lo si possa installare in diversi luoghi, a seconda della disposizione di spazio nel momento dell'uso e inoltre favorisca e semplifichi la progettazione per il trasporto e per



l'installazione sulla stazione.



Fig. 62. Lo spostamento del baricentro è l'input nei giochi con la Wii-Board.

I quattro componenti principali del CMS sono stati identificati nel seguente modo:

Il sistema di “schiacciamento posturale”.

Il sistema di orientamento dell'attività.

Il sistema di rilevamento e tracciamento del baricentro.

Il sistema d'immagazzinamento e trasporto.

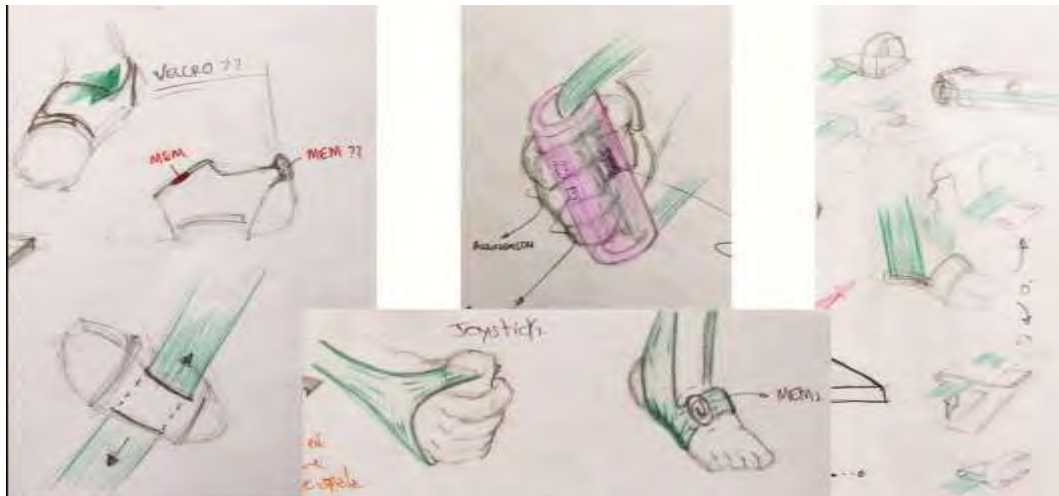


Fig. 63. Disegni iniziali per l'imbracatura di elastici.

Per lo “schiacciamento posturale” la prima idea era un'imbracatura composta di volumi modulari connessi tra di loro con bande elastiche. Quest'idea considerava anche elementi per il lavoro degli arti superiori. Alcuni dei moduli servirebbero



come controlli, con MEMS ed elementi elettronici per l'interazione, che anche funzionerebbero come punti di presa dell'utente per estendere le bande elastiche.



**Fig. 64. Disegni di accessori.**

Da quest'idea iniziale si è cominciato a lavorare sulla semplificazione riducendo il numero di moduli dell'imbracatura, e migliorando concettualmente gli agganci degli arti. Inoltre si era considerata la possibilità di aggiungere compressione al segmento cervicale dello scheletro.



**Fig. 65. Disegni per l'imbracatura di aggancio.**

Simultaneamente si lavorava al sistema di rilevamento e tracciamento del baricentro, dove l'utente si posiziona e si deve anche ancorare mentre esegue il programma di allenamento. L'ancoraggio è fondamentale, dato che l'applicazione

di sforzi in condizioni di microgravità deve essere contrapposta per evitare che l'utente vada a fluttuare senza riferimenti, mettendo a rischio, oltre all'astronauta, apparecchiature varie dell'ISS. Il sistema in questione è anche la periferica d'interazione, allo stesso modo della Wii-Board. Questa sarà un riferimento importante per la progettazione del sistema.

Si è considerata la possibilità di scambiare le bande elastiche, usando la codificazione di colore già presente in prodotti come le Dyna-band® e Thera-band®, che secondo il colore hanno una resistenza diversa. Un'altra possibilità per offrire una resistenza variabile è presente nella modificazione della lunghezza delle bande. Quest'opzione però, ridurre la lunghezza per aumentare la resistenza, e può provocare disagio con l'incremento della tensione della banda a contatto con il corpo.

La progettazione dell'imbracatura e dei suoi moduli si è semplificata molto, dopo aver considerato che per l'interattività e lo sviluppo dell'attività fisica bastasse il rilevamento dello spostamento del baricentro, eliminando così l'uso di giroscopi e accelerometri. Questa imbracatura funziona anche come un sistema di contenimento dei movimenti degli arti superiori, evitando incidenti dovuti a movimenti veloci e reattivi delle braccia che possono imprimere al corpo accelerazioni inerziali potenzialmente pericolose.

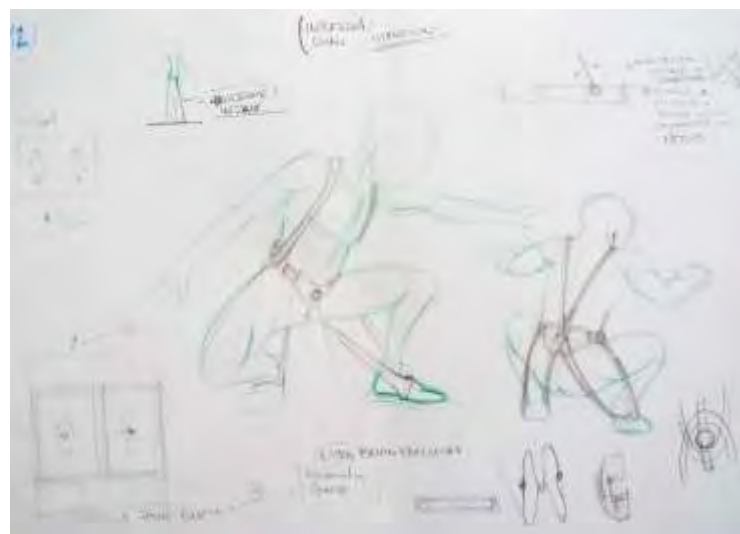
La semplificazione ha portato verso un sistema più facilmente indossabile, un solo elemento elastico, considerando anche che il lavoro sugli arti superiori è generalmente meno intenso, e l'attenzione viene così concentrata sulle strutture posturali. In questa fase progettuale l'elemento elastico viene aperto, e gli estremi vengono agganciati a un unico nodulo sul ventre dell'utente, che permette anche l'aggancio alla superficie di lavoro. Il nodulo è incorporato a una cintura, che include anche due elementi laterali necessari al passaggio dell'elastico e al suo mantenimento in un punto di riferimento fisso sui fianchi, il che è particolarmente importante per il lavoro degli arti inferiori.



**Fig. 66. Disegni di studio per la fascia elastica.**

Si è esaminata la possibilità di rivedere il numero di componenti elastici e il loro aggancio, e sono state anche fatte considerazioni sulle taglie, e la variabilità delle distanze di aggancio per variare la resistenza in questo modo invece che usando una banda di un altro colore. Ma questo comportava la produzione di bande elastiche particolari, e la cintura diventava più complessa per la presenza dei componenti di aggancio.

Questa revisione però, ha permesso di arrivare a una soluzione ancor più semplice, usando un solo elemento elastico chiuso, che si agganciava a un nodulo nella zona lombare, e passava su entrambe le spalle e sotto i piedi. La cintura prevedeva ancora gli elementi laterali che indirizzavano l'elastico, e la parte frontale serviva per l'aggancio alla superficie di lavoro. A questo punto era ancora prevista un'apertura nella banda elastica per infilare i piedi.



**Fig. 67. Sketch. Concept semplificato con un solo elemento elastico.**

Osservando il lavoro terapeutico che si svolge con queste bande, si è riscontrato che la tensione dell'elastico è sufficiente affinché questo venga afferrato, quindi l'apertura non è stata più considerata necessaria. Inoltre, è anche osservabile che le bande possono essere annodate saldamente dagli estremi per formare un elemento unico chiuso, eliminando molte complicazioni produttive e facilitando la regolazione da parte degli utenti.



**Fig. 68. Manipolazione della fascia elastica**

Da quel momento il lavoro si è concentrato sulla semplificazione della cintura. Inizialmente si pensava a una serie di elementi modulari in poliammide, interconnessi da cinghie di nylon. Sulla faccia interna dei pezzi in poliammide sarebbero stati messi volumi di schiuma polistirene, pelle integrale.



**Fig. 69. Disegni di progettazione per la cintura.**

Lo sviluppo dell'attività fisica è previsto con abiti confortevoli. Ciò vuol dire che

sebbene la pelle non sia per forza esposta direttamente a contatto con i componenti del sistema, in alcuni casi potrebbe avvenire accidentalmente, oppure nel caso si scelgano abiti che lascino esposte alcune parti del corpo, come canotte e top.

