



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAMERINO

## SCUOLA DI ARCHITETTURA E DESIGN “E. VITTORIA”

### CORSO DI LAUREA IN

.....LM-12 Design per l'innovazione digitale.....

### TITOLO DELLA TESI

.....  
.....Dalla biomimesi allo sviluppo di una pinna.....  
.....agonistica intelligente per il nuoto.....  
.....

*Laureando/a*

**Nome..**Ludovica Iaccarino.....

**Firma..**.....

*Relatore*

**Nome....**Giuseppe Losco.....

**Firma.....**.....

*Se presente eventuale Correlatore indicarne nominativo/i*

..Davide Paciotti.....

.....

### ANNO ACCADEMICO

.....2024/2025.....





# Pinna

La pinna è un dispositivo indossato ai piedi per aumentare la propulsione in acqua. Utilizzata in vari ambiti, migliora l'efficienza del nuoto e potenzia la muscolatura degli arti inferiori



FULL FOOT



OPEN HEEL

## DIVISIONE

- Scarpetta
- Pala
- Cinghie

## TIPOLOGIE

- Pinne Corte
- Pinne Lunghe
- Monopala

## CATEGORIE

- Full Foot
- Open Heel

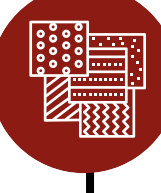


## PINNE NEL NUOTO AGONISTICO

Il nuoto agonistico è una disciplina altamente tecnica, dove l'efficienza del movimento in acqua è fondamentale per ottimizzare le performance. Le attrezzature utilizzate, come le pinne, rivestono un ruolo chiave nell'allenamento degli atleti, contribuendo a migliorare la tecnica, la propulsione e la resistenza. Consentono di focalizzarsi sulla coordinazione braccia-gambe, sulla stabilità e sulla riduzione della resistenza idrodinamica.

## DIFFERENZE DI PUNTA DELLA PALA

- Punta Curva
- Punta Allungata
- Punta a Onda
- Punta a V



## MATERIALI

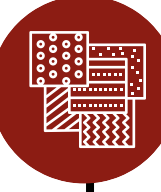
La scelta dei materiali per le pinne è un fattore cruciale che ha un impatto diretto sulle prestazioni, sul comfort e sulla durabilità del prodotto e sul tipo di nuoto. Si è passato a soluzioni inizialmente rudimentali a materiali altamente tecnologici che sfruttano le più recenti innovazioni in campo industriale.

## TIPOLOGIE

- Polipropilene
- TPU
- Materiale plastico + fibra di vetro o carbonio

## EVOLUZIONE

- ANNI '30: Gomma naturale
- ANNI '50-60: Gomma sintetica
- PRESENTE: Materiali compositi e ecosostenibili



## PRODUZIONE

- Stampaggio a iniezione
- Stampaggio a compressione
- Stampaggio a soffiaggio
- Produzione additiva (stampa 3D)
- Laminazione di fibra di vetro o carbonio

## RICERCA DI MERCATO



**Speedo Biofuse:** Full - Foot focalizzata sul comfort

**Finis Edge - Open Heel** - progettata per migliorare la resistenza e la potenza nella gambata

**Radbug - Open Heel** - sono progettate per il bodyboard, offrendo un'eccellente combinazione di potenza, comfort e controllo



**Xmetrics Pro:** è un dispositivo wearable avanzato progettato per il monitoraggio delle prestazioni dei nuotatori durante l'allenamento

**Garmin Swim 2:** è uno smartwatch avanzato progettato specificamente per il nuoto, sia in piscina che in acque libere.



**Kinematix Tuning:** progettate per migliorare le prestazioni e ridurre il rischio di infortuni negli atleti

**Digitsole Smart Insole:** solette intelligenti progettate per tracciare diversi parametri, come la temperatura del piede

