



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II



PW report tecnico

Manicotto sensorizzato

Studenti:

De Laurentis Guendalina
Esposito Domenico
Luciano Giuseppe
Massa Francesca
Zimbello Andrea

Professore:

Antonio Lanzotti

Tutor:

Teodorico Caporaso

Contents

1	Introduzione	3
2	Analisi di Mercato	4
3	Metodologia di Kano-Kensei	9
3.1	Analisi anagrafica e interesse nel dispositivo	10
3.2	Metodo Kansei	10
3.3	Modello Kano	10
4	QFD: casa della qualità	17
4.1	Identificazione dei requisiti del cliente	18
4.2	Matrice delle relazioni e definizione dei target	19
4.3	Benchmark competitivo e strategia di mercato	19
4.4	Risultati del QFD	22
5	Generazione dei concept	23
5.1	Brainstorming	23
5.2	Creazione dei concept	24
5.3	Scelta del concept finale	33
6	Testing	36
6.1	Dal modello 3D al modello fisico	36
6.2	Analisi con Matlab	38
7	Sostenibilità	41
7.1	Primo ciclo di lavaggio	45
7.2	Secondo ciclo di lavaggio	47
7.3	Terzo ciclo di lavaggio	49
7.4	Quarto ciclo di lavaggio	51
8	Progettazione Robusta	54
8.1	DOE e Robustezza	56

8.1.1	Combinazione Robusta	58
8.1.2	Fattore di controllo che influenza sulla prestazione	58
8.1.3	Influenza su variabilità e robustezza	59
A	Questionario Kano-Kansei	60

1 Introduzione

Project Sensware ha come obiettivo quello di sviluppare e realizzare un manicotto sensorizzato volto al monitoraggio dei muscoli del Flessore Carpo radiale ed Estensore Carpo Radiale dell'avambraccio tramite elettromiografia (EMG) e il posizionamento del braccio tramite IMU.

Il fine ultimo di questo progetto è quello di analizzare lo sforzo muscolare di questi muscoli nelle attività di Tennis, Padel e Tennis tavolo e una possibile evoluzione potrebbe essere quella di monitorare la contrazione dei muscoli durante la riabilitazione.

Il progetto è stato portato avanti seguendo la metodologia di diagramma dello sviluppo prodotto riportato in fig. 1.

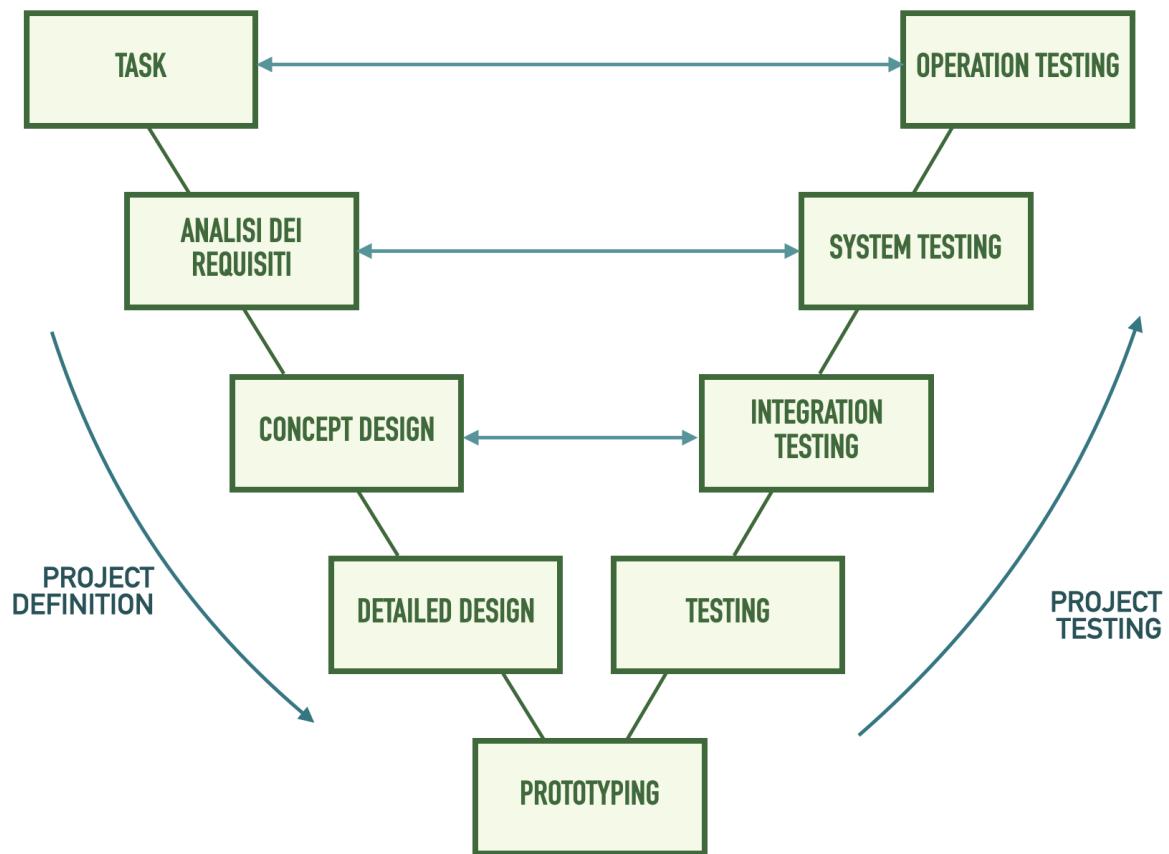


Figure 1: Diagramma Sviluppo Prodotto.

2 Analisi di Mercato

Per poter sviluppare un prodotto che sia competitivo sul mercato e che sia attraente per i consumatori, è stata portata avanti una analisi di mercato svolta in due fasi:

- **Analisi diretta:** permette di analizzare e studiare i concorrenti diretti analizzando prezzi, materiali, caratteristiche del prodotto;
- **Analisi indiretta:** permette di analizzare prodotti diversi che possono collegarsi al prodotto che si intende sviluppare.

Analisi diretta

- **Myontec ErgoSleeve**

ErgoSleeve [8] può essere utilizzato nella riabilitazione, nella ricerca e nello sport. Grazie alla combinazione con Muscle Monitor, ErgoSleeve misura gli estensori e i flessori dell'avambraccio per rilevare l'attivazione muscolare (EMG). In combinazione con ErgoLink, ErgoSleeve misura anche il carico dell'articolazione del polso, la rotazione e la velocità angolare. Questa soluzione ergonomica richiede due sensori IMU aggiuntivi (non fanno parte del prodotto). Dopo aver rimosso l'MCell, è possibile lavare tutti i prodotti Myontec in lavatrice a 30 °C o 86 °F. Il prodotto, dal valore di 1.700€, tasse escluse, comprende i vari componenti: 1. ErgoSleeve
2. Registratore di dati MCell3
3. Licenza software perpetua Muscle Monitor
4. Accessori: cavo di ricarica, sacchetto di lavaggio, flacone spray e dongle USB per la connessione wireless (BLE) in tempo reale.



Figure 2: ErgoSleeve della Myontec.

- **Xsense MVN**

Il sistema Xsens MVN [9] è una soluzione avanzata e altamente precisa per il motion capture, ideale per applicazioni professionali che richiedono dati di movimento estremamente accurati e dettagliati. È particolarmente utilizzato in contesti come la biomeccanica, la riabilitazione, l'animazione e lo sport. Grazie alla sua tecnologia inerziale, è un sistema versatile che non richiede attrezzature aggiuntive come telecamere o marker, rendendolo facilmente utilizzabile in vari ambienti.

Non è fornito di sensori EMG. È compatibile con tablet e laptop, permettendo l'acquisizione e la visualizzazione dei dati direttamente su dispositivi portatili.

Il sistema MVN include una tuta dotata di sensori IMU che vengono posizionati sui vari segmenti del corpo umano (come braccia, gambe, torso, testa). È fornito di ben 17 sensori wireless, la tuta è disponibile in tre misure (S,L,XXL), ha un range di azione che va dai 25 ai 150 metri, e la durata della batteria va dalle 6 alle 10 ore. I prezzi di Xsens MVN generalmente vanno da €10.000 a oltre €50.000 a seconda delle versioni e degli accessori inclusi. Il sistema base senza alcune funzionalità avanzate può partire da circa €15.000.

Tuttavia, per una configurazione completa che include più sensori, software, e supporto, il costo può aumentare significativamente.

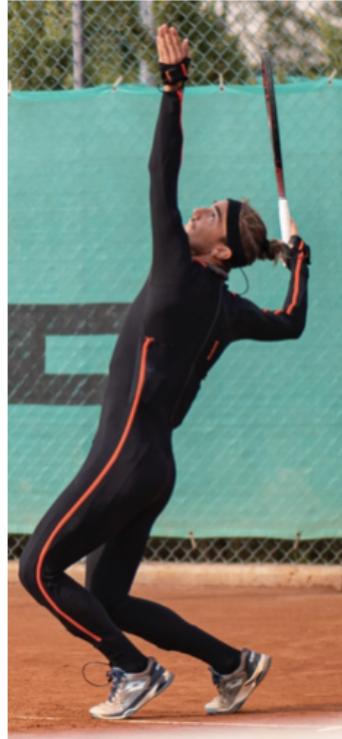


Figure 3: Xsense MVN Lycra Suit.

- **Athos**

[1] Specializzata in abbigliamento sportivo tecnologicamente avanzato, ha svilup-

pato una linea di indumenti in grado di monitorare l'attività muscolare durante l'esercizio fisico.

L'indumento che è stato preso in considerazione è Athos Shirt.

La maglietta è dotata di sensori di electromiografia che rilevano l'attività elettrica dei muscoli, fornendo dati in tempo reale su quali muscoli sono attivi e con quale intensità. Oltre all'attività muscolare, il sistema Athos misura anche la frequenza cardiaca, la respirazione e il bilanciamento del corpo, offrendo un'analisi dettagliata delle sessioni di allenamento.

I dati raccolti dai sensori vengono inviati al dispositivo "Core", che li trasmette via Bluetooth a un'applicazione su smartphone o tablet, dove l'utente può visualizzare e analizzare le informazioni.



Figure 4: Athos shirt.

Analisi indiretta

• Delsys Trigno

Il Delsys Trigno [4] è una piattaforma altamente versatile per il monitoraggio delle attività muscolari, dotata di sensori EMG wireless che forniscono dati estremamente dettagliati sull'attività muscolare in tempo reale. È ampiamente utilizzato in riabilitazione, sport, biomeccanica e ricerca.

Grazie alla tecnologia wireless, permette un'ampia libertà di movimento, rendendolo ideale per applicazioni dinamiche. Uno dei principali vantaggi di Trigno è la tecnologia wireless, che consente agli utenti di muoversi liberamente senza doversi preoccupare di cavi e fili. In alcuni modelli avanzati del sistema Trigno, è possibile integrare sensori IMU, ai già presenti sensori EMG.

I sensori stessi non sono lavabili direttamente in acqua. Tuttavia, è possibile rimuovere la parte elettronica dai sensori e pulire le bande o le fasce elastiche con un panno umido. Il prezzo del sistema Delsys Trigno può variare significativamente in

base alla configurazione e alle specifiche del sistema. La batteria ricaricabile, agli ioni di litio, con una carica completa fornisce una durata che va dalle 8 alle 12 ore, e la ricarica completa dura in media 3 ore.

I sensori Trigno utilizzano una connessione wireless che si basa su Bluetooth e/o Wifi. Il range di comunicazione di un sensore è di circa 10/15 metri, a seconda anche delle condizioni ambientali.

Generalmente, il costo base per il sistema di sensori EMG wireless Trigno è nell'ordine di 6.000–15.000 USD, ma i pacchetti completi che includono diversi sensori, accessori, e licenze software possono arrivare a superare i \$20.000 USD. MyoWare by Advancer Technologies, Noraxon MyoResearch, Soliance Technologies. Sono produttori di sensori integrabili a wearable.



Figure 5: Delsys Tringo

• Cometa

[2]Azienda specializzata nella produzione di dispositivi elettromiografici (EMG).

Prodotti principali di Cometa EMG:

- Mini Wave: Questo è attualmente il più piccolo trasmettitore EMG al mondo, con un peso di soli 7 grammi. Offre una frequenza di campionamento di 2000Hz e una portata interna fino a 40 metri. La batteria ha una durata di 8 ore e si ricarica per induzione.
- WaveX: Questo sistema EMG wireless avanzato supporta fino a 36 canali simultaneamente e dispone di 8 ore di memoria interna.

Cometa offre soluzioni per l'analisi del movimento, come il TrackX IMU, e sistemi per l'analisi della pressione plantare, come l'InsoleX.



Figure 6: Cometa EMG

3 Metodologia di Kano-Kensei

Per la progettazione del manico sensorizzato è stata adottata la metodologia Kano-Kansei, per meglio identificare le esigenze funzionali e le preferenze del cliente: in seguito, tali richieste sono state elaborate in requisiti funzionali e scelte di design.

Per l'implementazione del metodo, è stato realizzato un sondaggio tramite la piattaforma Google Forms, disponibile al seguente link (<https://forms.gle/mrN1rvMhFYSuNvkQ8>) o in alternativa in appendice A e distribuito a un campione mirato di utenti composto da atleti e sportivi amatoriali: tali utenti sono stati scelti tra praticanti di tennis, padel o anche ping pong, ovvero degli sport per i quali il manico sensorizzato è stato principalmente progettato.

Il sondaggio è stato articolato in quattro sezioni, ciascuna progettata per raccogliere un tipo specifico di informazione:

- **Analisi anagrafica e profilo sportivo**

La prima parte del sondaggio è dedicata alla raccolta di informazioni demografiche degli utenti: età, genere, professione, e via dicendo. Dopodiché sono state indagate le abitudini sportive: che tipo di sport praticano e a che livello di esperienza, e se ritengono o meno probabile il rischio di infortunio durante la pratica agonistica;

- **Interesse nel dispositivo**

La seconda parte del sondaggio indaga sull'interesse degli utenti nel prodotto proposto: come mai acquisterebbero un manico sensorizzato o meno, per cosa lo utilizzerebbero, quanto sarebbero disposti a spendere per averlo e in quali circostanze. Tali informazioni servono per meglio caratterizzare la fascia di mercato in cui il manico sensorizzato dovrebbe andare a collocarsi;

- **Metodo Kansei**

In linea con i principi del metodo Kansei, la terza sezione chiede agli utenti di associare liberamente cinque parole che ritiene essere caratteristiche centrali del prodotto in esame. Queste parole (*Parole di Kansei*) sono state raccolte, raggruppate e associate a caratteristiche del manico, in modo da legarle in seguito a dei requisiti funzionali di progetto;

- **Modello Kano**

L'ultima sezione è stata strutturata in accordo con il modello Kano, presentando per ogni funzionalità individuata una coppia di domande: una in forma funzionale (che indaga la reazione dell'utente in presenza della caratteristica) e una in forma disfunzionale (che indaga la reazione in caso di assenza della stessa). Le risposte, raccolte e analizzate, consentono di classificare ogni

caratteristica in categorie quali: "Mi piacerebbe fosse così", "Deve essere così", "Mi lascia indifferente", "Lo trovo accettabile", "Non mi piace l'idea". Ciò consentirà in seguito di guidare le priorità nella fase di sviluppo del prodotto.

3.1 Analisi anagrafica e interesse nel dispositivo

Dall'elaborazione delle risposte, 112 in totale, si sono ottenuti i risultati riportati in fig. 7.

3.2 Metodo Kansei

Dopo aver richiesto agli utenti di inserire cinque caratteristiche con parole libere da associare al prodotto, si è innanzitutto proceduto a un primo raggruppamento delle parole, accorpando tra loro anche parole simili e sinonimi. In fig.9 è riportata la tabella risultante da questa elaborazione.

In seguito è stata poi costruito un diagramma delle affinità (fig. 10 studiando quanto sopra riportato).