Riguardo alle bande elastiche a base di lattice naturale, l'incidenza dell'allergia alla gomma naturale non è particolarmente alta (circa 3,5% della popolazione)<sup>45</sup>, ma è comunque un fattore di cui tenere conto. È da considerare la possibilità di fornire le bande elastiche in modo personalizzato, e nel caso che l'astronauta presentasse allergie al lattice, fare uso delle bande prodotte senza lattice, collaudate già in mercato dalla stessa azienda produttrice.

Invece, per quanto riguarda la cintura, essendo un oggetto che avrà un contatto più stretto e continuo sul corpo dell'utente: le condizioni di temperatura, frizione e sudorazione possono incrementare l'incidenza delle allergie dermiche, per cui la progettazione di questo particolare deve considerare con particolare attenzione le caratteristiche ipoallergeniche, d'igiene e di pulizia.

La progettazione della cintura è stata quindi spostata verso le tecnologie più comuni: corpi di tessuto imbottito invece dei volumi di schiuma, poiché per i tessuti è possibile garantire una maggior resistenza ai batteri, applicando trattamenti semplici su tessuti ipoallergenici.

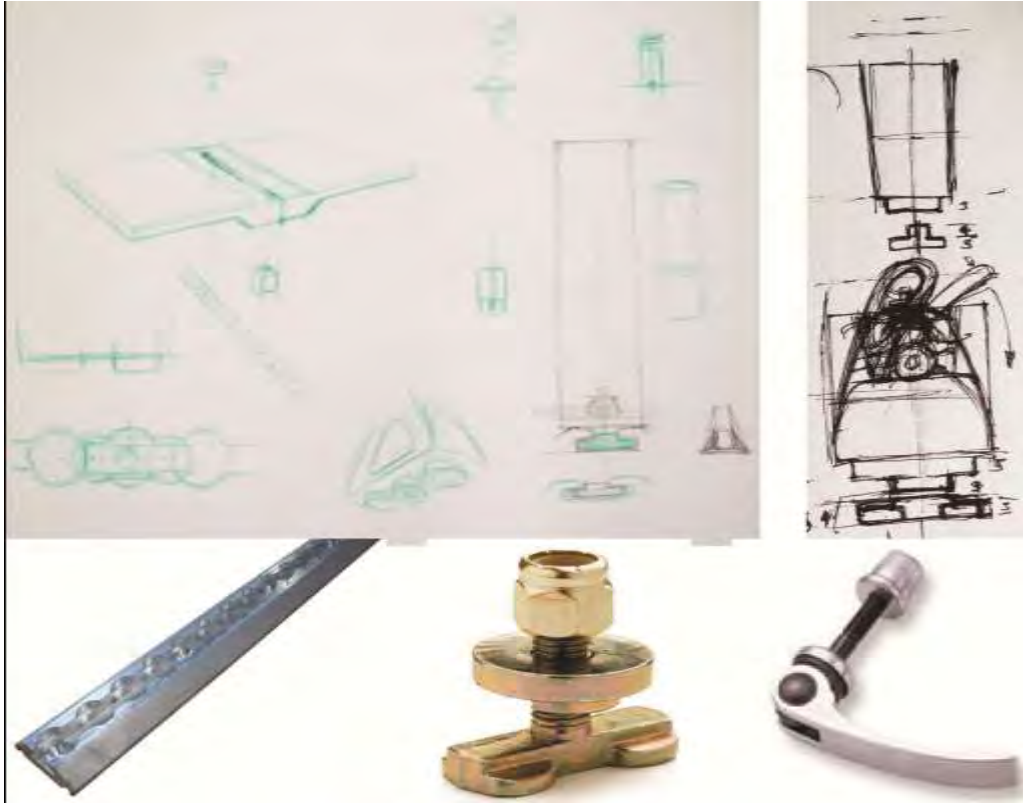
In un primo momento si è considerata la possibilità di realizzare la tavola o pedana di lavoro pieghevole, per risolvere anche le problematiche di trasporto e immagazzinamento, però oltre a elevare il numero di componenti, questa opzione richiedeva soluzioni meccaniche complesse per garantire la stabilità della tavola durante l'uso, e di conseguenza non si sarebbe potuta garantire l'assenza di vibrazioni eccessive trasmesse alla struttura del modulo e della stazione.

Alla fine si è deciso di lavorare con un volume snello, puntando alla semplicità immagazzinamento e d'installazione, e a controllare la trasmissione di vibrazione in un modo già collaudato nell'ISS, nello specifico con RED: controllando il tempo

---

<sup>45</sup> <http://www.bioallergen.com/default.asp?content=1,138,0,0,0,Allergie+al+lattice,00.html>

delle ripetizioni dell'attività. La tavola e gli altri accessori andranno messi in un contenitore che permetterà sia il trasporto dalla Terra alla stazione, sia l'immagazzinamento all'interno della stazione.

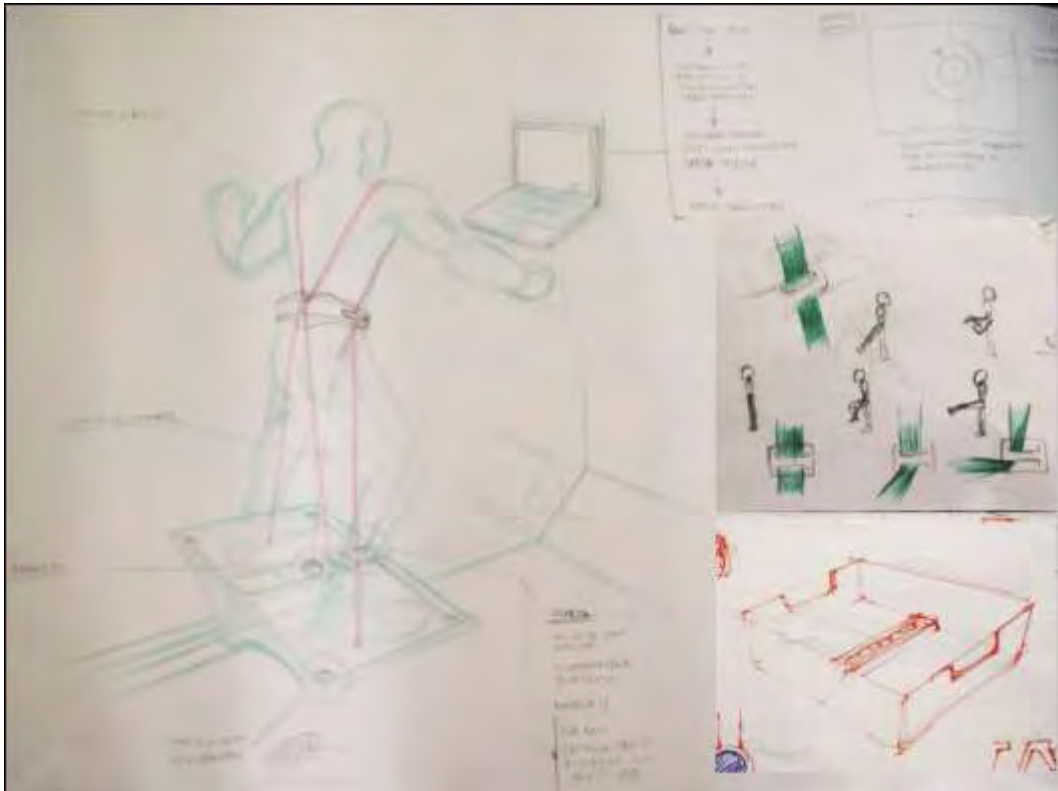


**Fig. 70. Componenti concettuali della pedana.**

Il sistema per l'orientamento dell'attività è composto dal software e dall'hardware. Per il software s'ipotizza un programma molto semplice visualmente, che possa funzionare con l'hardware presente nei personal computer di cui dispone l'equipaggio. La comunicazione tra la tavola e il computer può avvenire tramite un sistema wireless Bluetooth, oppure tramite un cavo, di preferenza collegati a porte USB poiché sono oggi le porte più comuni in uso e la loro scelta facilita possibili ricambi e riparazioni.

I sensori di pressione nella tavola hanno una richiesta elettrica abbastanza bassa, così come i sistemi di comunicazione wireless, ma bisogna valutare l'uso di una fonte elettrica, seppur piccola. Inoltre si osserva la difficoltà di portare sulla stazione elementi che trasmettano informazioni in onde radio in un ambito così delicato.

L'opzione di un collegamento con un cavo USB è più sicura in termini di trasmissioni dei dati e permette anche l'alimentazione elettrica simultanea per il circuito dei sensori di pressione.