**Nurvv Run Smart Insolesg:** progettate per migliorare le prestazioni nella corsa e ridurre il rischio di infortuni



PALA

SCARPETTA

Velocità

Nuoto Agonistico

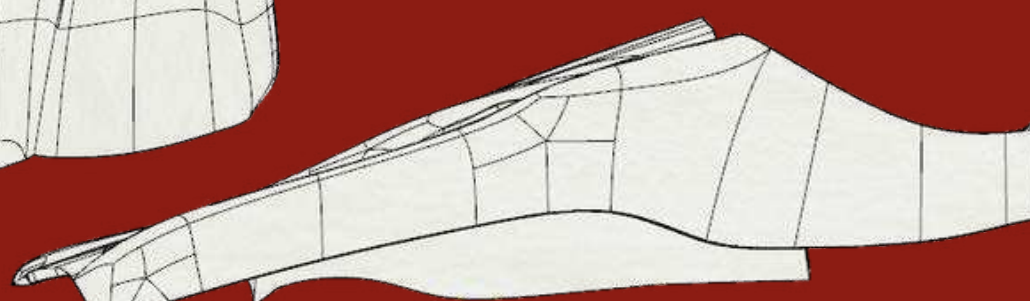
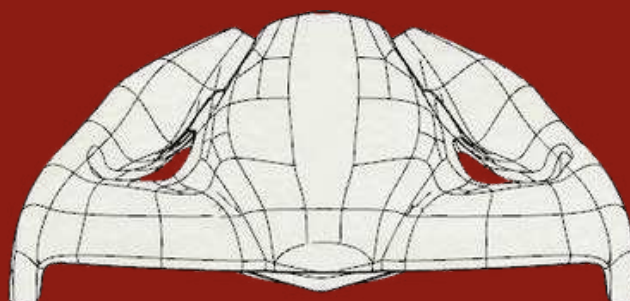
Monitoraggio Performance

Sensori

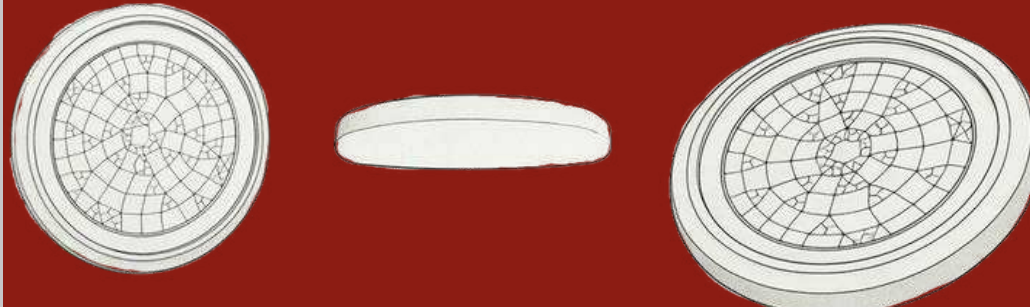
PINNA TECNOLOGICA PER IL NUOTO

Allenamento

Tecnologia



PINNA DA NUOTO



DISPOSITIVO RIMOVIBILE

## IDEA PROGETTUALE

Tra le varie ricerche effettuate è quindi emerso che i dispositivi attualmente in commercio di pinne da nuoto agonistico per l'analisi della performance non sono in grado di fornire un'analisi dell'atleta

## Obiettivi del progetto

1. Monitorare l'atleta tramite sensori e raccogliere dati utili per migliorare l'attività agonistica del nuotatore

## Contenuto del KIT

1. Pinna SX e DX
2. Dispositivo removibile intelligente SX e DX
3. Accessorio di ricarica Wireless Qi
4. App dedicata per il monitoraggio
5. Manuale di istruzioni

## Funzionalità principali

1. Misurazione della forza applicata durante la gambata
2. Rilevazione della velocità e dell'accelerazione in acqua
3. Conteggio del numero di gambate e calcolo della distanza percorsa
4. Calcolo della potenza di propulsione generata
5. Trasmissione wireless dei dati verso dispositivi esterni, come app dedicate
6. Visualizzazione in tempo reale dei parametri e archiviazione dello storico delle sessioni di allenamento



# Biomimesi

BÍOS= "VITA"  
MÍMESIS = "IMITAZIONE"  
“IMITAZIONE DELLA VITA”: STUDIARE LA  
NATURA PER TRADURLA IN SOLUZIONI  
PROGETTUALI

La biomimesi è il processo di osservare, analizzare e imitare i principi funzionali della natura per creare soluzioni più efficienti, sostenibili e intelligenti

Il termine moderno “biomimicry” è stato diffuso da Janine Benyus nel 1997 con il libro Biomimicry: Innovation Inspired by Nature