3.3 Modello Kano

Nella costruzione del questionario, sono state identificate 11 caratteristiche chiave del prodotto da proporre agli utenti tramite modello di Kano: "Lavabile", "Economico", "Elasticizzato", "Comodo", "Impermeabile", "Traspirante", "Multisport", "Connettività", "Bello", "Multisensore", "Energia Rinnovabile", "Eco-Sostenibile". Per ciascuna di esse sono state proposte una domanda in forma funzionale, una domanda in forma disfunzionale, e la richiesta di indicare per ciascuna caratteristica un grado di importanza da 1 a 10.

I risultati ottenuti sono stati riassunti nella seguente tabella:

Tale tabella indica per ciascuna caratteristica quante volte un utente la ha associata a una determinata categoria di Kano, indicata da una specifica lettera. Tali lettere in particolare stanno a indicare i seguenti significati:

Nella colonna "Valutazione" è riportata la categoria a cui prevalentemente appartiene una certa caratteristica: in particolare, le uniche caratteristiche Must-be risultano essere "Lavabile" ed "Elasticizzato".

La colonna "Importanza" è invece la media aritmetica delle importanze riportate dagli utenti per ciascuna caratteristica: è immediato notare come la caratteristica più importante (8.83) è percepita essere "Comodo", mentre la meno importante è che il dispositivo sia alimentato da "Energia Rinnovabile" (5.14).

Analisi anagrafica e profilo sportivo

Generalità

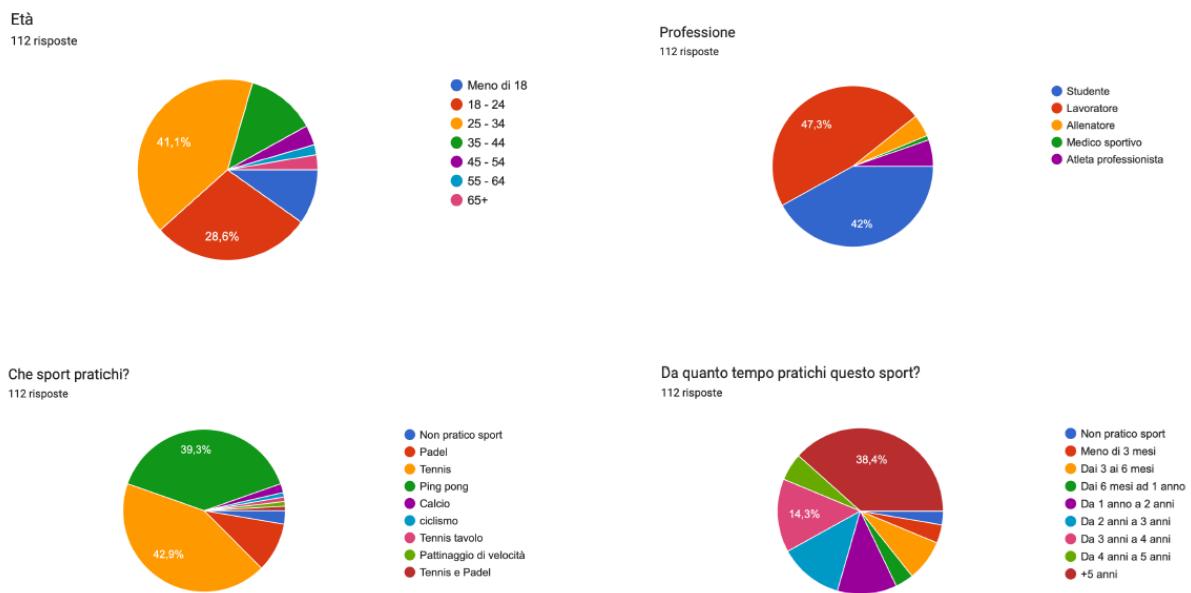


Figure 7: La maggior parte degli utenti hanno tra i 18 e i 24, e per lo più praticano tennis e/o ping pong da più di tre anni.

Interesse nel prodotto

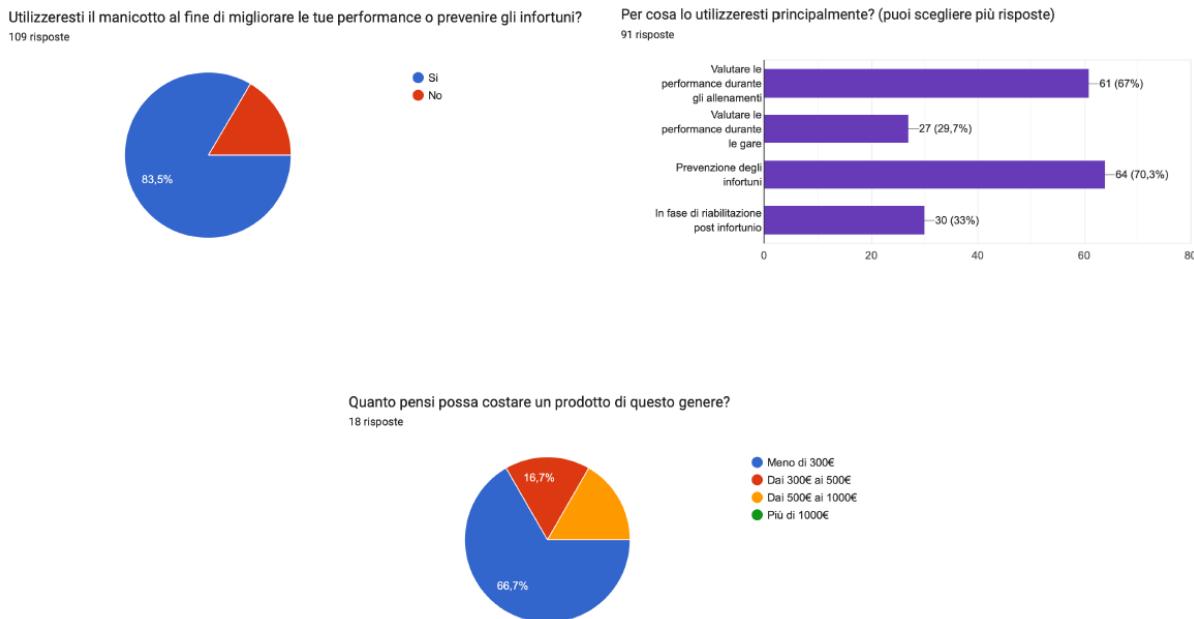


Figure 8: Gli utenti hanno espresso interesse verso il mancotto sensorizzato soprattutto per finalità di monitoraggio e prevenzione degli infortuni, indicando come prezzo consono per lo stesso soprattutto la fascia "minore di 300€".

Parola chiave	Frequenza	Espressioni associate
Leggero	54	Leggerezza
Facile	48	Facile da ... capire, inserire, lavare, riporre, togliere, usare
Comodo	31	
Traspirante	13	Traspirazione
Non ingombrante	9	Poco ingombrante, Compatto
Elastico	8	
Lavabile	8	Lavabilità
Economico	7	
Pratico	7	
Resistente	6	Resistenza
Semplice	6	Semplicità
Facile da lavare	6	Facile da pulire
Innovativo	5	
Utile	5	Utilità
Preciso	5	Precisione, Precisione nei dati raccolti
Comodità	4	
Duraturo / Durevole	4	
Flessibile	4	Flessibilità
Ergonomico	3	
Bello	3	Esteticamente bello, Attenzione all'Estetica
Colorato	3	
Funzionale	3	
Smart	3	
Impermeabile	2	
Indistruttibile	2	
Non ostacolare il movimento	1	
Unisex	1	
Sostenibile	1	
Solido	1	
Portatile	1	
Resistenza	1	
Non fastidioso	1	Non impattante nei movimenti, Non ingombrante
Non troppo pesante	1	Non troppo stringente
Fresco	1	-
Indossabilità	1	-
Minimal	1	-
Pulito	1	-
Reperibile	1	-
Riscaldante	1	-
Risultati chiari	1	-
Software aggiornato	1	-
Strutturato	1	-
Studiato	1	Studiato approfonditamente
Termico	1	-
Vestibilità	1	-

Figure 9: Risultati della raccolta delle parole chiave secondo la metodologia Kansei, dopo una prima fase di aggregazione.

Diagramma di affinità

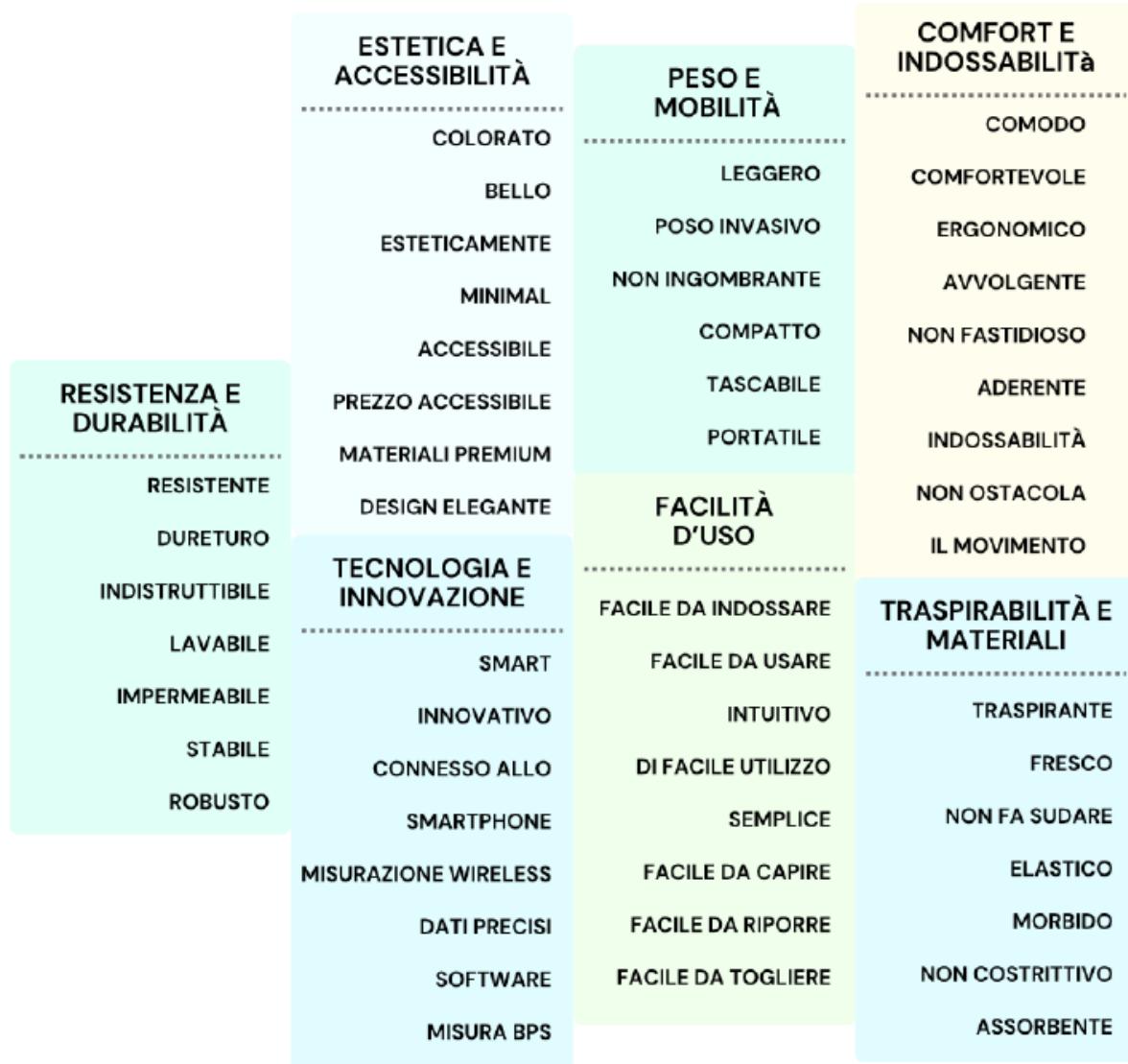


Figure 10: Diagramma di affinità ricavato col Metodo Kansei.

Lettera	Significato	Descrizione
A	Attraente	La caratteristica sorprende positivamente: la sua presenza aumenta molto la soddisfazione, ma la sua assenza non genera insoddisfazione.
M	Must-be	Caratteristiche attese come standard: la loro assenza causa forte insoddisfazione, mentre la presenza non aumenta la soddisfazione.
O	One-dimensional	La soddisfazione cresce proporzionalmente alla qualità o quantità con cui la caratteristica è presente.
R	Reverse	La presenza della caratteristica genera insoddisfazione, mentre la sua assenza è apprezzata.
Q	Questionable	Risposte incoerenti o contraddittorie da parte dell'utente, che rendono la classificazione non interpretabile.
I	Indifferente	La caratteristica non influisce sulla soddisfazione: l'utente è neutrale rispetto alla sua presenza o assenza.

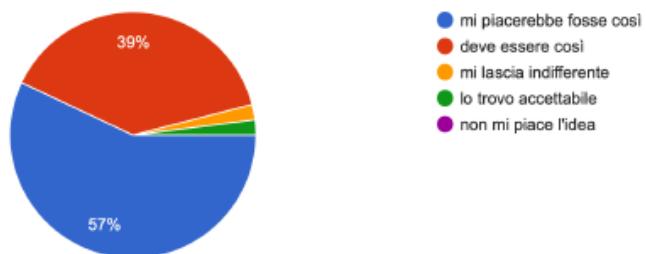
Table 1: Significato delle categorie di risposta nella metodologia Kano

Per quanto invece riguarda le due colonne "CS" e "CI", esse indicano rispettivamente il "Customer Satisfaction Coefficient" e il "Customer Dissatisfaction Coefficient" per ciascuna caratteristica. Il primo indica quanto una caratteristica contribuisce ad aumentare la soddisfazione dell'utente quando è presente (più è vicino a 1, più la presenza è positiva), mentre il secondo indica quanto una caratteristica causa insoddisfazione se non è presente (più è vicino a -1, più la mancanza è critica).

Risultati del Modello Kano (su una singola caratteristica)

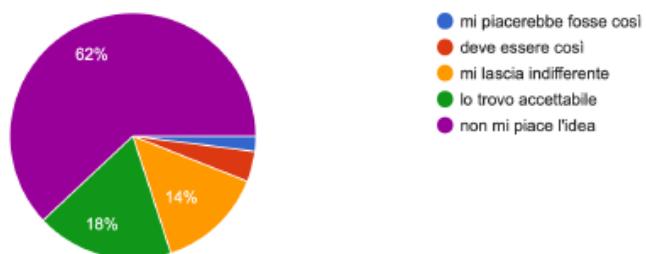
1.1 Se il dispositivo fosse lavabile, cosa ne penseresti?

100 risposte



1.2 Se il dispositivo NON fosse lavabile, cosa ne penseresti?

100 risposte



1.3 Quanto è importante che sia lavabile?

100 risposte

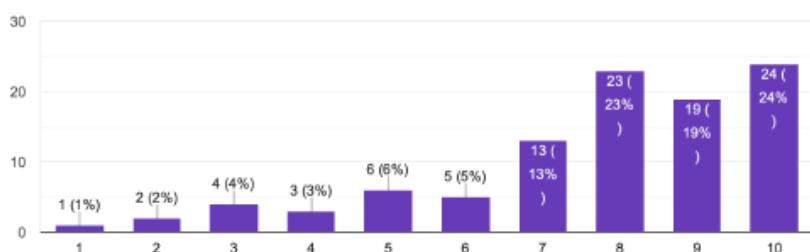


Figure 11: Esempio dei risultati del Modello Kano, in questo caso relativamente alla caratteristica "Lavabile".