**Fig. 71. Concept definitivo.**



## 8. Il progetto: Descrizione



### 8.1. Il dispositivo

L'obiettivo dell'uso di Space Fit è quello di svolgere attività fisiche orientate a migliorare il controllo del proprio baricentro applicando uno stimolo costante per costringere l'utente a usare i muscoli posturali; le attività fisiche vengono valutate da un software che riceve le informazioni tramite i sensori di pressione nella pedana.

Questo progetto propone l'uso del medesimo principio interattivo dell'applicazione Wii Fit, unendo i benefici di un'attività fisica e allo stesso tempo ludica, agli astronauti sull'ISS. Portare una console Wii sulla stazione non è una soluzione valida perché essa ha troppi componenti indipendenti e la loro progettazione non prevede un immagazzinamento compatto. Inoltre, la console Wii prevede un ampio uso di tecnologie wireless.



L'applicazione potrebbe essere una versione per PC del software originale "Wii Fit", però esso richiede un hardware particolare, che supera le caratteristiche dei PC a disposizione dell'equipaggio, in particolare sul rendimento grafico. Inoltre l'applicazione Wii Fit prevede esercizi con ripetizioni in cicli minori ai tre secondi: al di sotto del parametro di sicurezza stabilito dai tecnici delle agenzie spaziali per evitare la trasmissione di vibrazione alla struttura dei moduli, vibrazioni risultanti dalla esercitazione in CMS senza sistemi di smorzamento. Per tutto questo l'applicazione interattiva per lo Space Fit deve essere fatta appositamente per il sistema proposto, tenendo in conto l'hardware disponibile, gli obiettivi dell'allenamento e le limitanti che riguardano la struttura della stazione.

Space Fit non contempla un sistema d'isolamento delle vibrazioni perché le attività fisiche non prevedono un alto impatto, bensì movimenti controllati, focalizzati a stimolare muscoli particolari. D'altra parte un sistema di smorzamento complica la progettazione, non soltanto per il numero e complessità dei componenti, ma anche perché richiede uno spazio maggiore nella struttura e di conseguenza la progettazione del dispositivo per fissarlo (che sarebbe un altro progetto).

Space Fit richiede una fase di settaggio sulla Terra, prima del viaggio degli astronauti. Per gli astronauti già in orbita è possibile usare le attrezzature presenti nell'ISS per fare le valutazioni rispettive, estrapolando i dati dei soggetti sulla Terra.

A ogni astronauta viene indicata la lunghezza e il colore dell'elastico che deve usare, dopo la valutazione medica sulla Terra. Lo sforzo richiesto corrisponderà alla massa corporea di ogni individuo, e si cercherà di riprodurre gli sforzi assiali che agiscono sul corpo quando esso è sottoposto alla forza di gravità.

Sulla Terra è anche necessario calibrare il baricentro di ogni astronauta. Lo spostamento del baricentro in microgravità è noto<sup>46</sup>, e quindi usando i dati raccolti sulla Terra, e mediante l'uso della pedana si può calcolare lo spostamento in

---

<sup>46</sup> NASA-STD-3000, cap. 3 *Anthropometrics and biomechanics*, pp. 64-67.

microgravità. Per gli astronauti già sulla stazione si possono usare le attrezzature a disposizione per calcolare la massa dell'astronauta.



Fig. 72. Dispositivo di accelerazione lineare per la misurazione della massa corporea, sull'ISS.

## 8.2. I componenti

### 8.2.1. Bande elastiche

La banda elastica è l'elemento fondamentale per l'allenamento con Space Fit. Commercialmente si trovano due marchi particolarmente noti per la loro qualità, Dyna-Band e Thera-Band. La prima ha una gamma di quattro resistenze diverse, mentre l'altra ne ha otto. In entrambi i casi si tratta di un'estrusione di lattice, con una larghezza di 5 pollici e mezzo, e sono disponibili in rotoli o pezzi pre-tagliati lunghi circa 3 metri, che è la misura indicata come "ottimale" per il lavoro terapeutico.



Fig. 73. Thera-Band in rotoli.

Il marchio Thera-Band offre un prodotto libero di lattice, però con le stesse

prestazioni del prodotto originale, in questo modo si può garantire che non ci saranno problemi di allergie negli utenti.

Si dovrà indicare agli astronauti, prima di volare, quali sono la lunghezza e il colore del nastro da usare, il che dipenderà dalle capacità fisiche di ogni soggetto. Le valutazioni fisiche periodiche permetteranno stabilire se sarà necessario aumentare o diminuire il carico fisico, cosa che si può fare allungando o accorciando la fascia elastica.

La resistenza delle fasce dipende dal colore e anche dall'estensione percentuale, e il punto di rottura possibile indicato dal produttore è oltre il 300% di allungamento. La presenza di sporgenze e punte che possono generare piccoli buchi e crepe laterali può aumentare il rischio di rottura, per cui è sconsigliato l'uso di piccoli accessori di plastica o metallo, anche perché essi possono trasformarsi in pericolosi proiettili in caso di strappo.

Per lo più vengono usati accessori fatti con nastri di Nylon, che offrono una notevole resistenza e flessibilità di uso.

L'utente potrà scegliere la lunghezza della banda, oppure sarà indicata dai medici, e dovrà annodare entrambe le estremità, creando così un anello elastico con il quale si lavorerà.

### **8.2.2. Cintura**

La cintura deve permettere il passaggio della banda, senza però danneggiarla. Il produttore delle bande elastiche consiglia l'uso di accessori fatti di cinghie e tessuti vari per afferrare la banda quando non la si può o non la si vuole afferrare direttamente con le mani. L'elastico, quindi, dovrebbe passare all'interno di anelli di cinghia o tessuto, o superfici prive di bordi taglienti nel caso sia inevitabile l'uso di materiali non tessuti.

La cinghia deve essere regolabile, e permettere una variazione simmetrica delle misure; in questo modo l'anello posteriore rimane centrato nella zona lombare della

colonna, e l'aggancio alla pedana rimane anch'esso centrato sull'asse verticale, nella zona ventrale.



Fig. 74. Dettaglio della cintura indossata.

Secondo le misure riportate dalla NASA-STD-3000<sup>47</sup>, la variazione tra la circonferenza della cintura più piccola, 5% femmina giapponese, e la più grande, 95% maschio americano, va dai 50 cm ai 100 cm circa.

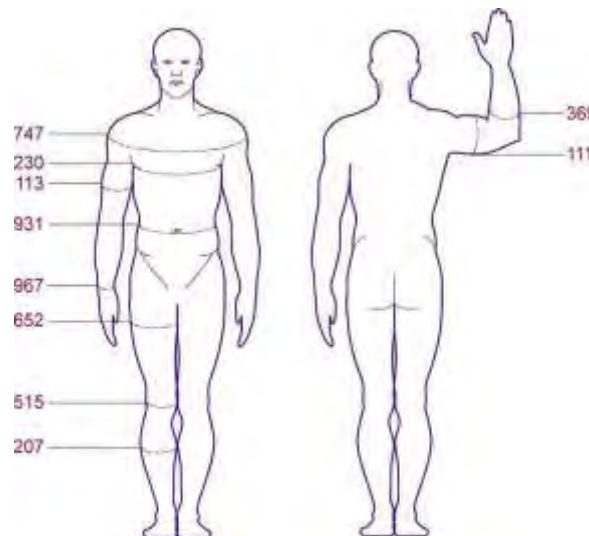
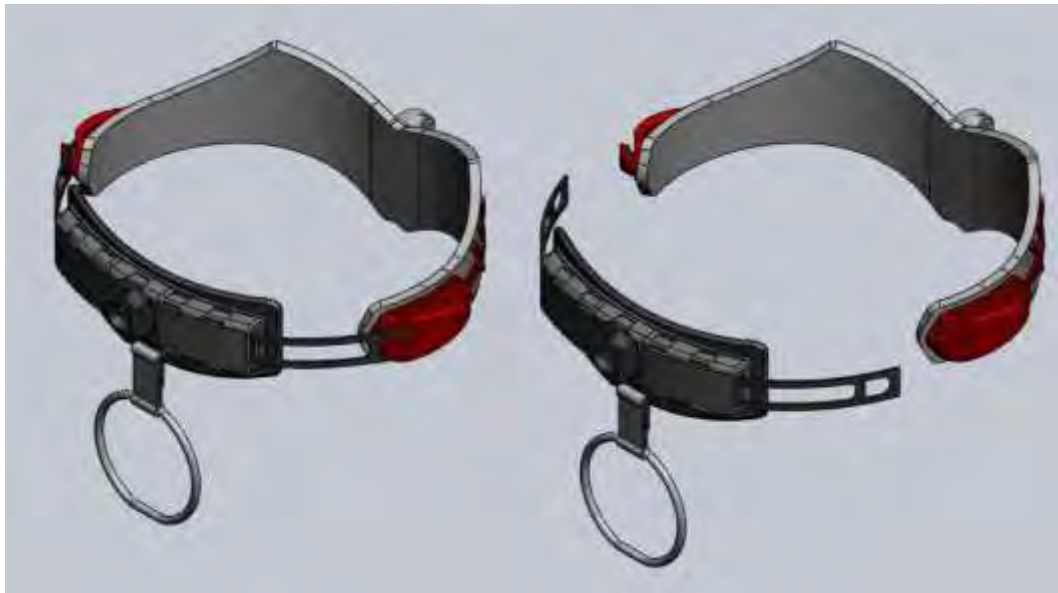


Fig. 75. Identificazione dei perimetri del corpo (NASA).