## TIMELINE STORICA

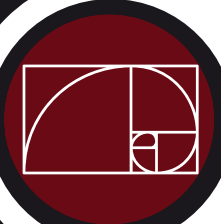
### 1 RINASCIMENTO

Leonardo analizza il volo degli uccelli



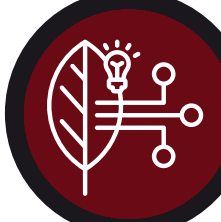
### 2 XX SECOLO

Nascita del metodo biomimetico scientifico



### 3 PRESENTE

Applicazioni ingegneristiche e di design



## I 3 LIVELLI DELLA BIOMIMESI

#### 1. LIVELLO DELLA FORMA

Imitazione delle forme naturali per scopi estetici o aerodinamici

#### 2. LIVELLO DEL PROCESSO

Imitazione delle funzioni e dei materiali

#### 3. LIVELLO DELL’ECOSISTEMA (ECOSYSTEM-MIMICKING)

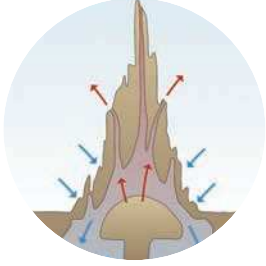
Imitazione dei cicli naturali e delle relazioni tra organismi



TEXTURE DELLA PELLE DI SQUALO

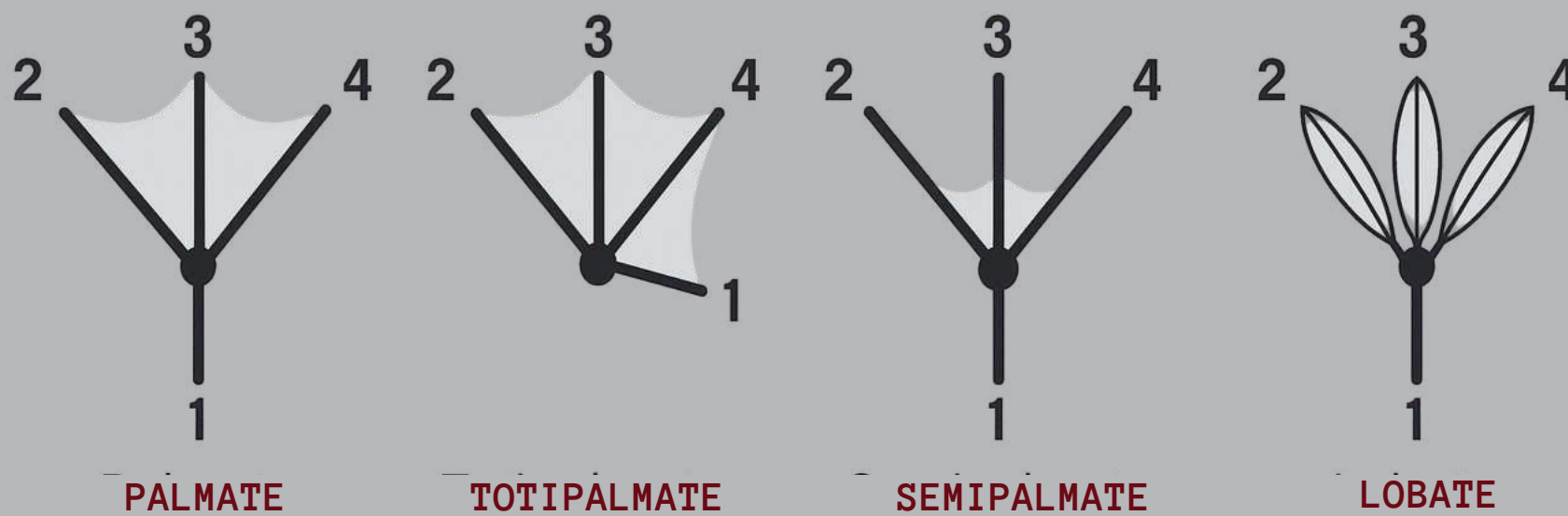


TEXTURE ZAMPE DEL GEKO



TERMITAIO AFRICANO - MODELLO VENTILAZIONE BIOCLIMATICA

## CLASSIFICAZIONE



PALMATE

TOTIPALMATE

SEMIPALMATE

LOBATE

IL TERMINE “PALMATO” DERIVA DAL LATINO PALMATUS, DA PALMA – MANO –

Le dita sono unite tra loro e non indipendenti l’una dall’altra, si presentano palmate: questa conformazione permette che si possa nuotare con grande velocità e, allo stesso tempo, consente che ci si muova anche sul suolo con una certa efficacia

# Zampe Palmate

## FUNZIONI BIOMECCANICHE

#### 1. DRAG-BASED PROPULSION O FASE ATTIVA

- Durante la fase attiva, l’arto si muove all’indietro rispetto al corpo (cioè verso la coda)

- Le membrane interdigitali si aprono e si tendono, formando una sorta di pala continua, aumentando la superficie e quindi la forza di spinta

#### 2. LIFT-BASED PROPULSION O FASE DI RECUPERO

- Durante la fase passiva o di recupero, la zampa si muove in avanti (verso la testa)
- Le dita si chiudono e la membrana si rilassa, riducendo la superficie esposta e quindi la resistenza