Risultati complessivi del Modello Kano

	A	M	O	R	Q	I	Totale	Importanza	Valutazione	CS	CI
Lavabile	26	32	30	1	1	10	100	7.75	M	0.57	-0.63
Economico	43	12	27	1	1	16	100	7.24	A	0.71	-0.40
Elasticizzato	22	36	22	0	0	20	100	7.93	M	0.44	-0.58
Comodo	7	36	43	2	1	11	100	8.83	O	0.52	-0.81
Impermeabile	28	5	18	3	1	45	100	5.85	I	0.48	-0.24
Traspirante	23	24	34	1	2	16	100	7.89	O	0.59	-0.60
Multisport	30	10	17	2	1	40	100	6.47	I	0.48	-0.28
Connettività	31	15	20	6	0	28	100	6.68	A	0.54	-0.37
Bello	29	3	10	1	1	56	100	5.38	I	0.40	-0.13
Multisensore	51	7	15	2	0	25	100	6.73	A	0.67	-0.22
En. Rinnovabile	33	2	9	7	1	48	100	5.14	I	0.46	-0.12
Eco-Sostenibile	36	5	12	2	0	45	100	5.83	I	0.49	-0.17

Figure 12: Tabella riassuntiva dei risultati del Modello Kano.

4 QFD: casa della qualità

Il Quality Function Deployment (QFD) [7] è una metodologia strutturata per tradurre sistematicamente i bisogni del cliente (Voice of the Customer, VOC) in specifiche tecniche ingegneristiche, garantendo coerenza tra aspettative di mercato e sviluppo del prodotto. La sua implementazione si basa sulla Casa della Qualità, un framework suddiviso in quattro sezioni principali:

- **Sezione sinistra (WHAT)**: Elenca i requisiti del cliente, gerarchizzati in base alla priorità.
- **Sezione centrale (HOW)**: Definisce le Substitute Quality Characteristics (SQCcs), ovvero le caratteristiche tecniche del prodotto, e ne stabilisce le relazioni con i requisiti tramite una matrice a impatto pesato.
- **Tetto**: Analizza le correlazioni tra le SQCs (sinergie o conflitti).
- **Sezione destra**: Include benchmark competitivi e target prestazionali.

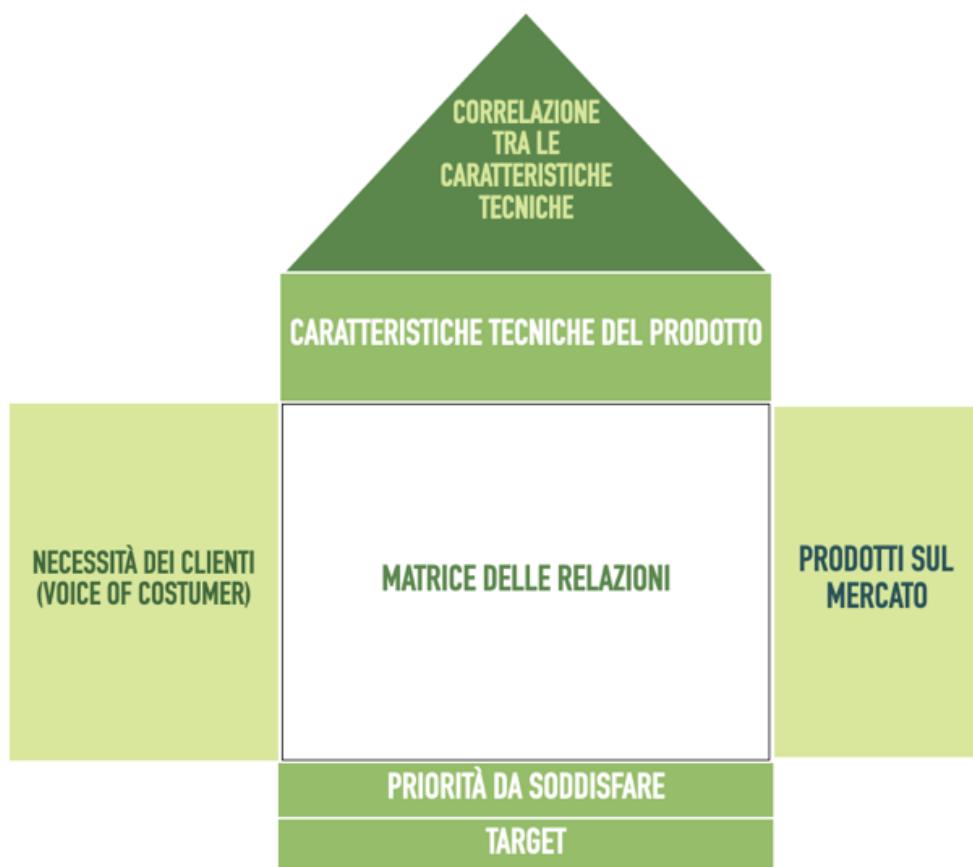


Figure 13: Struttura della casa della qualità.

4.1 Identificazione dei requisiti del cliente

Dall'analisi del VOC e dal confronto con prodotti concorrenti (Xsense, Athos, Myontec), sono stati identificati 10 requisiti prioritari, raggruppati in tre macrocategorie:

- **Funzionalità base:**
 - Lavabile (cicli a 30–60°C)
 - Economico (costo contenuto)
 - Elasticizzato (adattabilità morfologica)
 - Comodo (ergonomia prolungata)
- **Performance avanzate:**
 - Traspirabilità (RET codificato)
 - Connattività (moduli wireless integrati)
 - Multisensore (rilevazione dati multiparametrica)
- **Robustezza:**
 - Resistenza a agenti esterni (IP64)
 - Durata batteria (6–12 ore)

I requisiti sono stati mappati su 9 SQCs, con priorità determinate tramite pesi relativi % e assoluti come riportato in 14:

Caratteristica Tecnica	Importanza Relativa	Importanza Assoluta
Composizione materiale	26.49%	80
Numero di sensori	22.85%	69
Connattività avanzata	18.87%	57
Regolabilità	17.88%	54
Temperatura di lavaggio	15.56%	47
Capacità batteria	13.25%	40
RET (Traspirabilità)	11.59%	35
Resistenza agenti esterni (IP)	9.93%	30
Taglia	6.95%	21

Figure 14: Tabella delle caratteristiche.

- **Composizione materiale (26.49%):** Scelta di Lycra (elasticità) e poliammide elastan (resistenza a trazione) per bilanciare comfort e durabilità.

- **Numero di sensori (22.85%)**: Implementazione di 5 unità (limite superiore) per una copertura biomeccanica completa, superando i 3 sensori dei competitor.
- **Connettività (18.87%)**: Integrazione di protocolli duali (Bluetooth 5.0 + ANT+) per interoperabilità con dispositivi esterni.

4.2 Matrice delle relazioni e definizione dei target

La matrice centrale della Casa della Qualità ha collegato i requisiti alle SQCs tramite simboli di impatto (es. 9 = forte, 6 = medio, 3 = basso):

- **Lavabile**: Forte correlazione con Temperatura di lavaggio (30–60°C) e Resistenza IP64 (protezione da acqua e polvere).
- **Elasticizzato**: Direttamente legato a Composizione materiale (Lycra al 20% per elongazione ottimale).
- **Multisensore**: Impatto forte su Numero di sensori (5 unità) e Capacità batteria (ottimizzazione consumo a 90 mW).

Dalla QFD emergono intervalli tecnici riportati in 15:

Parametro	Limite Inferiore	Limite Superiore	Target
Temperatura di lavaggio	30°C	60°C	30–60°C
Taglia	XS	XXL	XS–XXL
Resistenza IP	IP54	IP64	IP64
Numero sensori	3	5	5

Figure 15: Valori tecnici

4.3 Benchmark competitivo e strategia di mercato

Il confronto con i concorrenti ha evidenziato criticità e opportunità:

Risultati chiave del QFD fig: 16:

- **Vantaggio tecnologico**: 5 sensori vs. 3 dei concorrenti, con riduzione del rumore tramite algoritmi FIR.
- **Ottimizzazione costi**: Utilizzo di poliammide riciclata (-15% costo materiali) senza compromettere la resistenza IP64.

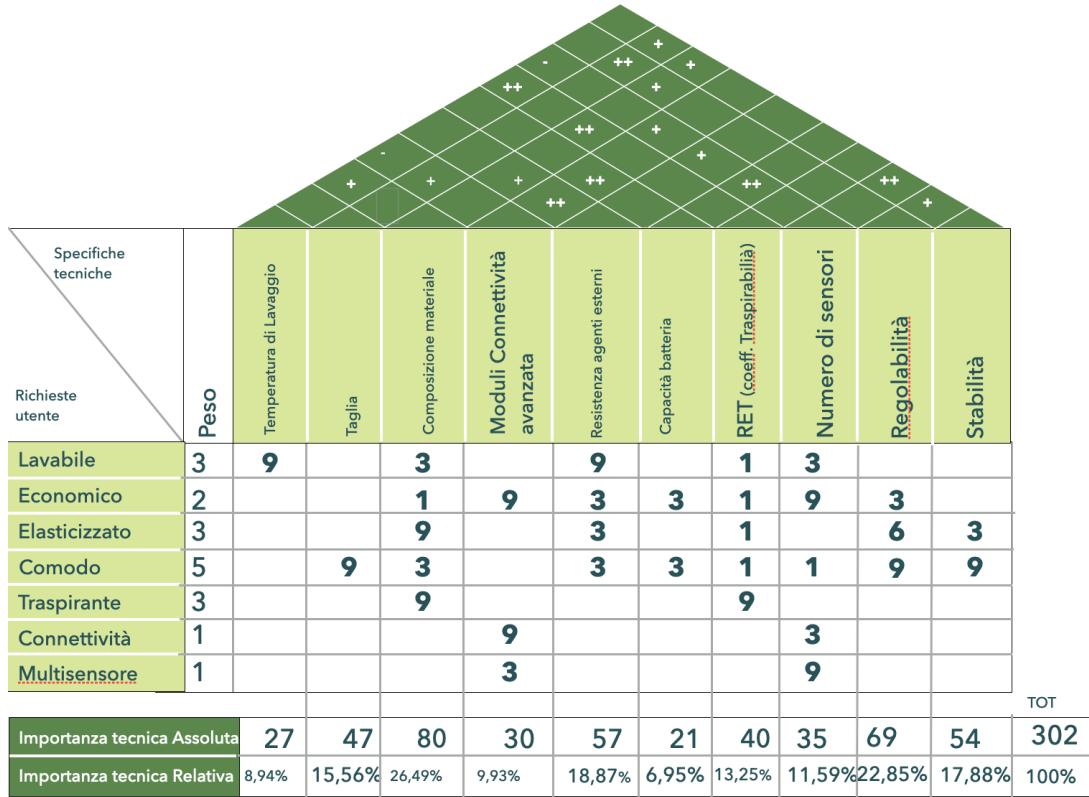


Figure 16: QFD

Parametro	Athos	Myontec	Xsense	Nostro Target
Sensori integrati	3	4	3	5
Resistenza IP	IP54	IP55	IP53	IP64
Autonomia batteria	8 h	10 h	6 h	12 h
Costo	200€	220€	180€	150€

- **Bilanciamento prestazioni:** Adozione di silicone medicale (Shore A 40) per stabilità strutturale, mitigando la riduzione di traspirabilità con microfori da 0.5 mm.

La figura 17 mostra la comparazione delle caratteristiche tra i competitor selezionati (Athos, Myontec, Xsense), mentre in figura 18 viene analizzato il target del prodotto.

Specifiche tecniche	Unità di Misura	Athos	Myontec	Xsense
Temperatura di Lavaggio	°C	60°C	30°C	30°C
Taglia		XS-XXL	XS-XXL	S-XXL
Composizione materiale	%	76% Nylon 24% Lycra Spandex	71% Polyamide micro 29% Elastane	Lycra
Moduli Connattività avanzata	Hz	/	EMG-IMU 25Hz	IMU 60Hz
Resistenza agenti esterni	IP	IP54	IP64	IP68
Capacità batteria	h	10h	12h	8h
RET (coeff. Traspirabilità)		6-12	6-12	6-12
Numero di sensori		3	3	5+
Regolabilità		/	/	/
Stabilità		/	Silicone	Silicone

Figure 17: Analisi di Benchmarking

Target	Temperatura di Lavaggio	Taglia	Composizione materiale	Moduli Connattività avanzata	Resistenza agenti esterni	Capacità batteria	RET (coeff. Traspirabilità)	Numero di sensori	Regolabilità	Stabilità
Limite superiore	60°C	XXL	Polyamide Elastane	IMU 60Hz	IP68	12h	6-12	3	/	Inserti in silicone
Limite inferiore	30°C	XS	Lycra	EMG 25Hz	IP54	10h	6-12	5	/	Inserti in silicone
Nostro target	60°C	XXL	Polyamide Elastane	60Hz	IP68	12h	6-12	3	/	Inserti in silicone

Figure 18: Definizione dei range

4.4 Risultati del QFD

Il QFD ha fornito un framework decisionale chiaro, con i seguenti output:

– Priorità tecniche validate:

- Investire in materiali compositi (26.49%) e connettività avanzata (18.87%).
- Ottimizzare il design per l'intervallo XS–XXL (6.95% importanza).

– Specifiche certificate:

- Lavaggio a 60°C senza degrado (test ASTM D4964).
- Batteria agli ioni di litio da 500 mAh con gestione dinamica del consumo.

– Roadmap di sviluppo:

- Protocolli di calibrazione automatica dei sensori.
- Partnership con app terze per l'analisi dati in tempo reale.

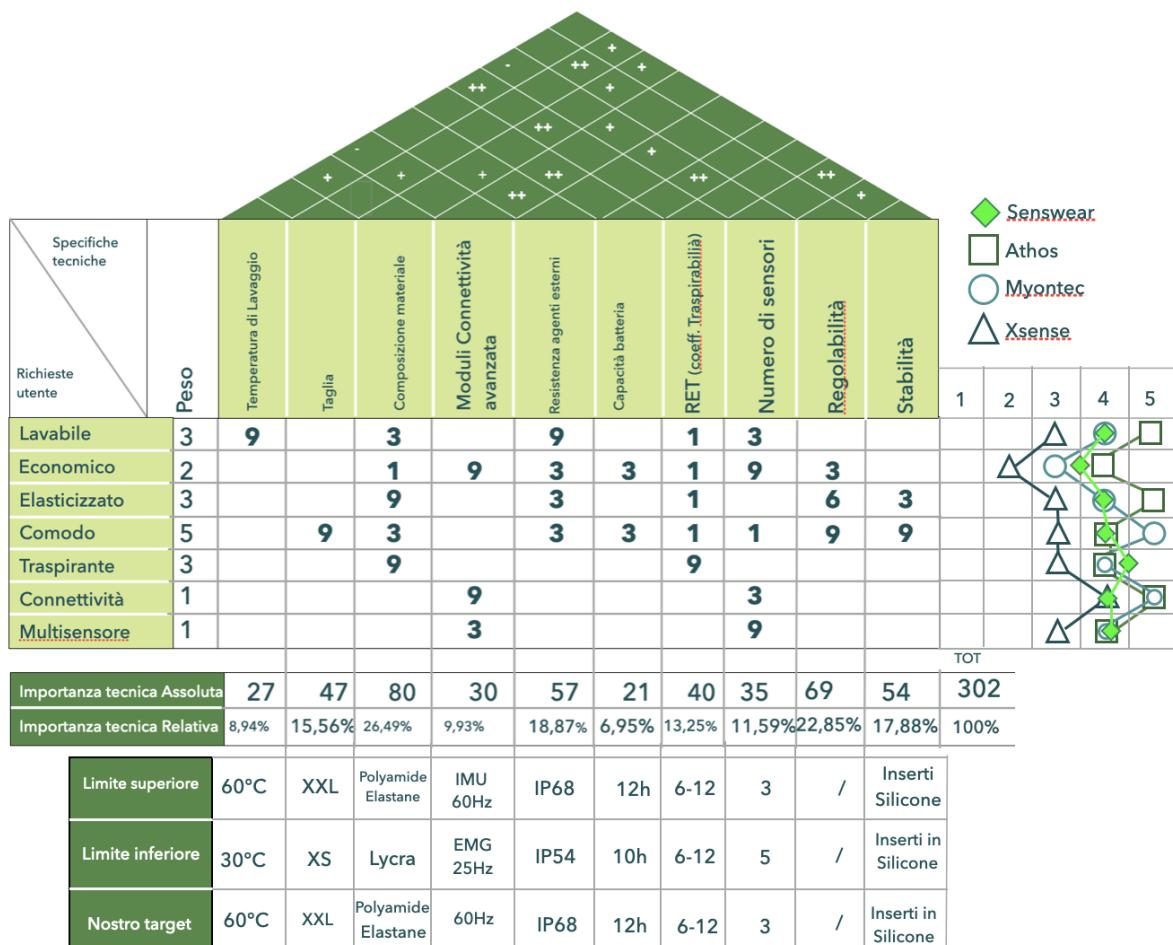


Figure 19: QFD completa

5 Generazione dei concept

La generazione di concept si basa sullo studio fatto sul target specifico, sui prodotti simili presenti sul mercato e sull'analisi dei costumer needs. Lo sviluppo di design di prodotto che sono riportati in questa documentazione soddisfano le specifiche tecniche ricavate dalla Casa della Qualità.