Per permettere la simmetria della regolazione si è deciso di scomporre la cintura in due corpi: il ventrale che include il sistema di regolazione e il lombare che ha gli elementi di “passaggio” della banda elastica. I due corpi si collegano tra di loro con degli agganci “anello-gancio”, che si aggiustano simultaneamente con la regolazione dimensionale.

<sup>47</sup> NASA-STD-3000, cap. 3 *Anthropometrics and biomechanics*, pp. 1-20.



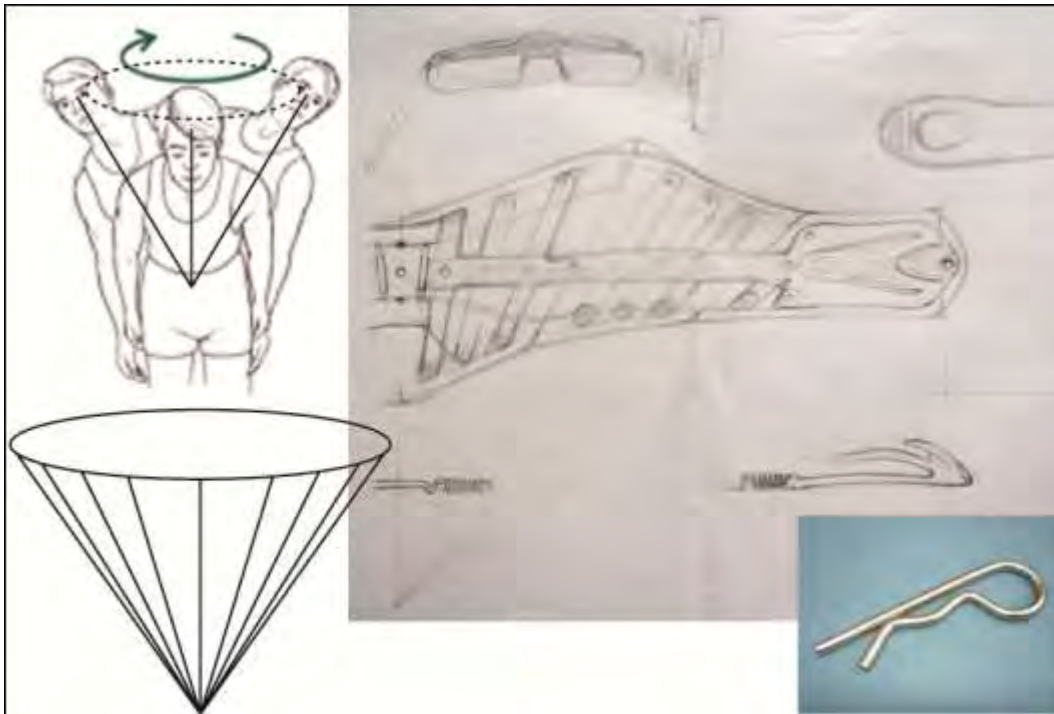
**Fig. 76. Cintura Space Fit.**

Come sistema di regolazione è stato scelto un sistema di cricchetto, simile a quelli che vengono usati per i caschi di sicurezza, e le cinte che scorrono nel sistema hanno un'estremità ad anello, per agganciarsi ai ganci negli estremi del corpo lombare.



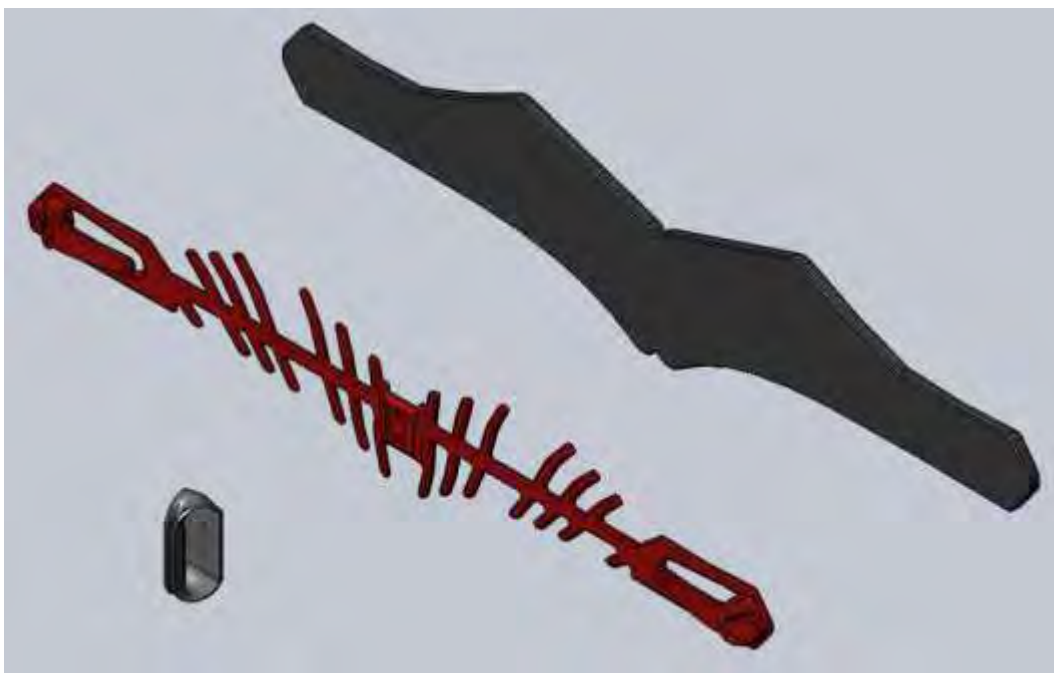
**Fig. 77. Cricchetto.**

La progettazione della cintura ha considerato il movimento di rotazione del tronco; questo movimento, che è sostanzialmente conico, fa sì che la cintura abbia delle variazioni dimensionali durante l'uso. Un corpo fatto interamente in materiali tessili e imbottiture avrebbe comportato un'eccessiva flessibilità che andrebbe in conflitto con il lavoro fisico, per via di spostamenti indesiderati della cinghia, e di conseguenza, della banda elastica.



**Fig. 78. Progettazione della cintura.**

È stato deciso quindi, per il corpo lombare, di realizzare un elemento composto di corpi in tessuto imbottito e una struttura portante, semirigida, con delle sporgenze, per il passaggio laterale della banda elastica e l'aggancio al corpo ventrale. La struttura semirigida offre anche un ancoraggio saldo per l'anello di tessuto per il passaggio lombare della banda elastica. Quest'anello si fissa con rivetti.



**Fig. 79. Corpo lombare della cintura.**

La struttura semirigida è stata progettata considerando il movimento conico della cintura, usando le generatrici del cono per indicare gli assi strutturali. Le loro lunghezze dipendono dalla sagoma del corpo imbottito, che deriva dall'osservazione diretta e la consultazione di fonti specialistiche<sup>48</sup>. Il componente è fatto con tecnologie di manifattura rapida, visto che i volumi di produzione saranno assai bassi. Il materiale scelto, PFP03<sup>49</sup>, è stato sviluppato sul Poliammide 12 della *Malcolm Nicholls Limited*<sup>50</sup> specificamente per i sistemi di prototipazione rapida per sinterizzazione laser selettiva (SLS).

Il corpo imbottito è composto di due fasce diverse. L'esterna –alla quale s'incollerà la struttura semirigida–, è di tessuto di poliammide (Nylon) che facilita il processo di giunzione (poliammide-poliammide), e che come caratteristiche del tessuto, non richiede molta manutenzione, ha un'ottima durata nel tempo e un'ottima resistenza meccanica. La fascia interna è di tessuto di cotone per due ragioni fondamentali: è ipoallergenico e riceve meglio il trattamento di nano-particelle di argento che lo rende antibatterico e riduce la necessità di pulizia<sup>51</sup>.



**Fig. 80. Imbottitura.**

L'imbottitura è fatta con gel in foglio, tagliato con la sagoma indicata. Si preferisce il gel con rispetto al neoprene e alla fibra di poliestere "tessuto non tessuto", per le sue proprietà ipoallergeniche e antibatteriche.

<sup>48</sup> Francine Gemperle et al. *Design for Wearability*, Institute for Complex Engineered Systems, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1998.

<sup>49</sup> Vedere Allegato 5.