DRAG-BASED PROPULSION



LIFT-BASED PROPULSION

## FUNZIONI ADATTIVE

- Ricerca di cibo
- Fuga dai predatori
- Migrazione e spostamenti
- Adattamenti ecologici

### Animali approfonditi



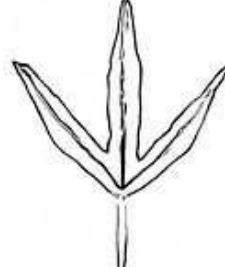
| Specie        | Info generali                                 | Tipo di palmatura | Lunghezza piede (cm) | Larghezza piede (cm) | Spessore medio membrana(mm) |
|---------------|-----------------------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| Germano Reale | Uccello acquatico, forte adattamento al nuoto | Palmate           | 7-9                  | 6-8                  | 4-6 mm                      |
| Gabbiano      | Uccello marino, palmatura più sottile         | Palmate           | 6-7.5                | 5.5-7                | 3-4 mm                      |
| Pellicano     | Grande uccello marino, piedi larghi           | Totipalmate       | 14-17                | 11-14                | 6-8 mm                      |
| Cormorano     | Uccello subacqueo, dita molto allungate       | Totipalmate       | 10-12                | 7-10                 | 5-7 mm                      |



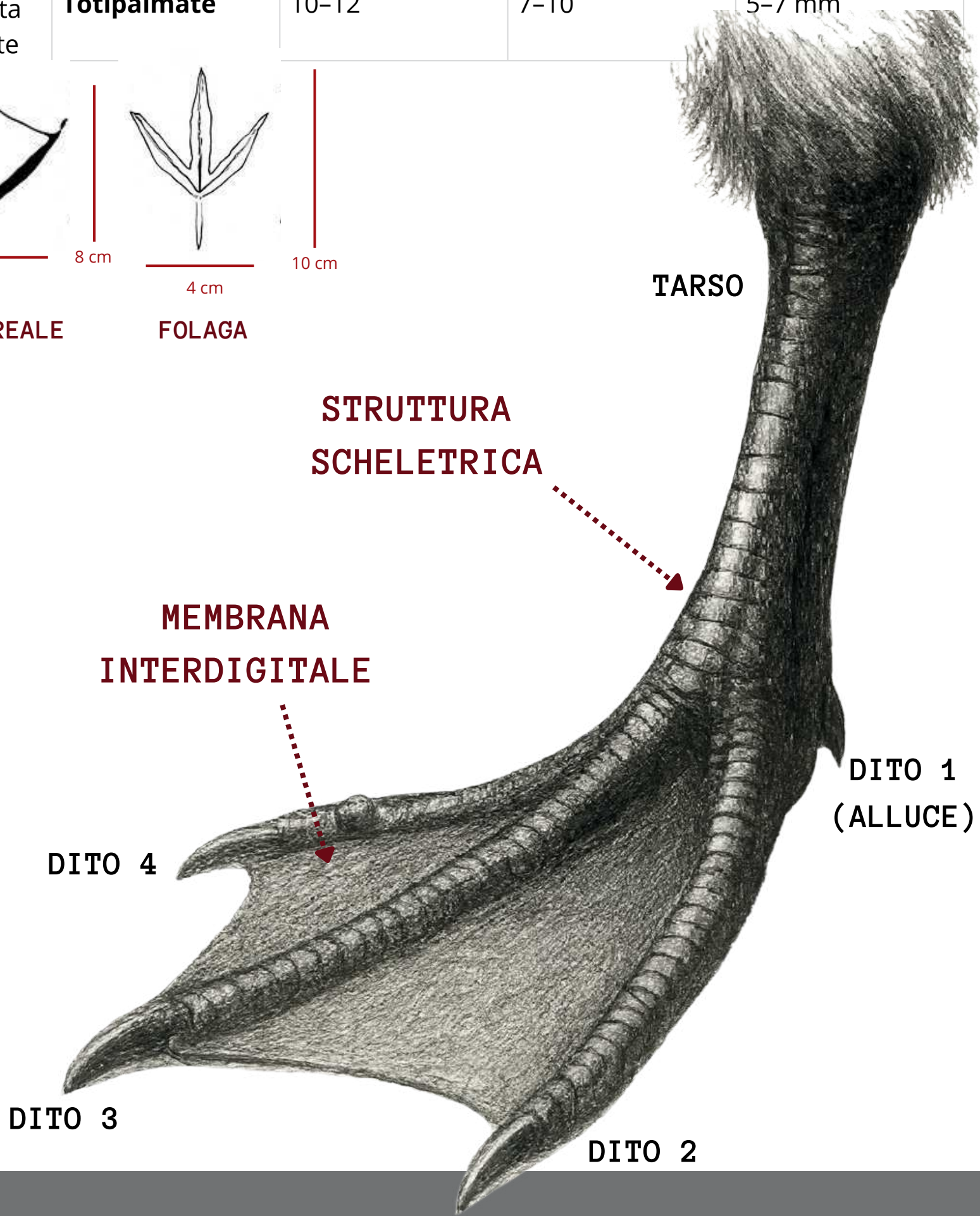
GABBIANO



GERMANO REALE



FOLAGA



TARSO

STRUTTURA SCHELETRICA

MEMBRANA INTERDIGITALE

DITO 4

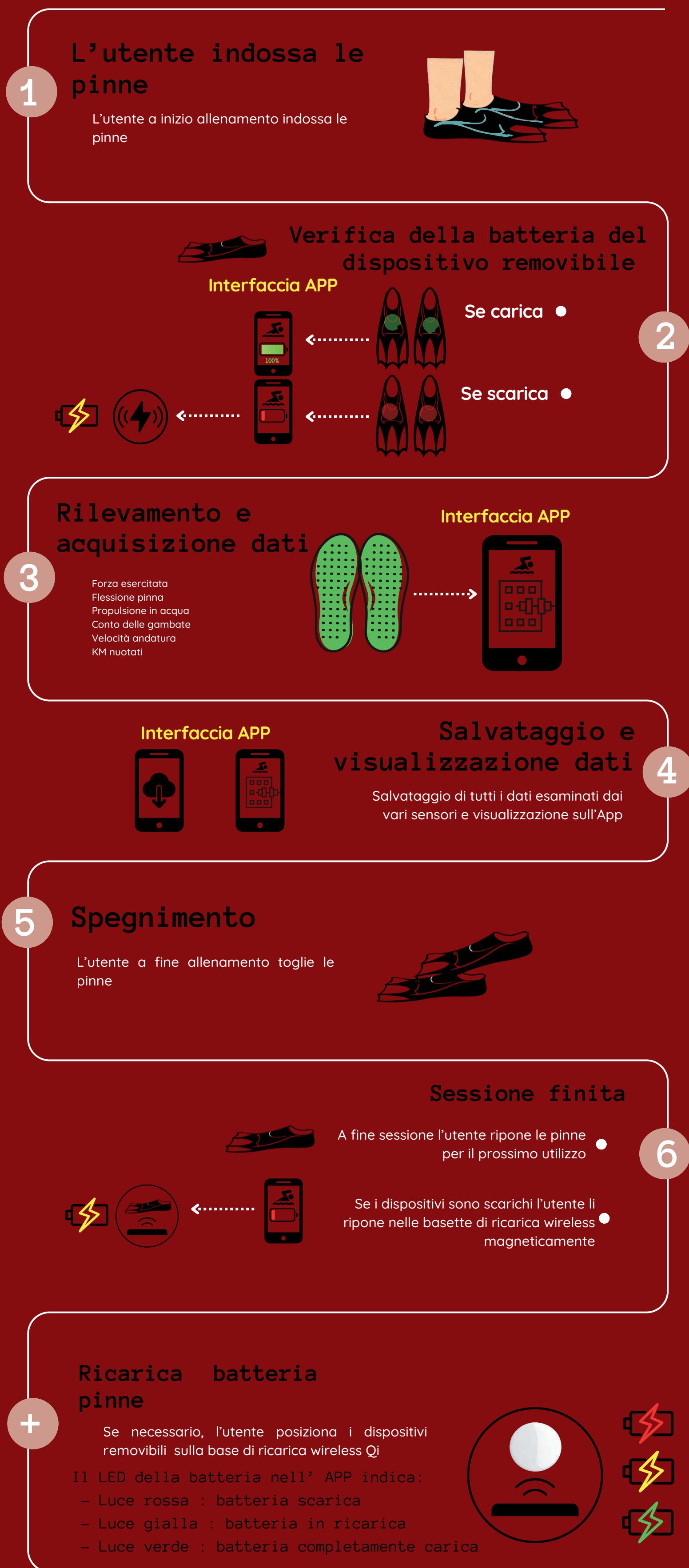
DITO 3

DITO 2

DITO 1 (ALLUCE)