La generazione dei concept è stata sviluppata in tre step:

- Brainstorming
- Metodo 6-3-5
- Concept Screening

5.1 Brainstorming

Sono state analizzate in maniera approfondita alcune delle caratteristiche prodotto, basandoci anche sulle specifiche tecniche ricavate dalla casa della qualità e sono stati messi in evidenza vantaggi e svantaggi.

Gli aspetti analizzati riguardano la chiusura e la regolazione del manicotto, la forma e la struttura, il materiale.

- **Chiusura e regolazione:**
 - **Zip laterale**, indossare e rimuovere il manicotto velocemente, durata limitata e soggetta ad usura;
 - **Lacci con stopper**, regolabilità elevata, elevato tempo per indossare e rimuovere il manicotto;
 - **Clip magnetiche**, indossare e rimuovere il manicotto velocemente, regolazione limitata, debole tenuta;
 - **Fascia il velcro**, chiusura rapida e regolabile, usura nel tempo e può attaccarsi ad altri indumenti;
 - **Fibbie**, chiusura precisa e sicura, ingombrante e fastidiosa;
- **Struttura del manicotto:**
 - Fascia da avvolgere intorno all'avambraccio, poco ingombrante e facilmente adattabile alle varie misure, potrebbe però perdere la forma durante lunghi utilizzi;
 - Due fasce da avvolgere in direzioni opposte da equilibrare la pressione sull'avambraccio, può risultare complesso da indossare;
 - Struttura modulabile composta da due pezzi che si agganciano, grande libertà nella regolazione, meno ergonomico e difficile da stabilizzare e indossare;

- Struttura intera che avvolge il braccio dando il massimo comfort e libertà nei movimenti, può però diventare complessa la produzione su larga scala.
- **Materiale del manicotto:**
 - **Tessuti tecnici**, permettono di avere il miglior comfort e traspirabilità durante la performance, lo smaltimento del materiale è complesso e il costo può risultare elevato;
 - **Materiali ecologici**, hanno un ridotto impatto ambientale ma una durata molto ridotta;

5.2 Creazione dei concept

La tecnica utilizzata per la generazione dei concept è ispirato al metodo 6-3-5.

Ogni membro del team ha sviluppato idee di design basandosi sull'analisi di brainstorming che è stata riportata precedentemente in un lasso di tempo stabilito.

Tutti i concept hanno un RET (coefficiente di traspirabilità 6-12, un rage di taglie che va dalla XS alla XL e una resistenza agli agenti esterni IP68.

Un primo approccio è stato disegnare manualmente i concept, allegandoci una breve descrizione ed evidenziando le caratteristiche principali, come riportato in fig.20 e fig.21.

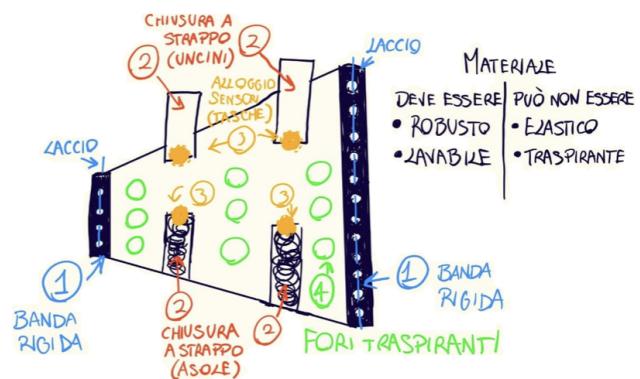
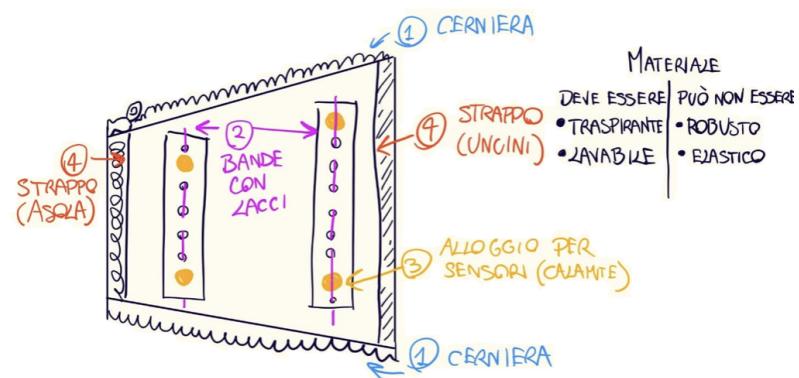
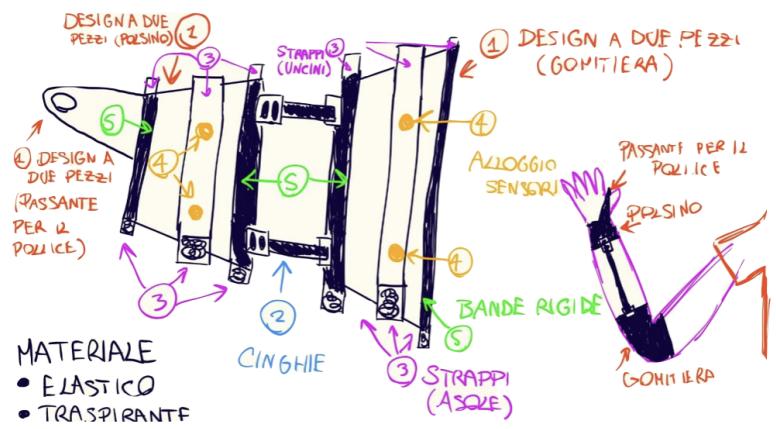


Figure 20: Disegni introduttivi

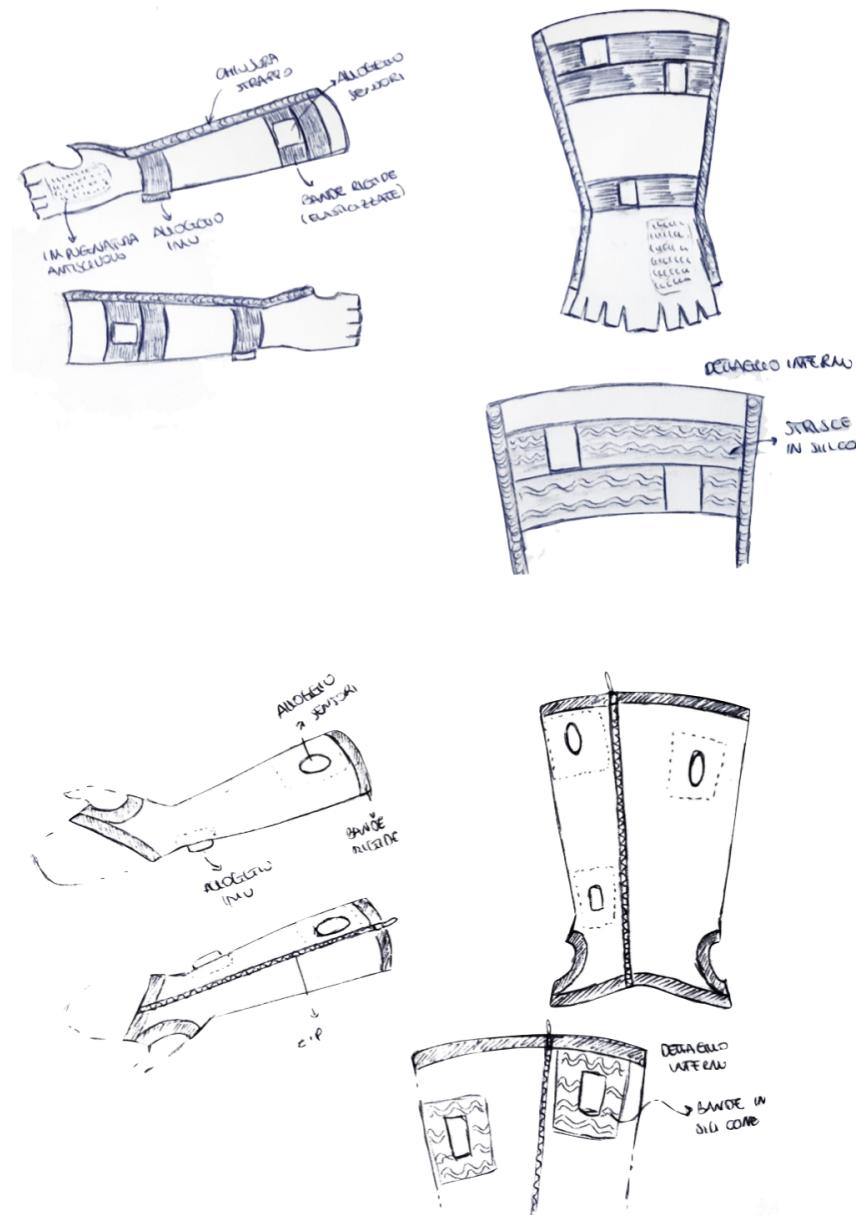


Figure 21: Disegni introduttivi

– Concept 1

Manicotto modulare composto da polsino e gomitiera, ciò garantisce una flessibilità nella taglia, la distanza tra i due pezzi è garantita da cinturini regolabili.

Polsiera e gomitiera si chiudono con velcro e in corrispondenza dei sensori è posta una banda elastica che funge anche da sacca per posizionare i sensori.

Il materiale è Elastane e Polyamide, lavaggio a 40°.



Figure 22: Concept 1

– Concept 2

Manicotto a forma trapezoidale con bande in Nylon poste in corrispondenza del polso e del gomito per assicurare una corretta stabilità ed evitare scivamenti durante l'utilizzo. La chiusura è con strisce in velcro in corrispondenza dei sensori e dell'IMU per garantire una corretta vestibilità e regolabilità. Il materiale è Nylon ed Elastane, lavaggio a 40°.



Figure 23: Concept 2

– Concept 3

Manicotto a forma trapezoidale con chiusura a zip che percorre tutta la lunghezza.

Sul polso e gomito sono presenti elastici più resistenti e in corrispondenza dei sensori sono cuciti lacci per dare pressione e regolare la taglia.

Il materiale è Elastane, lavaggio a 40°.



Figure 24: Concept 3

– Concept 4

Manicotto con guanto, ciò permette di evitare spostamenti durante l'utilizzo, inoltre permette di avere un corretto posizionamento insieme alla tacchetta cucita sul gomito.

È stato progettato tenendo in considerazione l'utilizzo di due EMG in stoffa cuciti sul retro e una IMU posizionata sul polso.

Accanto ai sensori è cucita una taschina nella quale riporre la batteria.

Per evitare scivolamento del manicotto è stato inserito un elastico all'altezza del gomito. Il materiale utilizzato è Nylon ed Elastane, lavaggio 30°.

La Regolabilità è assicurata da elastici posti in corrispondenza dei sensori.



Figure 25: Concept 4

– Concept 5

Manicotto con mezzo guanto per garantire una corretta stabilità, per il corretto posizionamento in corrispondenza del malleolo e del gomito sono state posizionate delle tacche.

I sensori sono nascosti, posizionati in apposite tasche chiuse con bottoni, in modo da evitare spostamenti e cadute. La stabilità è assicurata da elastici cuciti in corrispondenza del gomito e mezzo guanto con inserti in silicone all'interno della stoffa. Sul retro è cucita una toppa in modo da evitare che i sensori possano sopostarsi durante l'utilizzo (fig. 27).

Il materiale è misto Polyamide ed Elastane, lavaggio a 40°.



Figure 26: Concept 5



Figure 27: Concept 5 dettagli

– Concept 6

Doppia fascia alta 10 cm che si avvolge intorno all'avambraccio coprendo la zona dei sensori. Questi possono essere sposizionati al di sotto della fascia in corrispondenza delle tacche.

La chiusura è con velcro all'altezza del polso.

Il materiale è Poliestere e Gomma.



Figure 28: Concept 6

5.3 Scelta del concept finale

La selezione del concept è stata svolta con la tecnica del *concept screening*, composta da una matrice di decisione che viene usata per valutare e classificare il miglior concept.

Come Selection Criteria sono state utilizzate le Costumer Needs nella QFD e come concept di riferimento ErgoSleeve della Myontec.

La valutazione è stata data comparando il concept in questione con quello di riferimento e la valutazione è stata data usando [6]:

- “+”: better than
- “0”: same as
- “-”: worse than

Selection Criteria	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4	Concept 5	Concept 6
Lavabile	0.	0	0	0	0	0
Economico	+	+	+	+	+	+
Elastico	0	0	-	0	0	0
Comodo	-	-	-	0	0	-
Traspirante	0	-	0	+	+	-
Connettività	0	0	0	0	0	0
Multisensore	0	0	0	0	0	0
Somma “+”	1	1	1	2	2	1
Somma “0”	5	4	4	5	5	4
Somma “-”	1	2	2	0	0	2
Next Score	0	-1	-1	2	2	-1
Rank	2	3	3	1	1	3

Figure 29: Matrice di Screening.

Dalla matrice in fig.29 risulta che Concept 5 e Concept 6 sono entrambi al primo posto quindi si è ritenuto opportuno combinarli per ottenere il concept finale.

È stato progettato un manicotto con elastico in corrispondenza del polso e del gomito per garantire una corretta stabilità.

Per un corretto posizionamento, in corrispondenza del malleolo e del gomito sono state posizionate delle tacche.

I sensori sono nascosti, posizionati in apposite tasche chiuse con bottoni magnetici, in modo da evitare spostamenti e cadute.

La stabilità è assicurata da elastici cuciti in corrispondenza del gomito con inserti in silicone per migliorare il grip.

Sul retro della stoffa è cucita una toppa in corrispondenza dei sensori per evitare spostamenti durante intensi utilizzi (fig. 31).

Per garantire la regolabilità viene applicata una fascia elasticizzata in corrispondenza delle tasche.

Il materiale è misto Polyamide ed Elastane, lavaggio a 40°.



Figure 30: Concept Finale



Figure 31: Concept Finale dettagli

6 Testing

Una volta selezionato il concept finale, lo step successivo è quello di effettuare un prototipo fisico.

6.1 Dal modello 3D al modello fisico

Il primo passo è stato quello individuare i muscoli di interesse sul braccio di un nostro team member e successivamente è stato effettuato uno scan.

Usando il software *Meshlab* sono state individuate le seguenti coordinate, analizzando i segni riportati in precedenza:

- Radial Styloid: [-89.97; 102.19; 1141.22]
- Ulnar Styloid: [-74.68; 65.89; 1126.60]
- Medial Epicondyle: [-40.69; 151.06; 904.54]
- Lateral Epicondyle: [-98.88; 186.61; 929.07]

Questi valori sono stati utilizzati nel software FreeCad per individuare tutti i piani in corrispondenza dei sensori e poter calcolare la posizione precisa sul braccio e la distanza tra di essi, fig.32.

Basandoci poi sul modello realizzato in FreeCad, è stato possibile realizzare un cartamodello del manicotto, segnando le tacche di posizionamento e i fori nel quale inserire e cucire i sensori.