<sup>50</sup> [http://www.mnl.co.uk/News/Oct\\_2009\\_New\\_SLS\\_InnovPA\\_1550\\_XS.html](http://www.mnl.co.uk/News/Oct_2009_New_SLS_InnovPA_1550_XS.html).

<sup>51</sup> A. S. M. Raja et al., *Synthesis of spray dried polyvinyl pyrrolidone coated silver nanopowder and its application on wood and cotton for microbial resistance*, Indian Journal of Fibre & Textile Research, Vol. 35, Marzo 2010, pp. 59-54





**Fig. 81. Gel in foglio.**

Il corpo ventrale è anch'esso composto di un corpo imbottito e il meccanismo di cricchetto. L'elemento imbottito è fatto nello stesso modo di quello del segmento lombare.

#### **8.2.2.1. Sistema di regolazione a cricchetto**

Il sistema a cricchetto è stato progettato in base alle caratteristiche dei brevetti US7000262 e US7043772<sup>52</sup>. I componenti sono stati progettati per corrispondere a una superficie curva di raggio 250 mm. Il meccanismo è composto di due scocche, interna ed esterna, il cricchetto, due cinte che scorrono tra le due scocche grazie all'azione del cricchetto, e la manopola che lo fa girare.



**Fig. 82. Cricchetto: Particolari.**

Per i requisiti di scorrimento del meccanismo il materiale più adatto è la poliammide, che è anche un ottimo materiale per la produzione di serie piccole, di alta precisione, con processi di manifattura rapida.

<sup>52</sup> Vedere allegati 3 e 4 rispettivamente.



La scocca interna del sistema a cricchetto va incollata al corpo imbottito, e su di essa si assembla il tutto. A questa scocca va anche agganciato un nastro che allaccia dall'altra estremità un anello di gomma la cui funzione è quella di permettere uno smorzamento delle tensioni nell'agganciamento dell'astronauta alla pedana.

#### 8.2.2.2. Anello posteriore

Quest'anello deve permettere il passaggio della banda elastica, garantendo un'ottima resistenza allo strappo ed evitando che la frizione tra l'anello e la fascia possa danneggiare quest'ultima. Seguendo le raccomandazioni del produttore delle fasce elastiche, la miglior opzione per quest'anello è il nastro di nylon.

Il nastro va cucito formando un anello, e poi lo si fissa alla struttura del corpo lombare della cintura con dei rivetti. I rivetti garantiscono una salda tenuta tra i due componenti.

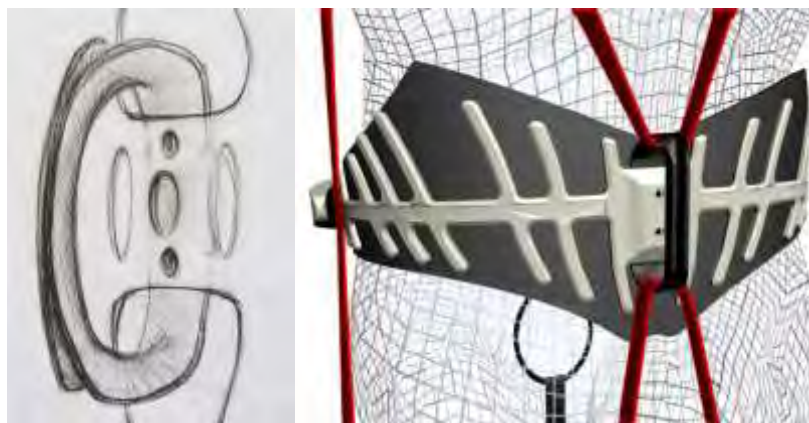


Fig. 83. Anello posteriore.

Inoltre la tensione che la fascia elastica esercita sull'anello avviene simultaneamente verso la porzione superiore e quella inferiore del corpo dell'astronauta; questo evita un sovraccarico in una direzione particolare, il che evita lo spostamento della cintura, e anche possibili sovra sforzi sulla giunzione tra il nastro e la cintura, in particolare sui rivetti.

### 8.2.2.3. Passaggi laterali per la fascia elastica

Sono state progettate due sporgenze nelle estremità della struttura semi rigida della cintura. Queste sporgenze ricordano una copiglia di sicurezza elastica o R-Clip, e servono a infilare la fascia elastica per indirizzarla sui fianchi dell'astronauta, e permettere così un lavoro più confortevole. I clip laterali permettono anche di aumentare la quantità di variabili per l'esercitazione.



Fig. 84. Gancio laterale.

### 8.2.3. Pedana di esercitazione

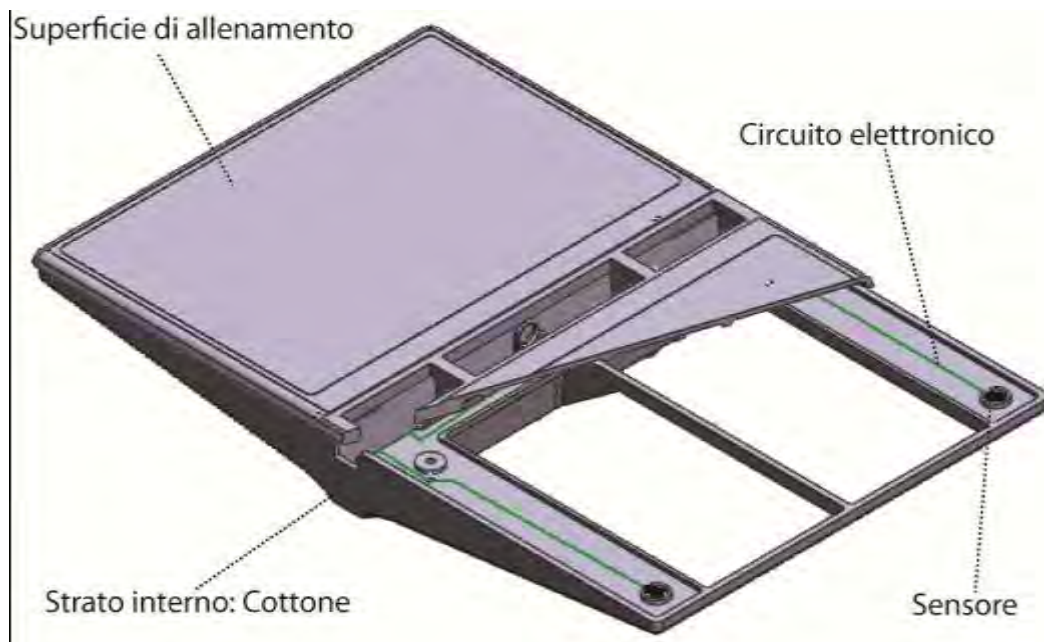
La pedana è stata progettata imitando lo stesso principio funzionale della Wii-Board<sup>53</sup>: quattro sensori di pressione (estensimetri), nei quattro angoli di una superficie rettangolare che permettono misurare i cambiamenti di sforzi nel poligono di sustentazione dell'utente. I valori riferiti dai sensori vanno computati con i valori di altezza e peso dell'utente per calcolare la posizione del baricentro del corpo e il suo movimento.

Il movimento del baricentro viene interpretato dal software (video gioco) come input di movimento o come un valore comparativo per valutare il successo o meno di un'azione indicata dal software stesso (allenatore virtuale).

Nell'ISS ci sono attrezzature per misurare la massa degli astronauti, e inoltre i valori dello spostamento del baricentro e la variazione nell'altezza degli astronauti possono essere anch'essi misurati. Per quanto riguarda ai sensori di pressione, in condizioni di microgravità l'utente, se ancorato a un punto fisso, può anche

<sup>53</sup> Vedere Allegato 2.

esercitare una pressione con i piedi. L'ancoraggio oltre a permettere l'applicazione degli sforzi, evita anche che l'astronauta fluttui in forma incontrollata.



**Fig. 85. Pedana.**

I sensori sono estensimetri, e funzionano rilevando le piccole variazioni nella loro superficie; dette deformazioni superficiali allungano o accorciano le distanze tra i filamenti il che modifica la conduttività del circuito elettrico che percorre l'estensimetro. La variazione della conduttività è interpretata dal software e trasformata in input dopo la computazione insieme agli altri dati dell'utente.

La pedana è composta di due pezzi fondamentali: un telaio e una superficie. Tra di esse vanno piazzati i sensori. Il telaio è più rigido della superficie, e la separazione tra di essi, grazie alla leggera flessione della superficie, permette lo schiacciamento delle tasche di gomma, che contengono i sensori. Per i requisiti di leggerezza e resistenza è stata scelta una lega di Alluminio-Zinco, 7079.