# INTERAZIONE DELL'UTENTE



## RILEVAMENTI E MONITORAGGI

Rilevamento della forza di spinta e monitoraggio della performance

Rilevamento della velocità e dell'accelerazione

Monitoraggio della frequenza di pinneggiate e della propulsione

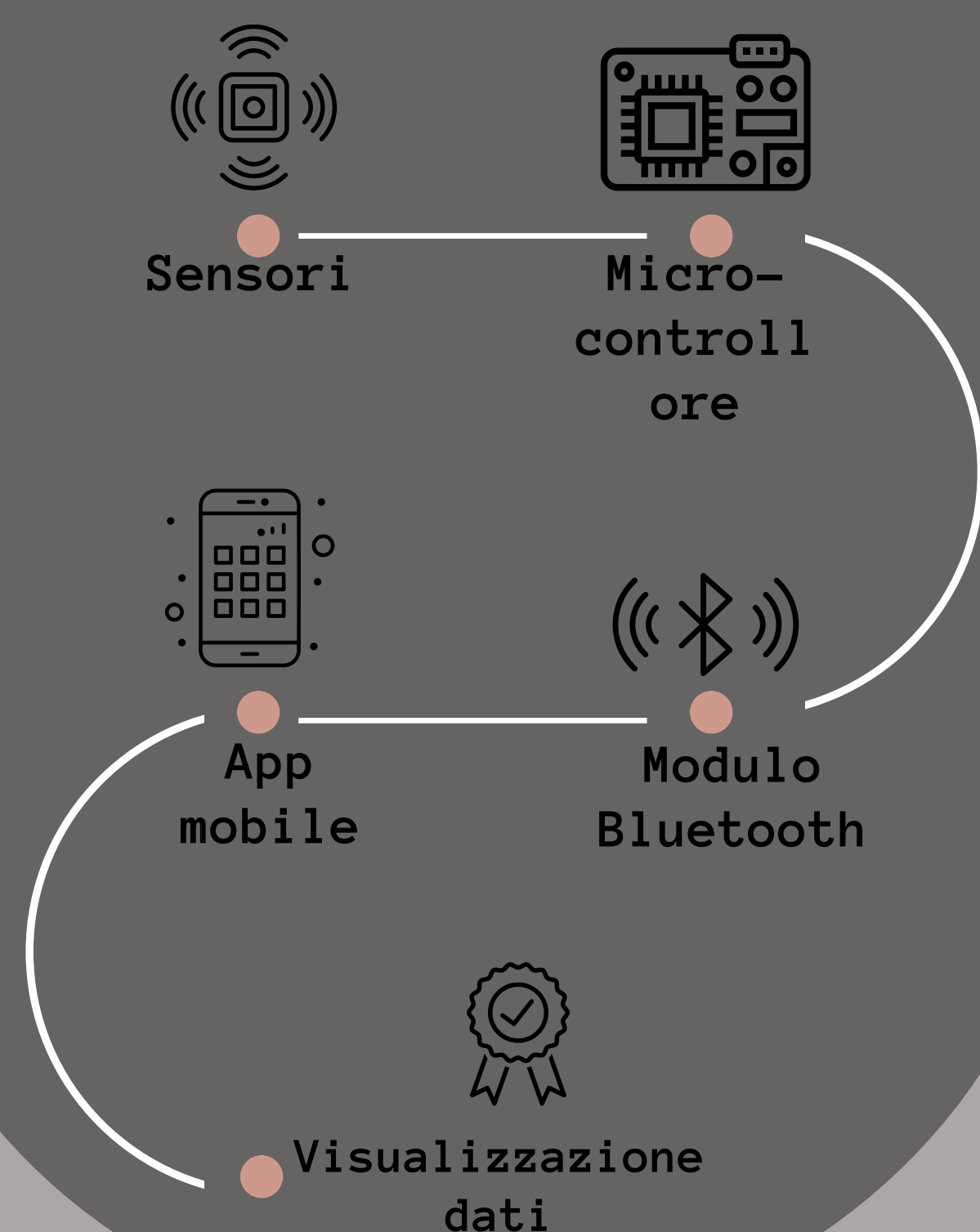
Rilevamento della potenza di propulsione

Analisi dell'ampiezza e della flessione della pinna

Rilevamento della frequenza cardiaca e dell'ossigenazione

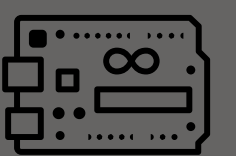
Stima del consumo energetico e delle calorie bruciate