Infine il modello 2D è stato riportato su stoffa con una stampante lasere e cucito appositamente, come mostrato in fig.33, nel quale possiamo notare che i triangolini ch sporgono sul polso e sul gomito servono ad assicurare un corretto posizionamento.

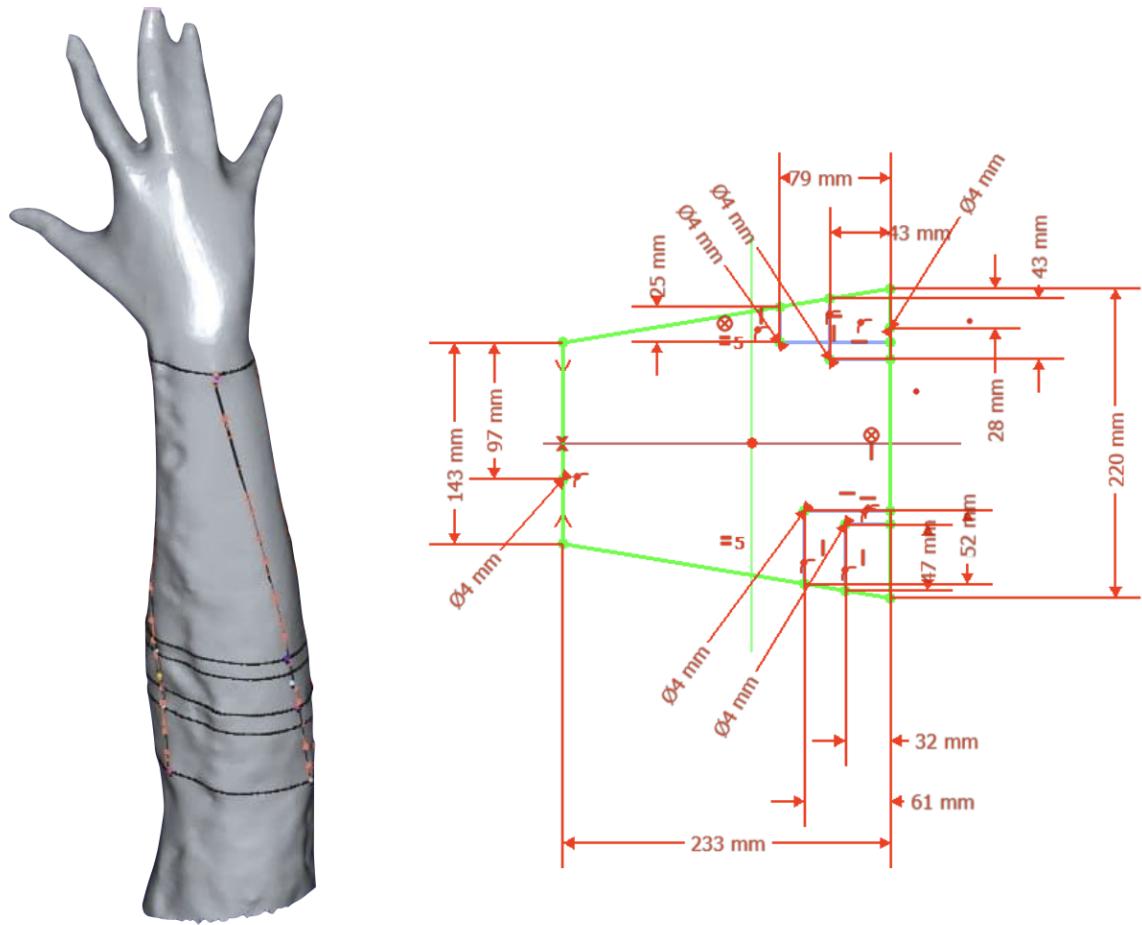


Figure 32: Individuazione dei piani sei sensori e cartamodello 2D



Figure 33: Prototipo fisico

6.2 Analisi con Matlab

Il passo successivo è stato quello di analizzare il funzionamento dei sensori una volta agganciati al manicotto.

È stata posizionata una coppia di EMG sul Flessore, una coppia di EMG sull'Estensore e una IMU posizionata sul polso.

I segnali prodotti sono stati successivamente analizzati in Matlab.

Dal momento che gli EMG forniscono valori sia positivi che negativi, è stata necessaria effettuare una rettificazione del segnale fig.34, successivamente sono stati applicati dei filtri per cercare di ridurre il rumore prodotto (fig.35).

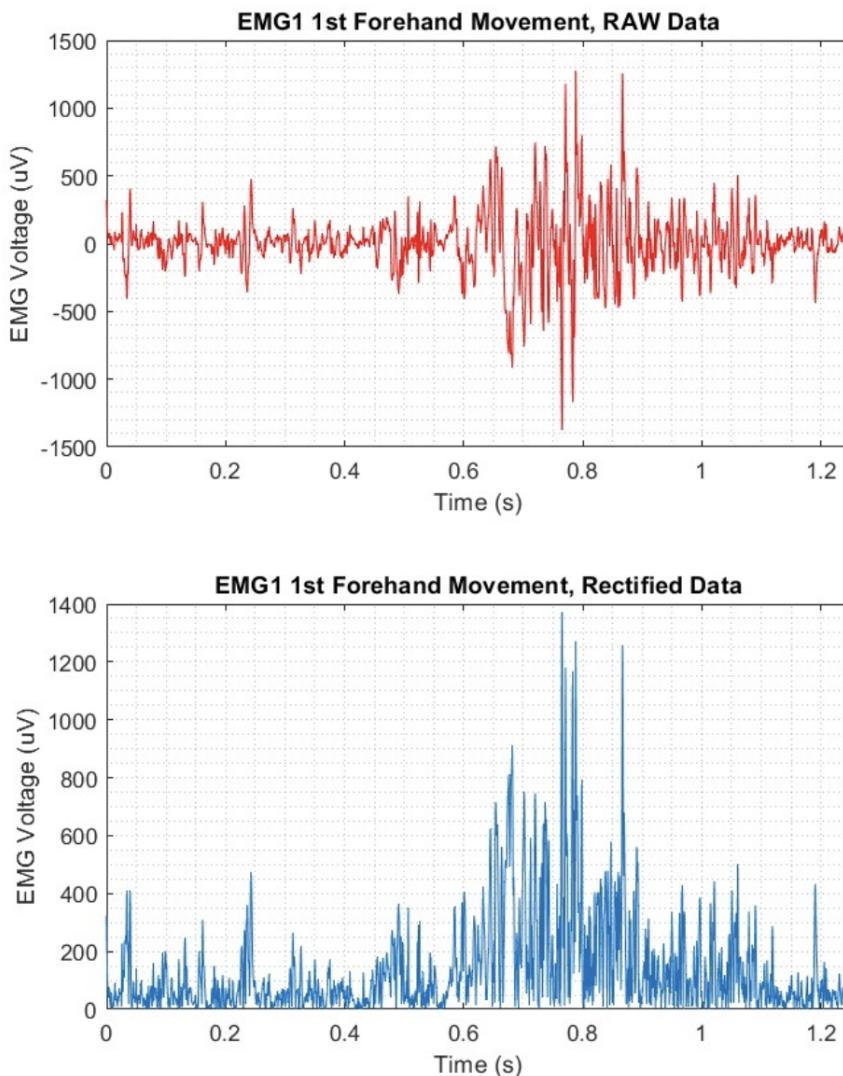


Figure 34: Segnali grezzi e rettificati

Le finestre sono state scelte di ampiezza differente (5, 50, 100 campioni).

Il migliore risulta essere il filtro con 50 campioni.

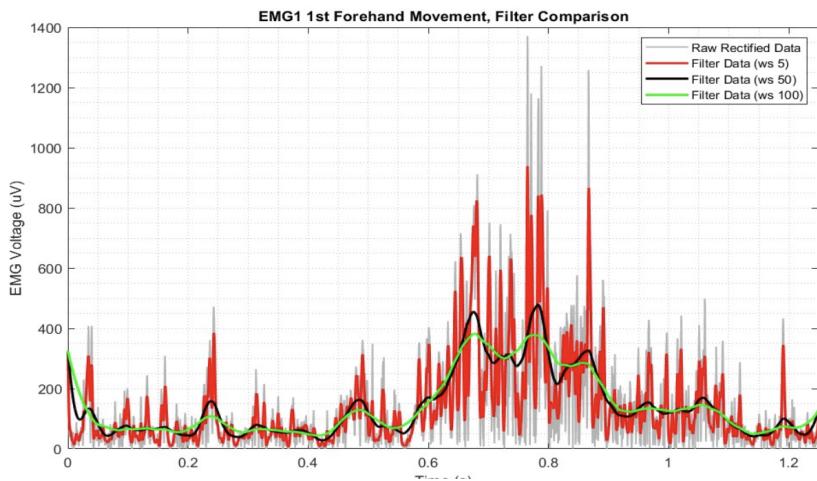


Figure 35: Eliminazione del rumore

Questa analisi è stata effettuata per i seguenti movimenti:

- Forehand (dritto)
- Backhand (rovescio)
- Smash (schiacciata)

Per praticità vengono riportati i grafici dei segnali rettificati e filtrati (fig.36) del Forehand (dritto).

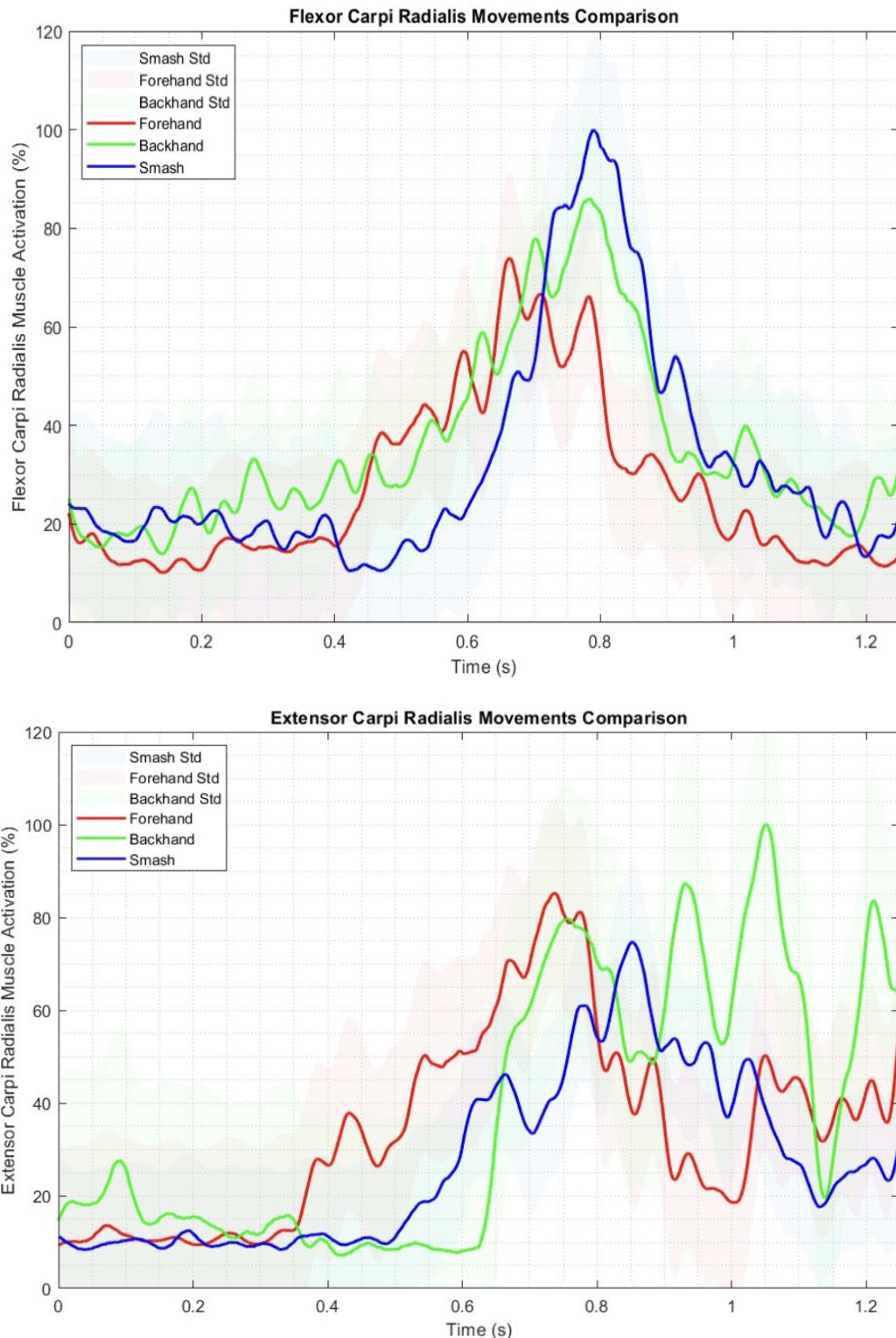


Figure 36: Comparazione movimenti

7 Sostenibilità

L'analisi per la sostenibilità è stata portata avanti in maniera sperimentale e ha come obiettivo quello di analizzare i sensori e capire come questi possano degradarsi dopo tanti lavaggi e capire come cambia il segnale letto.

Al manicotto è stata associata una scheda tecnica che contiene tutte le informazioni sulla temperatura e tipologia di lavaggio, il tipo di detersivo da utilizzare e l'asciugatura consigliata.

Scheda tecnica	
Temperatura di lavaggio	30°C
Tipo di lavaggio	Lavaggio delicato per circa 30 minuti, evitare uso di centrifuga
Detersivi	Omino Bianco (3ml) e Dixan (1/3 di tappo) in proporzione
Asciugatura	All'aria, evitare getti d'aria calda diretti e asciugatrici.
Numero di lavaggi	20 lavaggi divisi in cicli da 5.

L'analisi verrà condotta in via sperimentale. Dopo ogni lavaggio e asciugatura verrà misurata la resistenza di ogni sensore e ogni 5 lavaggi, fino ad arrivare ad un totale di 20 lavaggi, verrà analizzato il segnale. Infine verrà fatta una comparazione dei vari valori e vedere la degradazione del segnale.

In particolare verrà analizzato il rapporto *segnale-rumore*, e come questo valore peggiorerà rendendo difficile la lettura del segnale.

$$\frac{S}{N} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

Se SNR è alto allora il segnale è più alto del rumore, altrimenti se SNR è basso allora il rumore è superiore e può esserci una possibile perdita di informazioni.

Prima di iniziare l'esperimento sono stati misurati i valori di tutti i segnali utilizzando un Multimetro fig.???. La misurazione è stata effettuata sia sull'asse *x* che sull'asse *y*, e sempre alla stessa distanza per avere una coerenza tra le successive misurazioni (fig.37):

I sensori sono stati numerati come in fig.38.

Infine i valori sono stati tabellati per una semplice lettura.