I moduli dell'ISS hanno una struttura interna, dove vengono messe le attrezzature scientifiche. Il telaio frontale di detta struttura è di binari per sedili (*seat tracks*), che permettono l'ancoraggio di un'ampia varietà d'oggetti, tra cui maniglie e supporti per computer. Il principio di ancoraggio è semplice, e la modularità dei binari permette un'ampia flessibilità per fissare la pedana di lavoro.



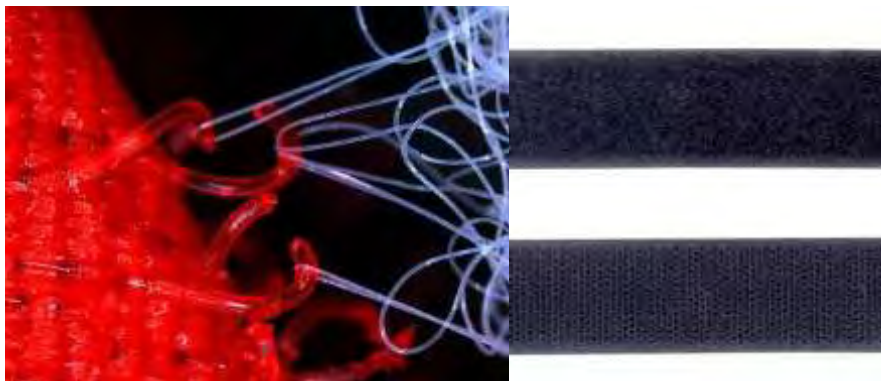
**Fig. 86. Meccanismo “Quick Release”**

Per il fissaggio è stato progettato un elemento che lavora come blocco del telaio al binario, e allo stesso tempo ha un anello che permette l’aggancio dell’astronauta: in questo modo l’utente è solidale alla struttura stessa del modulo spaziale.

I sensori sono connessi a una scheda elettronica, che ha anche una porta USB, e che tramite un cavo connesso da essa alla porta USB nel computer, porta elettricità al circuito dei sensori e trasmette le informazioni della scheda elettronica.

#### **8.2.4. Nastro di aggancio**

Per agganciare l’astronauta alla pedana si usa un nastro di nylon che a un’estremità ha un gancio a occhio o moschettone, all’altra invece si allaccia all’anello di gomma nella parte frontale della cintura, e si assicura con il velcro.



**Fig. 87. Velcro.**

Il velcro è molto versatile come sistema di chiusura, e assicura una tenuta salda nel senso longitudinale delle strisce, ma facile da aprire se vengono tirate nel senso perpendicolare.



**Fig. 88. Moschettone e gancio a occhio.**

I ganci a occhio permettono un aggancio semplice con un'azione meccanica semplice.

### 8.2.5. Alimentazione elettrica

Per il funzionamento dei sensori si richiedono soltanto 5 volt, che generano un circuito di 0,1 mA. Questa energia è erogata dal computer tramite il cavo USB, che simultaneamente permette la trasmissione di dati.

### 8.2.6. Software e grafica



**Fig. 89. Immagini di videogiochi. Basso e alto rendimento.**

Il software per l'allenamento è molto simile all'applicazione Wii Fit: esso indicherà le attività da svolgere, mostrando sullo schermo dove l'utente deve muovere il suo baricentro tramite l'interazione con la pedana. L'applicazione valuterà la precisione e il tempo dello spostamento assegnando punti di successo. I dati di ogni sessione

vengono archiviati nel software, e in questo modo il software è anche in grado di fare una valutazione storica e non soltanto della sessione particolare, stimolando un miglioramento continuo della capacità dell'utente. Lo spostamento del baricentro è abbinato a movimenti degli arti per ottenere diversi esercizi.

La grafica dell'applicazione è molto elementare, e si concentra su elementi semplici e facilmente identificabili, privilegiando la velocità nei processi di computo dei dati inseriti sulla varietà di colori e forme proiettati sullo schermo. Un'informazione più dettagliata per la progettazione delle applicazioni grafiche, considerando anche i particolari cambiamenti in condizioni di microgravità, viene fornita in documenti specializzati<sup>54</sup>.

### 8.2.7. Variabili di esercitazione



**Fig. 90. Mobilità sulla pedana**

Abbinando spostamenti del baricentro, e movimenti controllati degli arti si ottengono molte opzioni di esercizi: spostamento del baricentro avanti-indietro e lateralmente, centraggio e movimenti composti; poi variazioni con una gamba appoggiata e l'altra in flessione o estensione, e anche variazioni muovendo le



braccia.

Il software ha due modalità: una programmata dai terapeuti e una seconda libera, che permette agli astronauti di allenarsi negli esercizi che danno loro più soddisfazione, sia essa per il piacere di praticarla, sia perché grazie alla pratica si può migliorare la capacità fisica di controllo del corpo e/o aumentare il punteggio.

L'allenamento è di carattere passivo perché si deve tenere sotto controllo la frequenza degli sforzi applicati sulla pedana al fine di prevenire la trasmissione di vibrazioni alla struttura del modulo e della stazione.



**Fig. 91. Interazione con la fascia elastica.**

Non è previsto un abbigliamento speciale per lo sviluppo della sessione, ma si devono usare scarpe e abiti confortevoli. Se si preferisce si possono usare calze antiscivolo invece delle scarpe.

### **8.3. Tecnologie**

Space Fit è un progetto con volumi di produzione molto bassi, infatti, si considera la necessità di un solo modello, e per questa ragione si scelgono processi di manifattura rapida e che permettano produzioni molto piccole senza l'utilizzo di tecnologie troppo impegnative in termini di macchinari, stampi e materie prime, come invece lo sono tecnologie come l'iniezione.

---

<sup>54</sup> NASA, NASA/SP-2010-3407, *Human Integration Design Handbook*, cap. X, *Crew Interfaces*.

### 8.3.1. Prototipazione e manifattura rapida

I processi di prototipazione e manifattura rapida prevedono l'impiego di macchinari di alta tecnologia, con un ampio uso di sistemi CAD/CAM. Alcuni di essi possono prevedere la lavorazione di un pezzo di materiale grezzo o di un pezzo preformato che è posteriormente finito con sistemi CAD/CAM. Altri invece usano tecnologie più complesse come la Sinterizzazione Laser Selettiva.

#### 8.3.1.1. Controllo Numerico Computerizzato - CNC

I processi CNC sono molto utili per produzioni piccole. Le macchine utensili sono molto flessibili e permettono la realizzazione di componenti di elevata complessità lavorando sia pezzi di materiale grezzo che pezzi preformati.

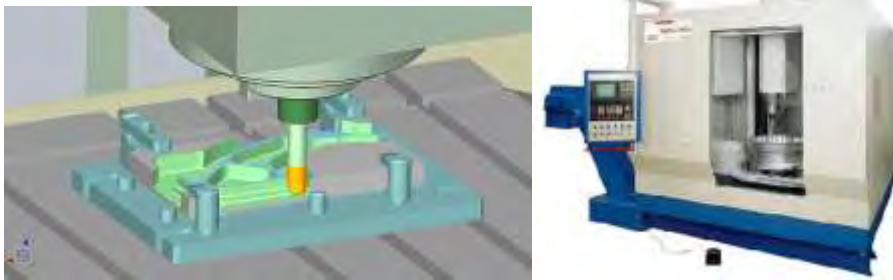


Fig. 92. Processo CNC

Le macchine utensili vengono classificate secondo il tipo di tecnologia di lavorazione (fresatrice, per taglio ad acqua e per taglio laser), e anche secondo il numero di assi controllati sui quali possono lavorare (spostamento sugli assi X, Y e Z, e le rotazioni dell'utensile intorno ad essi).

Le Fresatrici sono le macchine più flessibili attualmente per la lavorazione di pezzi complessi, in genere metallici. Le macchine da taglio ad acqua e laser sono invece molto apprezzate per la lavorazione di lamiere.

Ci sono inoltre fresatrici che lavorano su più di tre assi, permettendo la lavorazione di un pezzo da diverse direzioni senza dover posizionare di nuovo il pezzo, riducendo notevolmente i tempi di preparazione e i costi associati alle attrezzature necessarie per il posizionamento dei pezzi. Le altre macchine utensili invece



lavorano soltanto su due assi (X e Y) mentre il terzo (Z) serve a regolare l'altezza tra la punta dell'utensile e la lamiera. Questo è dovuto principalmente alla difficoltà di controllare la profondità del taglio, sia del fascio laser che dello spruzzo d'acqua.

Come detto in precedenza le fresatrici possono lavorare pezzi di materiali grezzo, ma possono anche lavorare pezzi preformati. Questo è particolarmente utile se si vogliono evitare cambiamenti nella microstruttura del materiale, dovuti alle alte temperature che produce la lavorazione dell'utensile. In questi casi si possono preformare i pezzi con processi come la colata in sabbia o colata a cera persa, e la lavorazione con la macchina utensile si usa per la finitura superficiale e dettagli come le filettature.

#### **8.3.1.2. Colata in sabbia**

La colata in sabbia è una tecnica molto comune per piccole produzioni di pezzi in leghe di alluminio, leghe di rame, ghise e acciai. Altri metalli, come il piombo lo zinco e lo stagno richiedono alcune variazioni nella procedura. È anche un processo molto flessibile per quanto riguarda le dimensioni lavorabili: dai 0,3 ai 1000 kilogrammi.

Questo processo consiste nel versare il metallo fuso nello stampo di sabbia che, per la sua proprietà refrattaria, rimane intatto. Per lo stampo serve un modello: per le piccole serie di solito si usa un modello di legno, per lotti industrializzati s'impiegano attrezzature automatizzate e modelli in alluminio.

Altre variabili della tecnica includono modelli in polistirene annegati nella sabbia che evaporano quando il metallo fuso viene colato; includono anche le tecniche di guscio, dove un impasto sabbioso viene applicato sul modello e successivamente indurisce su di esso.

Una limitante di questa tecnica risiede nello spessore minimo possibile, che arriva fino ai 5 mm, il che aumenta inutilmente il peso dei pezzi.



Fig. 93. Colata in sabbia: Modello, stampo, colata, estrazione, pezzo finito.

### 8.3.1.3. Colata a cera persa

La colata a cera persa, anche chiamata colata a modello perso, usa un modello fatto in un materiale che fonde a bassa temperatura, generalmente cera o polistirene. I modelli di cera prevedono la fabbricazione di uno stampo, invece i modelli in polistirene possono essere realizzati per Sinterizzazione Laser. Quest'opzione è molto utile per lotti di produzione piccoli.

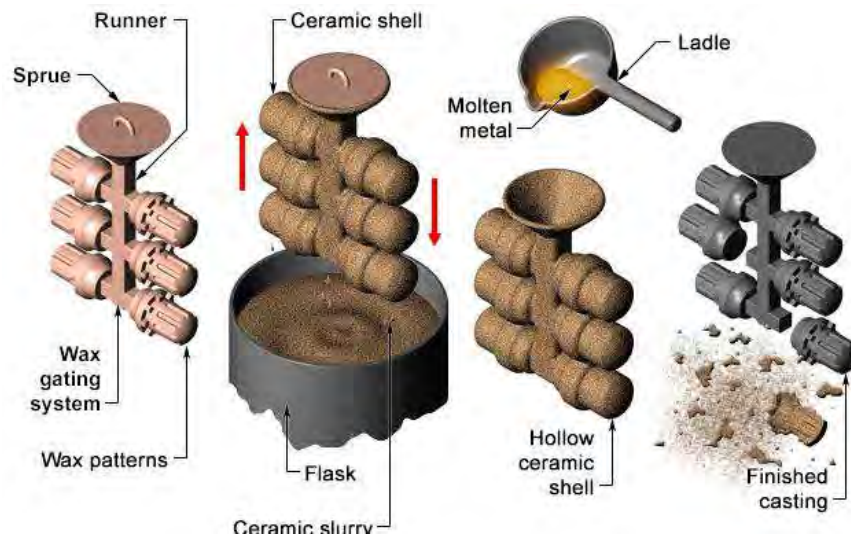


Fig. 94. Processo di colata a cera persa.

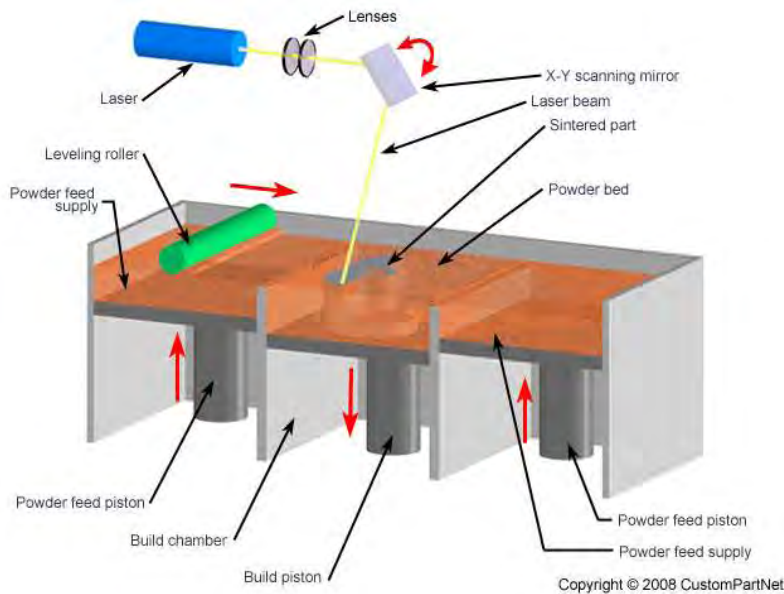
Il modello viene quindi usato per la procedura regolare: s'immerge in un impasto refrattario e uno stucco anch'esso refrattario che si lascia asciugare formando uno strato sul modello. Si richiedono almeno otto strati per formare un guscio che resista a temperature fino ai 2200 °C. Il modello all'interno del guscio viene liquefatto, lasciando il guscio vuoto e pronto per la colata del metallo fuso.

Per forme semplici è sufficiente la forza di gravità per riempire il guscio, ma per le forme più complesse, e in particolare con pareti sottili, serve l'uso d'aria a pressione, vuoto o una pressione centrifuga che aiuti il materiale fuso ad arrivare a tutte le cavità dello stampo. Questo processo permette spessori minimi, fino a 1 millimetro.

#### 8.3.1.4. Sinterizzazione Laser Selettiva - SLS

Il processo di sinterizzazione laser selettiva è ampiamente impiegato per la realizzazione di prototipi, di solito con una limitata funzionalità, anche se nuovi materiali permettono la produzione di pezzi finiti<sup>55</sup>.

<sup>55</sup> Allegato 5.



**Fig. 95. Schema di una macchina SLS.**

Questa tecnica usa un fascio laser che fonde una polvere termoplastica formando strati molto sottili, uno sopra l'altro, man mano che la piattaforma sulla quale si solidifica il materiale viene abbassata.



**Fig. 96. Prototipo SLS di alta complessità.**

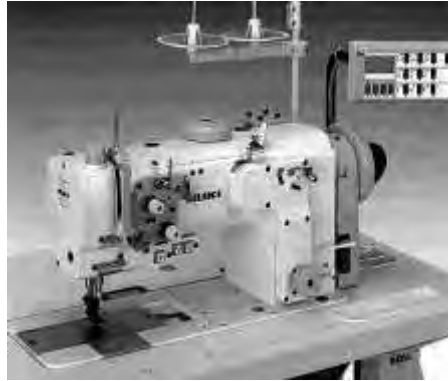
La sinterizzazione permette la fabbricazione di forme molto complesse, piene o cave, con un'alta precisione dimensionale e qualità superficiale.

Per la produzione di molti componenti di Space Fit viene usata questa tecnologia, sia per fare pezzi finiti che per la fabbricazione di modelli per la colata a modello perso.

### **8.3.2. I processi di cucitura dei tessuti**

La cucitura è uno dei processi di manifattura più antichi. È in pratica un processo di giunzione tra due o più strati di materiale tramite una serie di punti dai quali

passano uno o più fili o fibre. I punti di cucitura possono essere ottenuti con due fili, uno che attraversa il primo pezzo di materiale e viene bloccato dall'altro filo nel secondo pezzo di materiale; questi punti di cucitura sono conosciuti come "punti a spola". Nei "punti a catenella" un unico filo si muove a zigzag nel materiale. Le macchine per cucire automatizzano il processo.



**Fig. 97. Macchina per cucitura industriale.**

La cucitura è anche un processo veloce flessibile ed economico; ed è una giunzione che può garantire anche un'ottima resistenza meccanica, come nel caso delle imbracature per scalata, grazie ai fili e i tessuti utilizzati.

## **8.4. Materiali**

### **8.4.1. Le poliammidi per SLS**

Le poliammidi, comunemente chiamati Nylon, sono dei polimeri sintetici, in genere resistenti, e caratterizzati da un basso coefficiente di attrito.

Il composito di polvere fine di poliammide PFP03<sup>56</sup>, commercialmente nota come Innov<sup>PA</sup> 1550, è un materiale sviluppato dall'azienda *Malcolm Nicholls Limited* specialmente per i processi di sinterizzazione. È ideale per la produzione di pezzi di manifattura rapida giacché presenta proprietà e comportamenti meccanici come quello dei pezzi iniettati.

Lo sviluppo del composito è basato sulla poliammide 12, il che permette di ottenere pezzi funzionali con un'ottima durata nel tempo e un'eccellente resistenza chimica.

Ha inoltre un grano più fino dei suoi predecessori che migliora inoltre la precisione dimensionale e le qualità superficiali.