Successivamente è stato portato avanti il seguente protocollo:

- posizionamento delle sonde (fig.39):

* sonda 1: ED-Estensore Dita



Figure 37: Misurazione sensori

Valori Iniziali		
Numero di Lavaggi	0	
Posizionamento	Asse "x"	Asse "y"
Sensor 1	5.0	5.6
Sensor 2	6.3	4.2
Sensor 3	5.8	6.5
Sensor 4	6.0	3.7
Sensor 5	6.4	3.5
Sensor 6	5.7	3.2
Sensor 7	3.0	3.4
Sensor 8	4.5	2.5



Figure 38: Numerazione dei sensori

- * sonda 2: FDS-Flessore Superficiale delle Dita
- * sonda 3: ECR-Estensore Carpo Radiale
- * sonda 4: FCR-Flessore Carpo Radiale
- 3 s di contrazione utilizzando un dinamometro (fig.41) intervallati da 1s di riposo;
- misurazione della pressione (fig.40) in corrispondenza di ED ed ECR con il braccio disteso lungo il corpo



Figure 39: Posizionamento sonde



Figure 40: Misurazione della pressione



Figure 41: Misurazione della pressione

7.1 Primo ciclo di lavaggio

I valori delle resistenze degli elettrodi raccolti dopo cinque lavaggi sono stati tabellati di seguito:

Primo ciclo						
Numero di Lavaggi	1		2		3	
Posizionamento	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"
Sensor 1	5.2	5.6	5.8	5.7	5.8	6.3
Sensor 2	6.4	4.4	6.9	4.6	6.9	5.5
Sensor 3	5.8	6.5	6.0	6.6	6.0	7.3
Sensor 4	6.0	3.8	6.3	4.0	6.4	5.2
Sensor 5	8.1	3.5	8.3	4.0	8.3	5.3
Sensor 6	6.3	3.7	6.6	3.7	6.9	4.0
Sensor 7	5.4	5.1	6.2	6.7	6.4	6.7
Sensor 8	5.8	3.1	7.7	5	7.9	5.5

Primo ciclo				
Numero di Lavaggi	4		5	
Posizionamento	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"
Sensor 1	5.8	7.6	5.9	7.7
Sensor 2	7.0	6.4	7.1	6.6
Sensor 3	7.0	7.6	7.3	7.8
Sensor 4	7.1	5.2	7.5	5.2
Sensor 5	8.5	5.3	8.9	5.5
Sensor 6	7.4	4.0	7.8	4.0
Sensor 7	6.4	6.8	6.9	6.9
Sensor 8	7.9	5.8	8.2	5.9

Table 2: Valori dei sensori dopo cinque lavaggi

Le misure di pressione sono le seguenti:

- Polso 14 mmHg
- Gomito 16 mmHg

e i risultati dell’analisi del rapporto segnale-rumore sono riportati in fig.42. La forza applicata in questa prova raggiunge un picco di 41.14 lb.

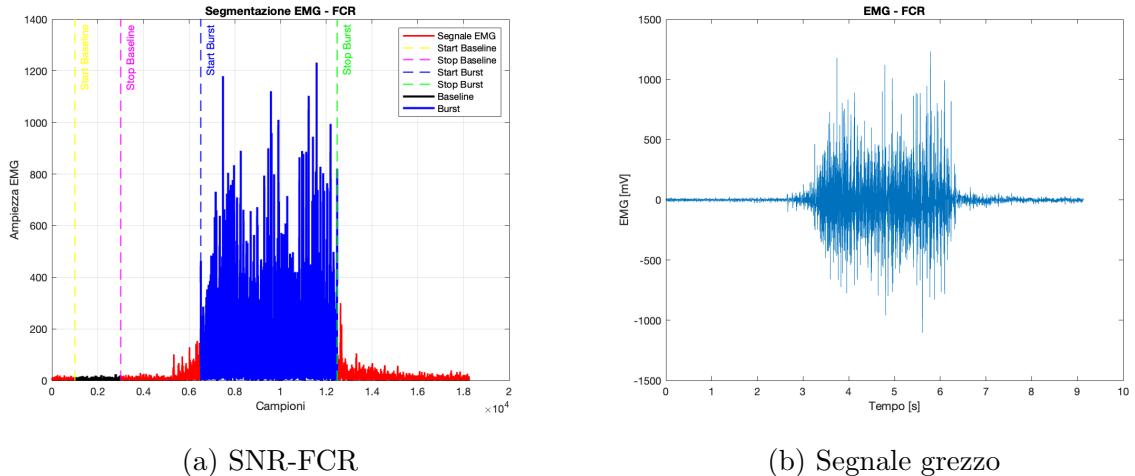


Figure 42: Flessore del Carpo radiale

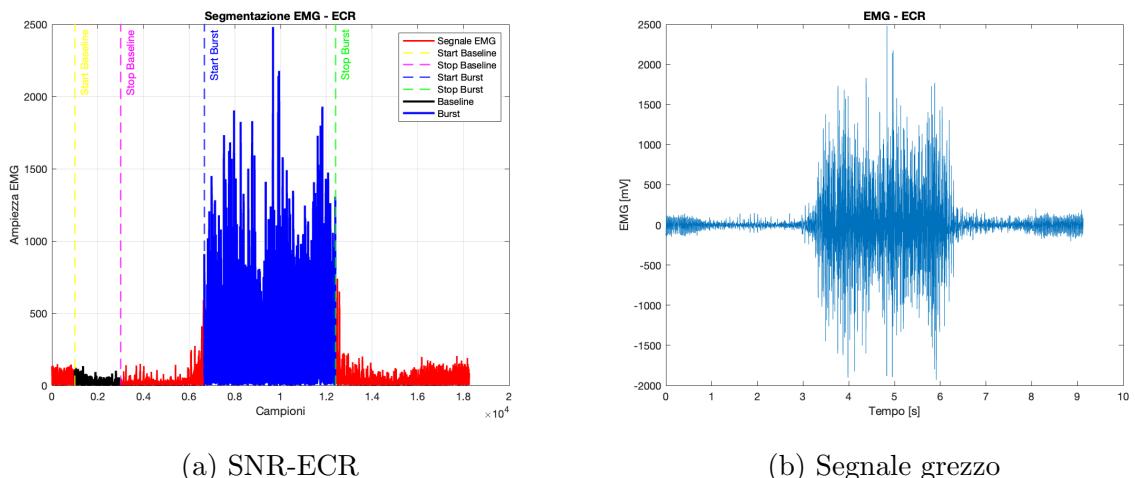


Figure 43: Estensore del Carpo Radiale

7.2 Secondo ciclo di lavaggio

I valori della resistenza raccolti dopo dieci lavaggi sono stati tabellati di seguito:

Secondo ciclo						
Numero di Lavaggi	1		2		3	
Posizionamento	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"
Sensor 1	6.5	11.3	7.7	10.9	7.9	12.3
Sensor 2	8.7	7.5	9.5	8.7	10.4	9.7
Sensor 3	9.1	10.3	8.9	10.1	9.3	10.5
Sensor 4	8.3	8.7	8.8	9.3	9.8	10.2
Sensor 5	10.5	9.9	11.7	9.1	11.4	8.5
Sensor 6	12.3	8.2	10.3	10.4	11.2	10.5
Sensor 7	8.9	9.4	8.5	8.9	10.7	10.2
Sensor 8	8.7	9.3	9.3	9.7	9.8	9.9

Secondo ciclo				
Numero di Lavaggi	4		5	
Posizionamento	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"
Sensor 1	9.7	13.1	6.3	8.6
Sensor 2	11.2	10.3	8.1	6.8
Sensor 3	10.1	11.2	7.0	8.1
Sensor 4	10.0	11.7	8.6	6.8
Sensor 5	12.0	10.3	9.1	5.6
Sensor 6	11.4	11.0	9.5	7.4
Sensor 7	11.0	9.9	7.3	6.9
Sensor 8	10.2	9.7	9.6	6.6

Table 3: Valori dei sensori dopo dieci lavaggi

Le misure di pressione sono le seguenti:

- Polso 14 mmHg
- Gomito 10 mmHg

e i risultati dell’analisi del rapporto segnale-rumore sono riportati in fig.48. La forza applicata in questa prova raggiunge un picco di 43.06 lb.

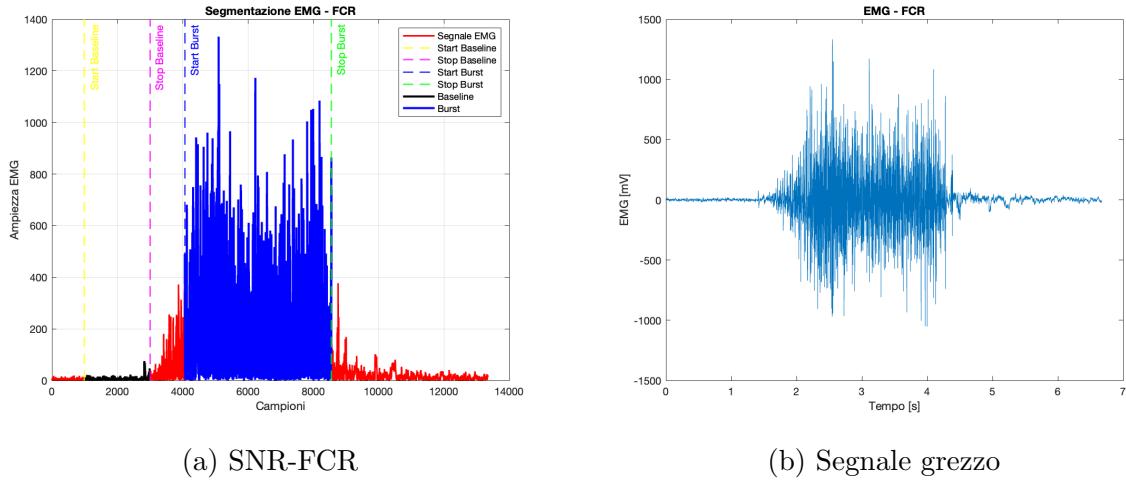


Figure 44: Flessore del Carpo radiale

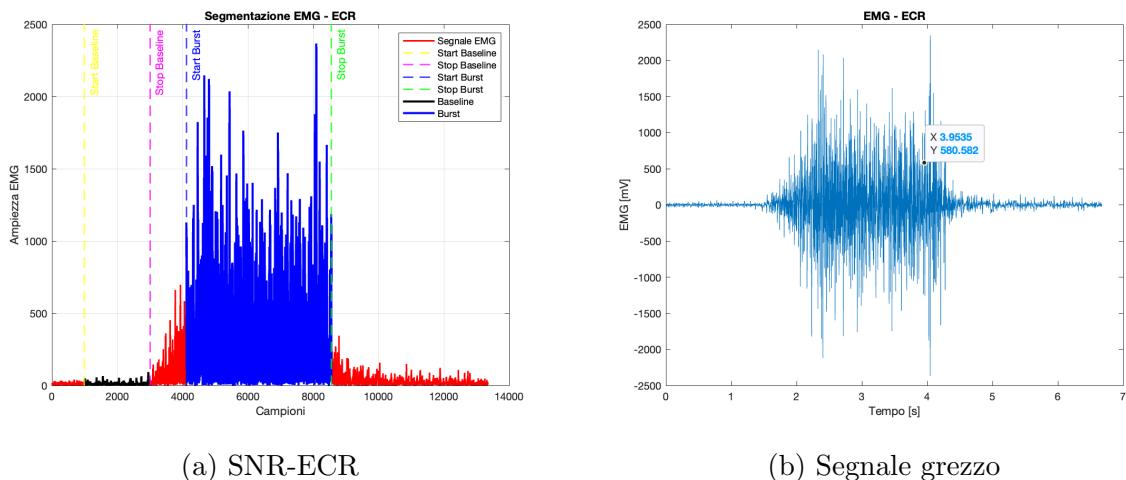


Figure 45: Estensore del Carpo Radiale

7.3 Terzo ciclo di lavaggio

I valori raccolti dopo quindici lavaggi sono stati tabellati di seguito:

Terzo ciclo						
Numero di Lavaggi	1		2		3	
Posizionamento	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"
Sensor 1	6.8	9.2	7.1	9.5	8.0	9.8
Sensor 2	9.3	8.1	9.7	9.1	9.8	9.5
Sensor 3	9.6	8.6	10.6	9.0	10.7	9.7
Sensor 4	9.0	7.3	9.6	7.8	10.3	8.0
Sensor 5	10.4	6.9	10.7	7.3	10.9	7.9
Sensor 6	10.7	8.0	10.8	8.3	10.9	8.5
Sensor 7	8.1	7.9	9.7	9.1	9.8	9.6
Sensor 8	10.7	7.8	11.4	8.7	11.8	9.0

Terzo ciclo				
Numero di Lavaggi	4		5	
Posizionamento	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"
Sensor 1	8.5	10.2	8.8	10.7
Sensor 2	10.6	9.8	11.0	10.3
Sensor 3	11.0	10.7	11.4	11.1
Sensor 4	10.5	9.3	11.7	10.5
Sensor 5	13.0	8.6	13.3	10.5
Sensor 6	11.6	8.5	11.5	8.7
Sensor 7	10.7	11.7	10.7	11.8
Sensor 8	12.0	9.3	12.3	9.8

Table 4: Valori dei sensori dopo quindici lavaggi

Le misure di pressione sono le seguenti:

- Polso 15 mmHg
- Gomito 13 mmHg

e i risultati dell’analisi del rapporto segnale-rumore sono riportati in fig.48. La forza applicata in questa prova raggiunge un picco di 41.47 lb.

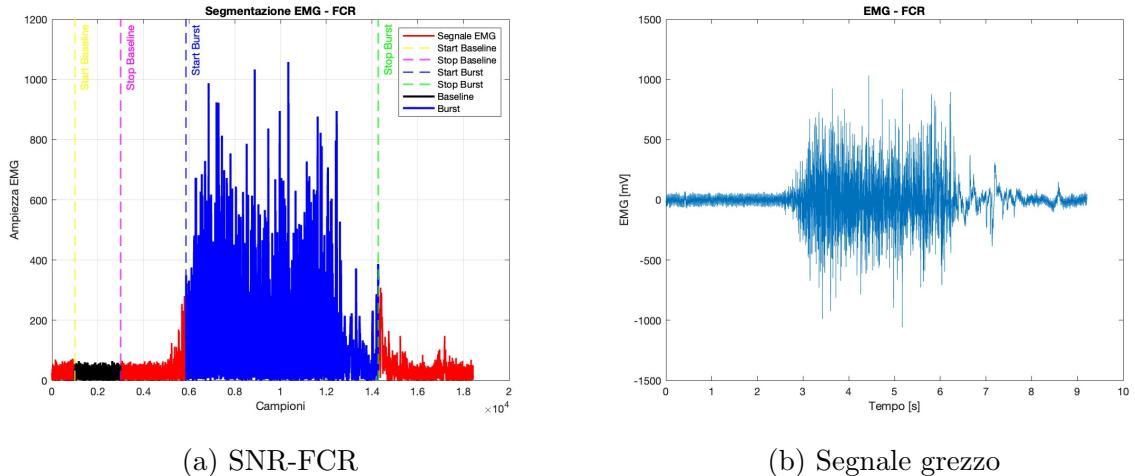


Figure 46: Flessore del Carpo radiale

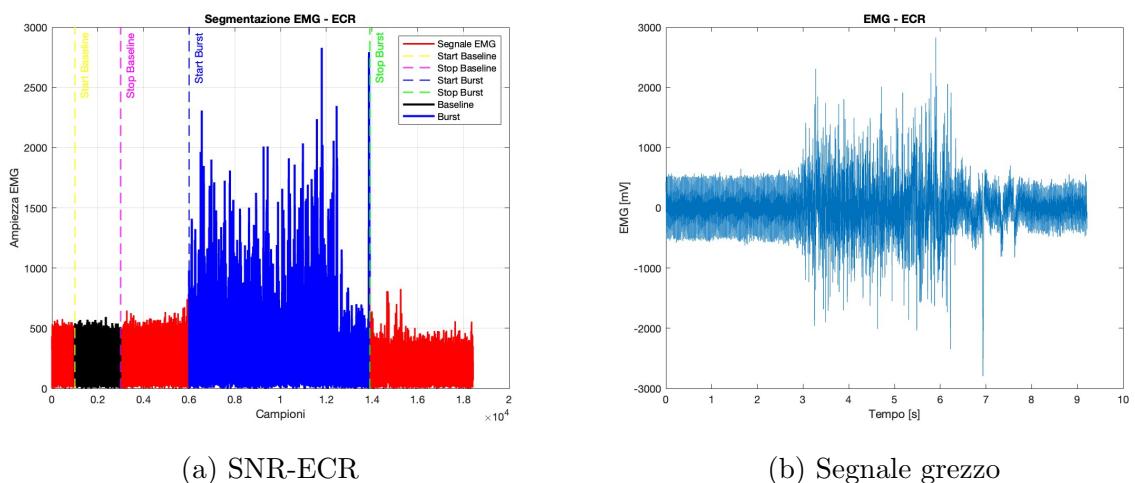


Figure 47: Estensore del Carpo Radiale

7.4 Quarto ciclo di lavaggio

I valori raccolti dopo venti lavaggi sono stati tabellati di seguito:

Quarto ciclo						
Numero di Lavaggi	1		2		3	
Posizionamento	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"
Sensor 1	6.9	9.8	7.4	9.9	8.2	10.1
Sensor 2	9.8	8.4	9.9	9.3	10.3	9.8
Sensor 3	9.7	9.2	10.7	9.2	10.9	9.7
Sensor 4	9.0	7.5	9.8	8.0	10.5	8.4
Sensor 5	10.5	7.5	10.9	8.0	11.3	8.3
Sensor 6	11.0	8.0	11.3	8.7	11.5	9.0
Sensor 7	8.7	8.2	9.8	9.5	10.2	9.9
Sensor 8	11.0	7.9	11.7	9.0	11.9	9.3

Quarto ciclo				
Numero di Lavaggi	4		5	
Posizionamento	Asse "x"	Asse "y"	Asse "x"	Asse "y"
Sensor 1	8.8	10.1	9.4	10.9
Sensor 2	10.4	9.9	11.3	10.2
Sensor 3	10.9	10.5	11.6	10.9
Sensor 4	10.9	9.7	11.9	10.5
Sensor 5	12.8	8.9	13.9	11.0
Sensor 6	11.9	9.0	12.4	9.6
Sensor 7	10.9	11.1	11.3	11.9
Sensor 8	12.4	9.7	12.7	11.5

Table 5: Valori dei sensori dopo venti lavaggi

Le misure di pressione sono le seguenti:

- Polso 14 mmHg
- Gomito 17 mmHg

e i risultati dell’analisi del rapporto segnale-rumore sono riportati in fig.48. La forza applicata in questa prova raggiunge un picco di 41.18 lb.