#### **8.4.2. Leghe di Alluminio-Zinco**

Le leghe di Alluminio-Zinco (7xxx) sono ampiamente impiegate nell'industria aerospaziale per la loro alta resistenza meccanica e leggerezza. Hanno però una certa difficoltà per i processi di colata, per cui si usano quando serve una lavorazione posteriore del pezzo, per dettagli e finiture superficiali.

Le leghe della serie 7xxx sono trattabili termicamente per aumentarne ulteriormente la resistenza meccanica. I trattamenti T6 e T651 hanno un'ottima compatibilità con le lavorazioni CNC, per cui le proprietà meccaniche rimangono intatte.

Il telaio e la superficie della pedana sono fatti in colata in sabbia, il pezzo viene poi trattato termicamente e successivamente finito con una macchina utensile CNC.

Gli altri componenti metallici vengono lavorati direttamente da pezzi di materiale grezzo visto che le dimensioni sono ridotte.

Le leghe a disposizione sono la 7075 e la 7079. La prima è più economica rispetto alla seconda, però la lega 7079 è più resistente e dopo il trattamento termico ritiene meglio nel tempo le caratteristiche meccaniche. Inoltre questa lega è più facilmente lavorabile dalle macchine utensile rispetto alla 7075.

#### **8.5. Conclusioni**

Space Fit è un sistema CMS che permette agli astronauti di allenare i muscoli posturali tramite un'attività fisica passiva di controllo del baricentro. Il sistema è stato progettato per stimolare costantemente durante l'esercitazione i muscoli che procurano la postura eretta del corpo.

---

<sup>56</sup> Allegato 5.

Allo scopo di stimolare quei muscoli, l'astronauta è avvolto da una fascia elastica che lo "comprime", forzando assialmente il corpo verso una postura fetale. La resistenza a questa compressione insieme agli esercizi di controllo dell'equilibrio stimola l'utilizzo dei muscoli posturali in un modo che attualmente nessun CMS presente sull'ISS fa.

Inoltre l'interattività di Space Fit intende abbinare il benessere proprio dell'attività fisica e l'attività ludica.

L'allenamento dei muscoli posturali è fondamentale per gli astronauti al fine di ridurre il decondizionamento muscolare che può causare problemi posturali al ritorno sulla terra. La condizione fisica degli astronauti è anche fondamentale per le missioni future che prevedono l'esplorazione di altri pianeti e satelliti, dove gli astronauti incontreranno condizioni di gravità che sottoporranno i loro corpi a carichi strutturali.

**Bibliografia**

- Antonutto G. et al, *Cardiovascular deconditioning in microgravity: some possible countermeasures*, «European Journal of Applied Physiology», Springer-Verlag, n. 90, 2003.
- Argur A. et al, *Grant's Atlas of Anatomy*, Lippincott Williams & Williams, New York, 2009.
- Ashby M. et al, *Materials and Design*, trad. Del Curto B. et al, *Materiali e Design*, Ambrosiana, Milano, 2005
- Bianchi M.L. et al, *55 domande e risposte sulla salute dell'osso e l'osteoporosi*, Lega Italiana Osteoporosi, Pavia, EDIMES, 2004.
- Bianchi M.L., *55 consigli per la salute dell'oss*, Lega Italiana Osteoporosi, Pavia, EDIMES, 1998.
- Bianchi M.L., *55 esercizi per un osso più sano*, Lega Italiana Osteoporosi, Pavia, EDIMES, 2001.
- Bodine K. et al, *Effects of functionality on perceived comfort of wearables*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, --.
- Collet Ph. et al, *Effects of 1- and 6-Month Spaceflight on Bone Mass and Biochemistry in Two Humans*, Elsevier, Bone, vol. 20, no. 6, pp. 547-551, 1997.
- Di Nuovo S. et al, *Lo stress come esempio della sintesi mente/corpo*, vol. Misurare lo stress, F. Angeli, Milano, 2000.
- Eckart P., *The Lunar Base Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1999.
- Elam A. et al, *Advanced Space Health Maintenance System: Technology Enabling Extended Manned Space Exploration*, Rice University, Houston, 2005.
- Gemperle F. et al, *Design for Wearability*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1998.
- Goodship A.E. et al, *Bone Loss During Long Term Space Flight Is Prevented By The Application Of A Short Term Impulsive Mechanical Stimulus*, Pergamon, Acta Astronautica, no. 43, pp. 65-75, 1998.



- 
- Hamill J. et al, *Biomechanical Basis of Human Movement*, Lippincott Williams & Wilkins, New York, 2009.
  - Harper C., *Handbook of Materials for Product Design*, McGraw-Hill, New York, 2001.
  - Holick M.F., *Microgravity-induced bone loss – will it limit human space exploration?*, *The Lancet*, vol. 355, 2000.
  - Holick M.F., *Perspective on the Impact of Weightlessness on Calcium and Bone Metabolism*, Elsevier, *Bone*, vol. 22, no. 5, supplement, pp. 105S-111S, 1998.
  - Larson W. et al, *Human Spaceflight: Mission analysis and design*, McGraw-Hill, New York, --.
  - Lipoma M. et al, *Stress, adattamento interpersonale e prestazione sportiva*, *Italian Journal of Sport Science*, vol. 12, no. 2, pp. 125-128, 2005.
  - Mayr W. et al, FES as a countermeasure against muscular atrophy in long-term space flights, Austrian Ministry of Education Science and Culture, --.
  - Muir J. et al, *A low-Intensity mechanical countermeasure to prohibit osteoporosis in astronauts during long-term spaceflight*, NASA, --.
  - NASA, *Human Integration Design Handbook* (NASA/SP-2010-3407), 2010.
  - NASA, *Man-Systems Integration Standard*, vol. 1, (NASA-STD-3000), 1995.
  - NASA, *NASA Space Flight Human System Standard*, vol. 1: *Crew Health*, (NASA-STD-3001), 2007.
  - Parfitt A.M., *Misconceptions: calcium leaves bone only by resorption and enters only by formation*, Elsevier, *Bone*, no. 33, pp. 259-263, 2003.
  - Penley N.J., *The International Space Station as a microgravity research platform*, Pergamon, *Acta Astronautica*, vol. 50, no. 11, pp. 691-696, 2002.
  - Souvestre P. et al, *Biomedical performance monitoring and assessment of astronauts by means of an ocular–vestibular monitoring system*, Pergamon, *Acta Astronautica*, no. 60, pp. 313-321, 2006.

- Stowe R.P. et al, *Effects of mission duration on neuroimmune responses in astronauts*, Aviation, Space, and Environmental Medicine, vol. 74, no. 12, 2003.
- Vico L. et al, *Effects of long-term microgravity exposure on cancellous and cortical weight-bearing bones of cosmonauts*, The Lancet, vol. 355, 2000.
- Whedon G.D. et al, *Effects of long-duration space flight on calcium metabolism: Review of human studies from Skylab to the present*, Pergamon, Acta Astronautica, no. 58, pp. 59-81, 2006.
- Williams D.R., *A Historical Overview of Space Medicine*, McGill Journal of Medicine (MJM), vol. 6, no. 1, pp. 62-65, 2001.

## Linkografia

- [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/index.html)
- <http://www.st.com/stonline/index.htm>
- <http://www.my-personaltrainer.it/cardio-fit-training.html>
- <http://science.howstuffworks.com/space-station.htm>
- <http://spaceflightsystems.grc.nasa.gov/Advanced/HumanResearch/Exercise/>
- [http://www.mnl.co.uk/News/Oct\\_2009\\_New\\_SLS\\_InnovPA\\_1550\\_XS.html](http://www.mnl.co.uk/News/Oct_2009_New_SLS_InnovPA_1550_XS.html)
- <http://hacd.jsc.nasa.gov/projects/ecp.cfm>
- <http://www.medicinenet.com/script/main/art.asp?articlekey=10074>
- [http://www.lios.it/chi\\_siamo/pagina.asp](http://www.lios.it/chi_siamo/pagina.asp)
- <http://www.nasa.gov/externalflash/ISSRG/index.html>
- <http://msis.jsc.nasa.gov/>
- [http://us.wii.com/wii-fit/iwata\\_asks/vol2\\_page2.jsp](http://us.wii.com/wii-fit/iwata_asks/vol2_page2.jsp)
- <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1392>
- <http://www.steelforge.com/forgings/alloys/aluminum7079report.html>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium\\_alloy](http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_alloy)
- <http://it.wikipedia.org/wiki/Gioco>
- <http://www.philadelphiaforgings.com/forging-materials/aluminum-forgings.html>
- <http://www.matweb.com/index.aspx>

## **ALLEGATI**

**1. Tavole**

**2. Brevetto Wii Board**

**3. Brevetto Cricchetto US7000262**

**4. Brevetto Cricchetto US7043772**

**5. PFP03**