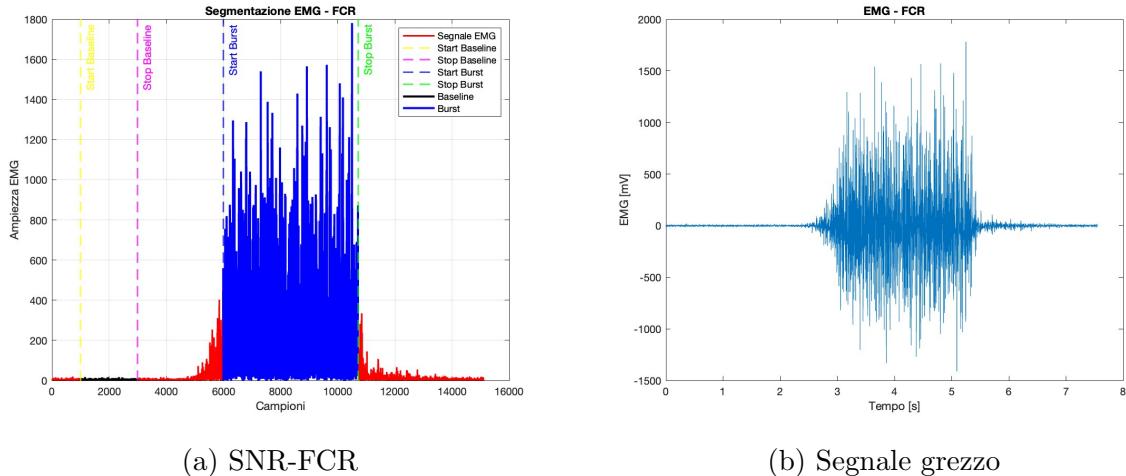


Figure 48: Flessore del Carpo radiale

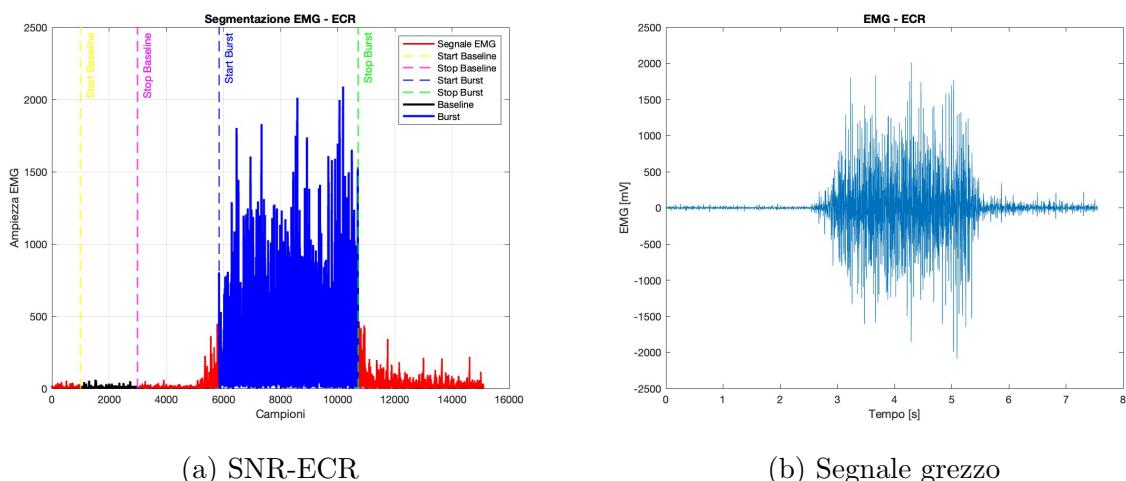


Figure 49: Estensore del Carpo Radiale

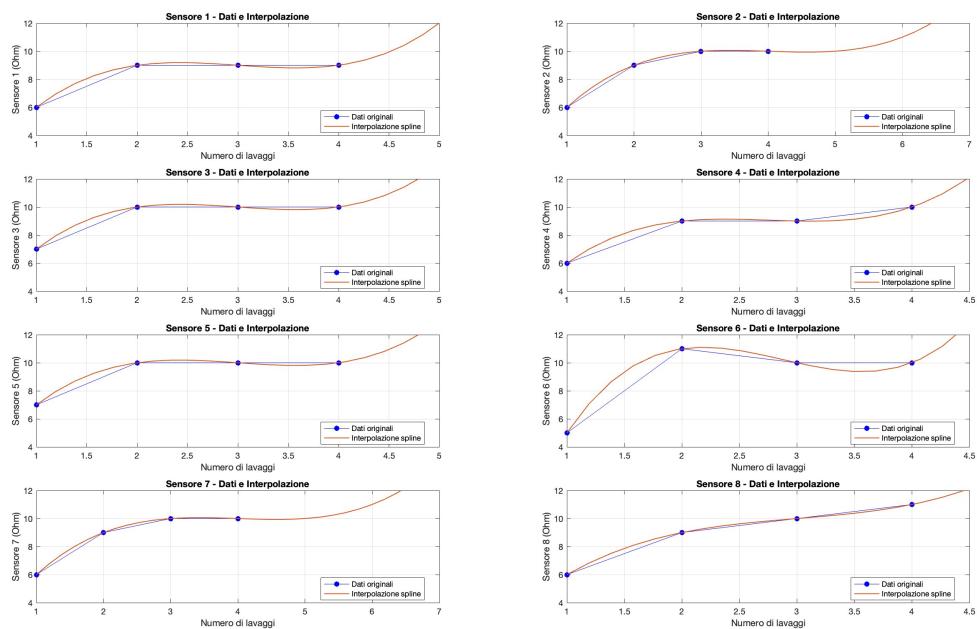


Figure 50: Trend dei sensori

8 Progettazione Robusta

L'analisi robusta è stata portata avanti prendendo in considerazione la pressione da aggiungere al sensore per avere una migliore qualità del segnale.

Quest'ultima dipende dalla impedenza che c'è tra l'elettrodo e la pelle, l'obiettivo è quella di renderla il più piccola possibile. Ciò è possibile aumentando la pressione P che aumenta l'area di contatto A :

$$\uparrow P \rightarrow \uparrow A$$

in questo modo la distanza d viene ridotta e a sua volta diminuisce l'impedenza Z :

$$\downarrow d \rightarrow \downarrow Z$$

Possiamo fare alcune assunzioni [5]:

- Avambraccio cilindrico (fig.51);
- Elettrodi circolari (fig.52);

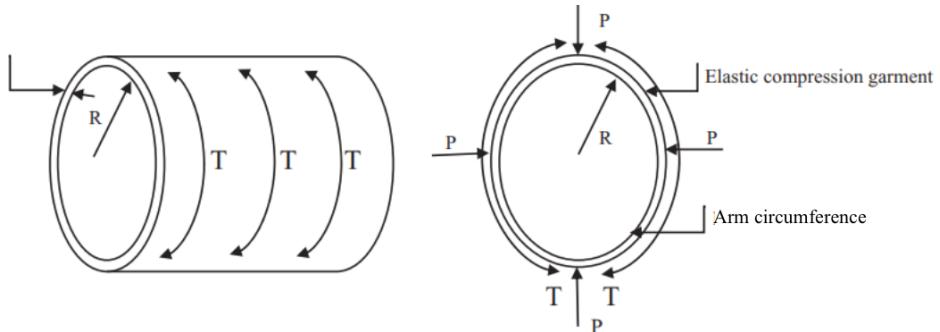


Figure 51: Modello cilindrico

I parametri che caratterizzano il modello sono i seguenti (fig.52):

- E : modulo elastico del tessuto;
- D_s : diametro elettrodo;
- d_s : spessore elettrodo;
- d : spessore stoffa;
- w : larghezza stoffa;
- b : circonferenza avambraccio;
- ϵ : scala di riduzione del modello.

Inoltre:

- R : raggio del corpo cilindrico;
- $B = \frac{b}{1+\epsilon}$;
- $\phi = \frac{D_s}{R}$: angolo che si genera dal centro del cilindro ai lati dell'elettrodo;
- $\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{R}{R+d_s}\right)$

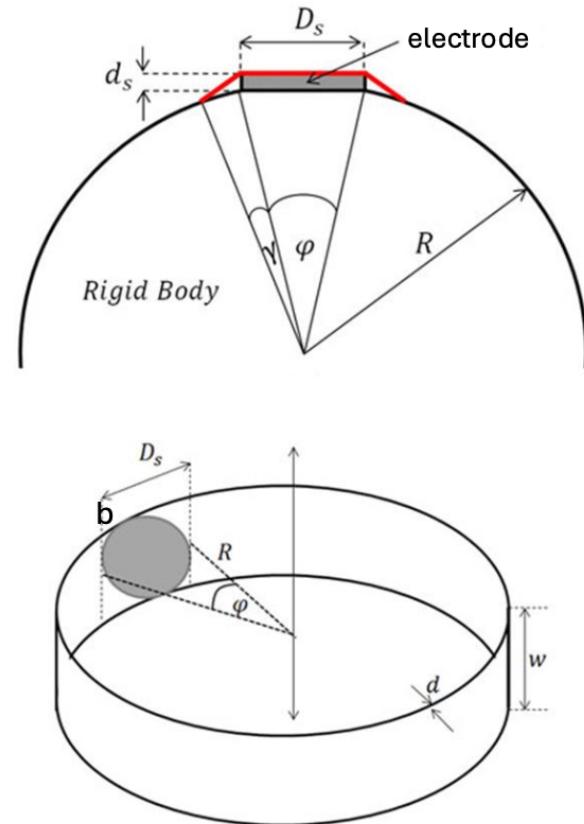


Figure 52: Modello elettrodo

Una volta introdotti i modelli e i parametri fondamentali, l'analisi robusta si basa sullo studio della seguente formula:

$$P_e = P C_{tp} C_{pp} = \left[\frac{E \epsilon d 2\pi}{B} \right] \left[\frac{\sin\left(\frac{\phi}{2} + \gamma\right)}{\sin\frac{\phi}{2}} \right] \left[\frac{\pi D_s}{4w} \right] \quad (1)$$

in cui:

- **Fattori di controllo:** E , D_s , d_s , w , d , e ;
- **Fattore di disturbo:** b ;
- **Pressione "nominal the best":** 4kPa valore accettabile per il massimo comfort sul braccio;

Nello specifico il fatto dei controllo **E** (modulo elastico della stoffa) è stato calcolato sperimentalmente con la prova di trazione.

La prova di trazione è stata svolta in Laboratorio MARTE a S.Giovanni a Teduccio. Sono state svolte 9 prove dalle quali è stato ricavato tramite interpolazione in valore $E = 0.76 MPa$

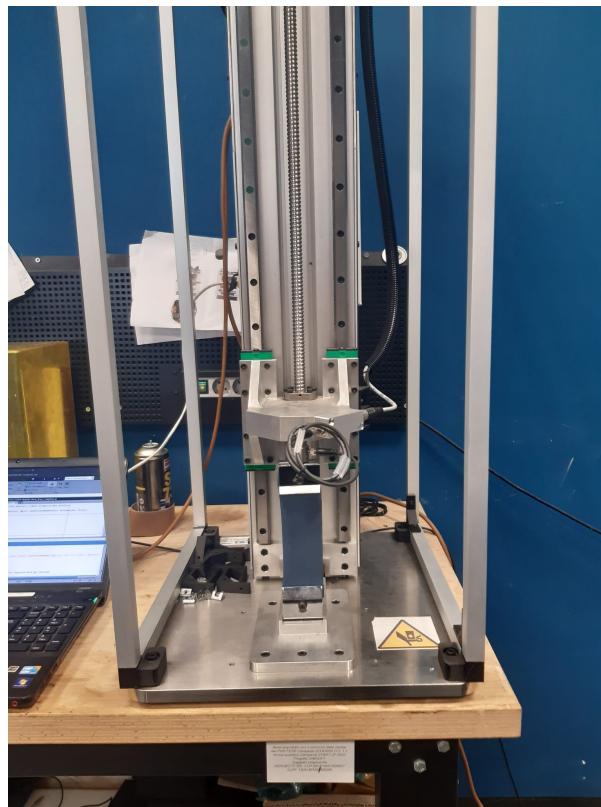


Figure 53: Prova di trazione

8.1 DOE e Robustezza

La progettazione robusta, coniata da Genichi Taguchi, pone l'attenzione sulla progettazione di prodotti e processi che mantengano elevate prestazioni anche quando sono influenzati da variabili di disturbo esterne e incertezze.

La **progettazione degli esperimenti (DOE)** permette di valutare gli effetti di diversi fattori, in particolare consente di:

- Ridurre la variabilità dei risultati,
- Migliorare la capacità del processo,
- Aumentare la qualità del prodotto,
- Ridurre i costi e il time-to-market.

Le integrazioni della progettazione robusta con il DOE garantisce che il prodotto finale funzioni in modo affidabile nel mondo reale, dove le variazioni sono inevitabili[3].

Identificazione dei Fattori di Disturbo

Sono variabili che influenzano le prestazioni di un sistema, ma che risultano difficili da controllare durante il processo produttivo. Nell'ambito del progetto tali fattori sono le taglie del manicotto (S - M - L) che dipendono dalla circonferenza dell'avambraccio.

Selezione dei Fattori di Controllo

I fattori di controllo sono le variabili che possono essere modificate durante l'esperimento. Essi sono centrali nel DOE poiché: In questo caso sono:

- E : modulo elastico del tessuto;
- D_s : diametro elettrodo;
- d_s : spessore elettrodo;
- d : spessore stoffa;
- w : larghezza stoffa;
- ϵ : scala di riduzione del modello.

L'analisi è stata portata avanti utilizzando i **piani fattoriali** che hanno permesso di analizzare contemporaneamente più fattori, in questo caso le combinazioni sono 2^5 .

Un livello (livello alto) di dati è stato preso dal manicotto sul cui si è lavorato (riportati in grassetto) e il secondo livello (livello basso) è stato preso dalla seguente ricerca [5]:

- $E = [\mathbf{0.76}, 0.41]$;
- $\epsilon = [\mathbf{0.9}, 0.8]$;
- $d = [\mathbf{0.3}, 0.8]$;
- $ds = [\mathbf{3}, 2]$;
- $Ds = [\mathbf{30}, 20]$;

Il primo passo è stato quello di calcolare la pressione per le taglie S - M - L per ogni combinazione, usando la formula riportata in precedenza (1).

Successivamente è stata calcolata media (μ) e deviazione standard (σ) ed infine tramite la formula

$$S/N = 10\log_{10}\left(\frac{\mu^2}{\sigma^2}\right)$$

si è calcolato il rapporto segnale rumore.

L'utilizzo della deviazione standard permette di poter fare valutazioni sulla stabilità del prodotto, mentre il rapporto S/R permette di fare valutazioni riguardanti la robustezza.

L'analisi è stata portata avanti nel seguente modo:

- Identificazione della combinazione più robusta tramite la massimizzazione del rapporto segnale rumore
- Individuazione del fattore di controllo che influenza maggiormente sulla prestazione del prodotto
- Individuazione dei fattori che influenzano variabilità e robustezza

8.1.1 Combinazione Robusta

La robustezza si misura con la funzione S/N, secondo il metodo Taguchi. La combinazione più robusta è quella che massimizza il rapporto S/N, perché significa che la prestazione è alta e poco influenzata dal rumore.

E	ϵ	d	d_s	D_s	w	Pe_s	Pe_M	Pe_L	μ	σ	S/N
0.41	0.9	0.8	3	20	150	3.40 kPa	3.67 kPa	3.99 kPa	3.68	0.29	21.96

Table 6: Combinazione robusta con massimizzazione S/N

8.1.2 Fattore di controllo che influenza sulla prestazione

L'obiettivo ora è sapere quale tra i 5 fattori di controllo ha la maggiore influenza sulla media della prestazione.

Si analizzano due elementi:

- L'effetto principale
- Il contributo percentuale

I dati di pressione sono stati divisi in due gruppi (livello basso e livello alto) per ciascun fattore e si è calcolata la media per ciascun livello:

$$E_{media} = \mu_{la} - \mu_{lb}$$

poi si è calcolato il contributo percentuale come:

$$C\% = \frac{E^2}{\sum E^2} 100$$

I fattore che maggiormente influenza la pressione media sono

- d con un coefficiente di contribuzione del 46.9%
- E con un coefficiente di contribuzione del 30.8%
- D_s con un coefficiente di contribuzione del 9.20%
- ϵ con un coefficiente di contribuzione del 8.84%
- d_s con un coefficiente di contribuzione del 4.15%

8.1.3 Influenza su variabilità e robustezza

Il fattore con **maggior effetto su deviazione standard** è quello che influenza maggiormente la variabilità, in quanto più è alto l'effetto, più il fattore causa variazioni della pressione. Il fattore che più influenza l'std è d con un coefficiente di contribuzione del 67.53%

Il fattore con **maggior effetto su S/N** è quello che invece influenza la robustezza e quindi più alto l'effetto, più quel fattore influenza la robustezza del prodotto. Il fattore che più influenza l'S/N è d_s con un coefficiente di contribuzione del 82.32%.

A Questionario Kano-Kansei

DIVENTA PARTE DELL'INNOVAZIONE

Il seguente questionario ha l'obiettivo di analizzare le esigenze ed i desideri delle persone (in particolare degli atleti) in merito a **prodotti indossabili smart**.

L'oggetto di studio del questionario è un **manicotto per il braccio** dotato di sensori EMG ed IMU.

Questi sensori, durante un gesto atletico, sono in grado di ottenere informazioni relative a quali muscoli del braccio vengono contratti, con quale intensità vengono contratti e come viene eseguito il gesto (posizione del braccio, velocità di esecuzione...).

Queste informazioni potranno essere utilizzate dagli atleti per valutare le aree su cui lavorare per migliorare le performance, tenere sotto controllo i progressi e prevenire gli infortuni.

Il manicotto sensorizzato può essere utilizzato anche per monitorare e velocizzare la fase di riabilitazione post infortunio.

PERCHÈ RISONDERE AL QUESTIONARIO?

Le tue risposte saranno alla base della ricerca scientifica per lo sviluppo di nuovi prodotti indossabili smart. In questo modo farai anche tu parte dell'innovazione che verrà messa in atto.

Condividi il questionario con chiunque reputi all'altezza di rispondere e che possa supportare l'innovazione.

ATTENZIONE: le informazioni fornite verranno usate solo per scopi di analisi e statistica. Queste informazioni **NON** verranno usate per scopi promozionali o commerciali.

* Indica una domanda obbligatoria

1. Email *

PROTOTIPO DI MANICOTTO SENSORIZZATO *www.researchgate.net



2. Nome *

3. Età *

Contrassegna solo un ovale.

- Meno di 18
- 18 - 24
- 25 - 34
- 35 - 44
- 45 - 54
- 55 - 64
- 65+

4. Genere *

Contrassegna solo un ovale.

- Maschio
- Femmina
- Preferisco non rispondere

5. Professione *

Contrassegna solo un ovale.

- Studente
- Lavoratore
- Allenatore
- Medico sportivo
- Atleta professionista

6. Che sport pratichi? *

Contrassegna solo un ovale.

- Non pratico sport *Passa alla domanda 13.*
- Padel *Passa alla domanda 15.*
- Tennis *Passa alla domanda 15.*
- Ping pong *Passa alla domanda 15.*
- Altro: _____

7. Pratichi questo sport a livello agonistico? *

Contrassegna solo un ovale.

- Non pratico sport
- Si
- Non attualmente ma vorrei
- No

8. Da quanto tempo pratichi questo sport? *

Contrassegna solo un ovale.

- Non pratico sport
- Meno di 3 mesi
- Dai 3 ai 6 mesi
- Dai 6 mesi ad 1 anno
- Da 1 anno a 2 anni
- Da 2 anni a 3 anni
- Da 3 anni a 4 anni
- Da 4 anni a 5 anni
- +5 anni

9. Come ti valuti attualmente? *

Contrassegna solo un ovale.

- Non pratico sport
- Dilettante
- Intermedio
- Esperto
- Avanzato
- Professionista

10. Quali sono o pensi che siano i fattori critici su cui bisogna lavorare per migliorare nello sport che pratichi? (Es. Forza, resistenza, riflessi, coordinazione, esecuzione del gesto...)

11. Quanto pensi sia facile infortunarsi nello sport che pratichi? (se non pratichi sport metti zero) *

Contrassegna solo un ovale.

0 1 2 3 4 5

12. Secondo te da cosa può dipendere l'infortunio e come lo si potrebbe prevenire? *

Passa alla domanda 15.

Visto che non pratici nessuno sport rispondi alle seguenti domande:

13. Hai interesse nei confronti del manico per il braccio con sensori EMG ed IMU in grado di valutare contrazione dei muscoli e movimento del braccio al fine di aiutare gli atleti per migliorare le performance, prevenire infortuni o per supportare le persone in fase di riabilitazione? *

Contrassegna solo un ovale.

Si

No

14. Per quale motivo hai (o non hai) interesse in questo prodotto e come lo utilizzeresti nel tuo caso? *

VALUTAZIONE SUL PRODOTTO

Il manicotto per il braccio, essendo dotato di sensori EMG ed IMU, è in grado di rilevare quali muscoli vengono contratti durante un gesto, l'intensità di contrazione ed il movimento eseguito.

Tramite un'applicazione che riceve in ingresso i dati rilevati dal manicotto, dopo una sessione di allenamento, sarebbe possibile vedere quali muscoli sono stati più o meno contratti, quali gesti sono stati eseguiti più spesso (es. hai eseguito più dritti che rovesci), in che modo sono stati eseguiti i gesti, con che velocità... Tutto questo al fine di mostrare su cosa lavorare per migliorare le performance e segnalare gesti che potrebbero portare ad infortuni.

Questi stessi dati possono essere utilizzati per valutare il miglioramento durante la riabilitazione ed individuare le aree su cui lavorare maggiormente.

Sulla base di ciò rispondi alle seguenti domande:

15. Utilizzeresti il manicotto al fine di migliorare le tue performance o prevenire gli infortuni? *

Contrassegna solo un ovale.

 Si No Passa alla domanda 21.

Visto che utilizzeresti il manicotto al fine di migliorare le tue performance o prevenire gli infortuni, rispondi alle seguenti domande:

16. Per cosa lo utilizzeresti principalmente? (puoi scegliere più risposte) *

Seleziona tutte le voci applicabili.

- Valutare le performance durante gli allenamenti
- Valutare le performance durante le gare
- Prevenzione degli infortuni
- In fase di riabilitazione post infortunio
- Altro: _____

17. Ci sono altri dati che a parer tuo dovrebbe rilevare il manicotto? (Es. Frequenza cardiaca, tempi di recupero...)

*

-
18. Quanto pensi possa costare un prodotto di questo genere? *

Contrassegna solo un ovale.

- Meno di 300€
- Dai 300€ ai 500€
- Dai 500€ ai 1000€
- Più di 1000€

19. Spenderesti la cifra che hai indicato nella risposta precedente per acquistare il * prodotto?

Contrassegna solo un ovale.

- Si
- No

20. Acquieresti il prodotto unicamente per la riabilitazione? *

Contrassegna solo un ovale.

- Si
- No

Passa alla domanda 24.

Visto che NON utilizzeresti il manicotto al fine di migliorare le tue performance o **prevenire** gli infortuni, rispondi alle seguenti domande:

21. Perché non utilizzeresti il manicotto al fine di migliorare le tue performance o * prevenire gli infortuni?

*

22. Quanto pensi possa costare un prodotto di questo genere? *

Contrassegna solo un ovale.

- Meno di 300€
- Dai 300€ ai 500€
- Dai 500€ ai 1000€
- Più di 1000€

23. Acquieresti il prodotto per la fase di riabilitazione? *

Contrassegna solo un ovale.

- Si
- No

24. Scrivi fino a 5 caratteristiche (separate da una virgola) che ritieni debba avere il * manicotto, ordinandole per importanza. (Es. leggero, facile da indossare...)

Ci sei quasi! Termina con le ultime domande:

25. 1.1 Se il dispositivo fosse lavabile, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

26. 1.2 Se il dispositivo NON fosse lavabile, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

27. 1.3 Quanto è importante che sia lavabile? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



28. 2.1 Se il dispositivo fosse economico, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

29. 2.2 Se il dispositivo NON fosse economico, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

30. 2.3 Quanto è importante che sia economico? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



31. 3.1 Se il dispositivo fosse elasticizzato, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

32. 3.2 Se il dispositivo NON fosse elasticizzato, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

33. 3.3 Quanto è importante che sia elasticizzato? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



34. 4.1 Se il dispositivo fosse comodo da indossare, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

35. 4.2 Se il dispositivo NON fosse comodo da indossare, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi pacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

36. 4.3 Quanto è importante che sia comodo da indossare? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



37. 5.1 Se il dispositivo fosse impermeabile cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

38. 5.2 Se il dispositivo NON fosse impermeabile, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

39. 5.3 Quanto è importante che sia impermeabile? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



40. 6.1 Se il dispositivo fosse di tessuto traspirante, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

41. 6.2 Se il dispositivo NON fosse di tessuto traspirante, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

42. 6.3 Quanto è importante che sia traspirante? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



43. 7.1 Se il dispositivo fosse utilizzabile per più sport, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

44. 7.2 Se il dispositivo NON fosse utilizzabile per più sport, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

45. 7.3 Quanto è importante che sia utilizzabile per più sport? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

46. 8.1 Se il dispositivo avesse funzioni di connettività avanzate (connessione Bluetooth, connesso ad un'app per smartphone...), cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

47. 8.2 Se il dispositivo NON avesse funzioni di connettività avanzate , cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

48. 8.3 Quanto è importante che abbia funzioni di connettività avanzata? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



49. 9.1 Se il dispositivo fosse esteticamente bello, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

50. 9.2 Se il dispositivo NON fosse esteticamente bello, cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

51. 9.3 Quanto è importante che sia esteticamente bello? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



52. 10.1 Se il dispositivo potesse rilevare altre informazioni oltre a quelli di movimento e contrazione muscolare (Es. Battito cardiaco, temperatura corporea, GPS...), cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

53. 10.2 Se il dispositivo NON potesse rilevare altre informazioni oltre a quelli di movimento e contrazione muscolare (Es. Battito cardiaco, temperatura corporea, GPS...), cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

54. 10.3 Quanto è importante che il dispositivo possa rilevare altre informazioni oltre a quelli di movimento e contrazione muscolare (Es. Battito cardiaco, temperatura corporea, GPS...)? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

55. 11.1 Se il dispositivo utilizzasse una fonte di energia rinnovabile (Es. pannelli solari), cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

56. 11.2 Se il dispositivo NON utilizzasse una fonte di energia rinnovabile (Es. pannelli solari), cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

57. 11.3 Quanto è importante che il dispositivo abbia una fonte di energia rinnovabile (Es. Pannelli solari) *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

58. 12.1 Se il dispositivo fosse eco-sostenibile (Es. realizzato con materiale riciclato o riciclabile...), cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

59. 12.2 Se il dispositivo NON fosse eco-sostenibile (Es. NON realizzato con materiale riciclato o riciclabile...), cosa ne penseresti? *

Contrassegna solo un ovale.

- mi piacerebbe fosse così
- deve essere così
- mi lascia indifferente
- lo trovo accettabile
- non mi piace l'idea

60. 12.3 Quanto è importante che il dispositivo sia eco-sostenibile (Es. realizzato con materiale riciclato o riciclabile...)? *

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Questi contenuti non sono creati né avallati da Google.

Google Moduli

References

- [1] Athos. “<https://wearables.com/collections/athos>”. In: () .
- [2] Cometa. “https://www.cometasystems.com/?utm_term=cometaemgutm_campaign=WaveItaliautm_source=adwordsutm_medium=ppchsa_acc=2218685127hsa_cam=78989008hsa_grp=2690818288hsa_ad=561899914206hsa_src=ghsa_tgt=kwd-26713972528hsa_kw=cometaemghsa_mt=bhsa_net=adwordshsa_ver=3gad_source=1gad_campaignid=78989008gbraid=0AAAAAADqvEoirprhqAGGLa-swnSr10IUXngclid=EAIAIQobChMIkvypYq1jgMVvKiDBx2FcRIrEAAYASAAEgl”. In: () .
- [3] H.A. Jensen G.I. Schuëller. “Computational methods in optimization considering uncertainties – An overview”. In: *IEEE Sensors Journal* (2008).
- [4] Gringo. “<https://delsyseurope.com/movement-sciences/>”. In: () .
- [5] S. Ben Abdessalem H. Barhoumi’ S.Marzougui. “Clothing Pressure Modeling Using the Modified Laplace’s Law”. In: *Clothing and Textiles Research Journal* ().
- [6] Steven D. Eppinger Karl T.Ulrich. “Product design”. In: (), p. 152.
- [7] A. Lanzotti. “PS_QFD”. In: () .
- [8] Myontec. “<https://www.myontec.com>”. In: () .
- [9] Xsense. “https://www.movella.com/products/motion-capture/mvn-analyze?utm_feeditemid=utm_device=cutm_term=xensmvnanalyzeutm_source=googleutm_medium=ppcutm_campaign=hsa_cam=15267581512hsa_grp=129767593877hsa_mt=ehsa_src=ghsa_ad=561667408273hsa_acc=1306794700hsa_net=adwordshsa_kw=xensmvnanalyzehsa_tgt=kwd-928333037508hsa_ver=3utm_feeditemid=utm_device=cutm_term=xensmvnanalyzeutm_source=googleutm_medium=ppcutm_campaign=HMM+|+Europe+|+Searchhsa_cam=15267581512hsa_grp=129767593877hsa_mt=ehsa_src=ghsa_ad=561667408273hsa_acc=1306794700hsa_net=adwordshsa_kw=xensmvnanalyzehsa_tgt=kwd-928333037508hsa_ver=3gad_source=1gad_campaignid=15267581512gbraid=0AAAAAAD_wMeKCovsy9mtol_n8nMEAIAIQobChMIrOi-joq1jgMVH5aDBx0BwSswEAAYASAAEgKmLfD_BwE”. In: () .