Monitoraggio della distanza, dei tempi e del ritmo



## APP

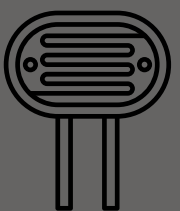
## COMPONENTI PINNA



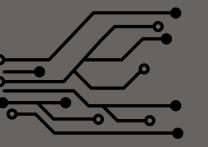
Microchip ATtiny1616  
MICROCONTROLLORE



Flexiforce A301  
SENSORE DI FORZA

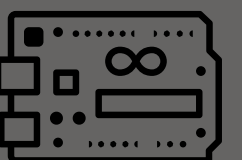


Adafruit Short Flex  
SENSORE DI FLESSIONE

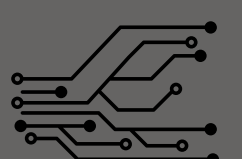


PC BOARD

## COMPONENTI DISPOSITIVO RIMOVIBILE



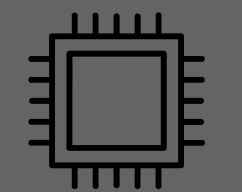
raytac MDBT42Q-U512KV2  
MICROCONTROLLORE



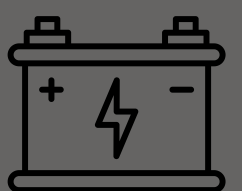
PC BOARD



SENSORE BATTITO CARDIACO



IMU MPU6050  
ACCELEROMETRO + GIROSCOPIO



BATTERIA LIPO

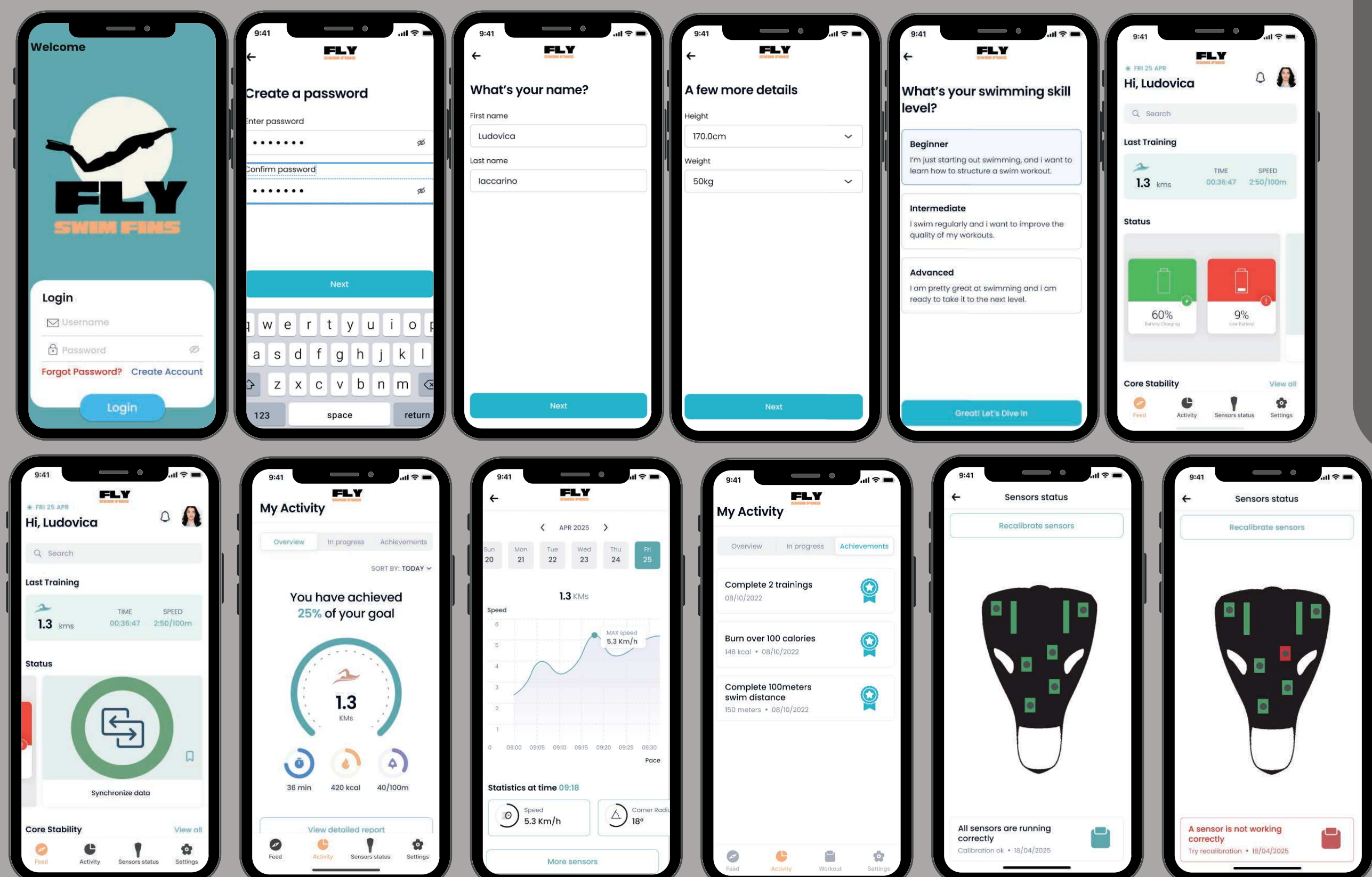
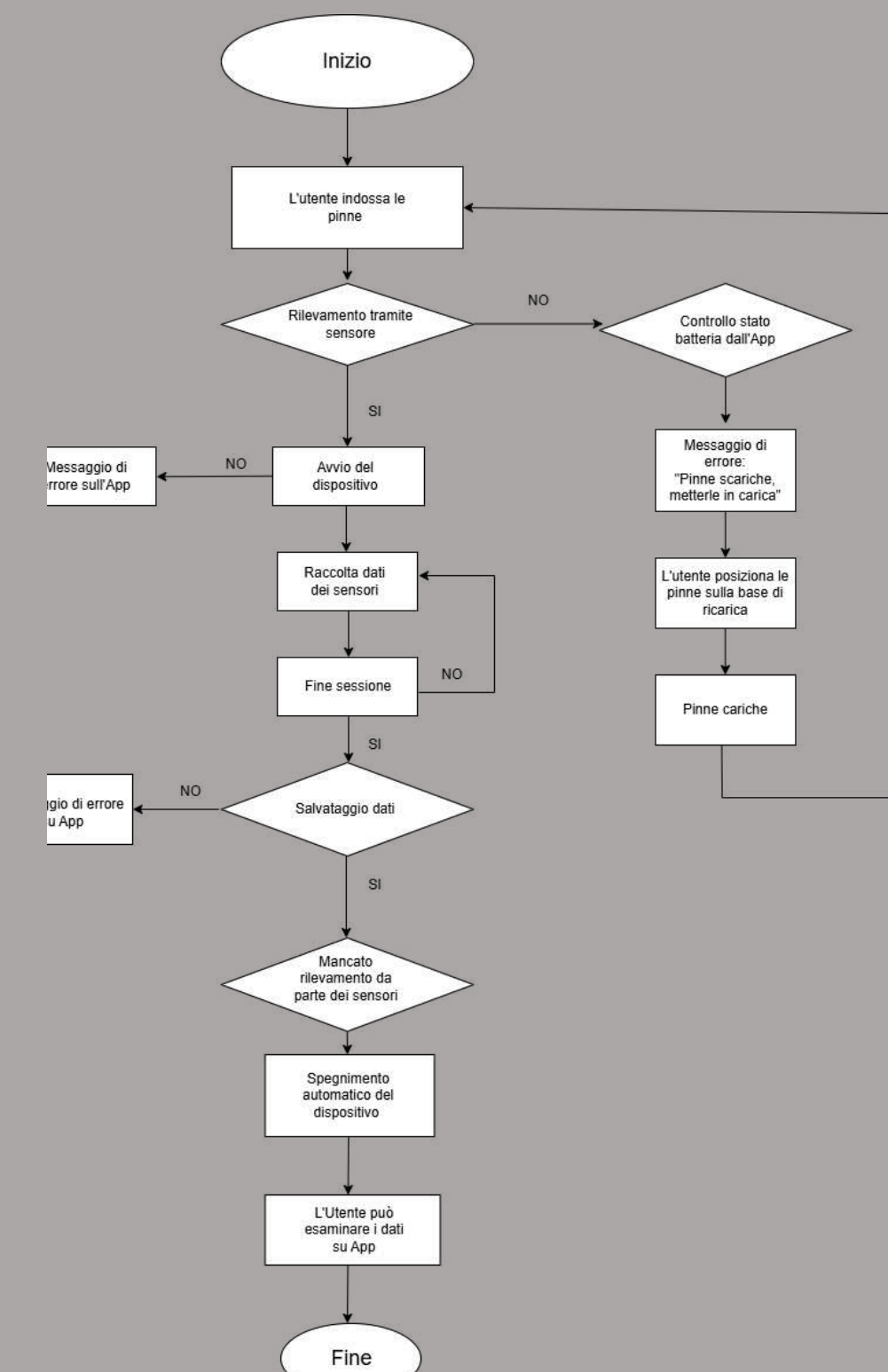


RICARICA WIRELESS QI



POGO PINS

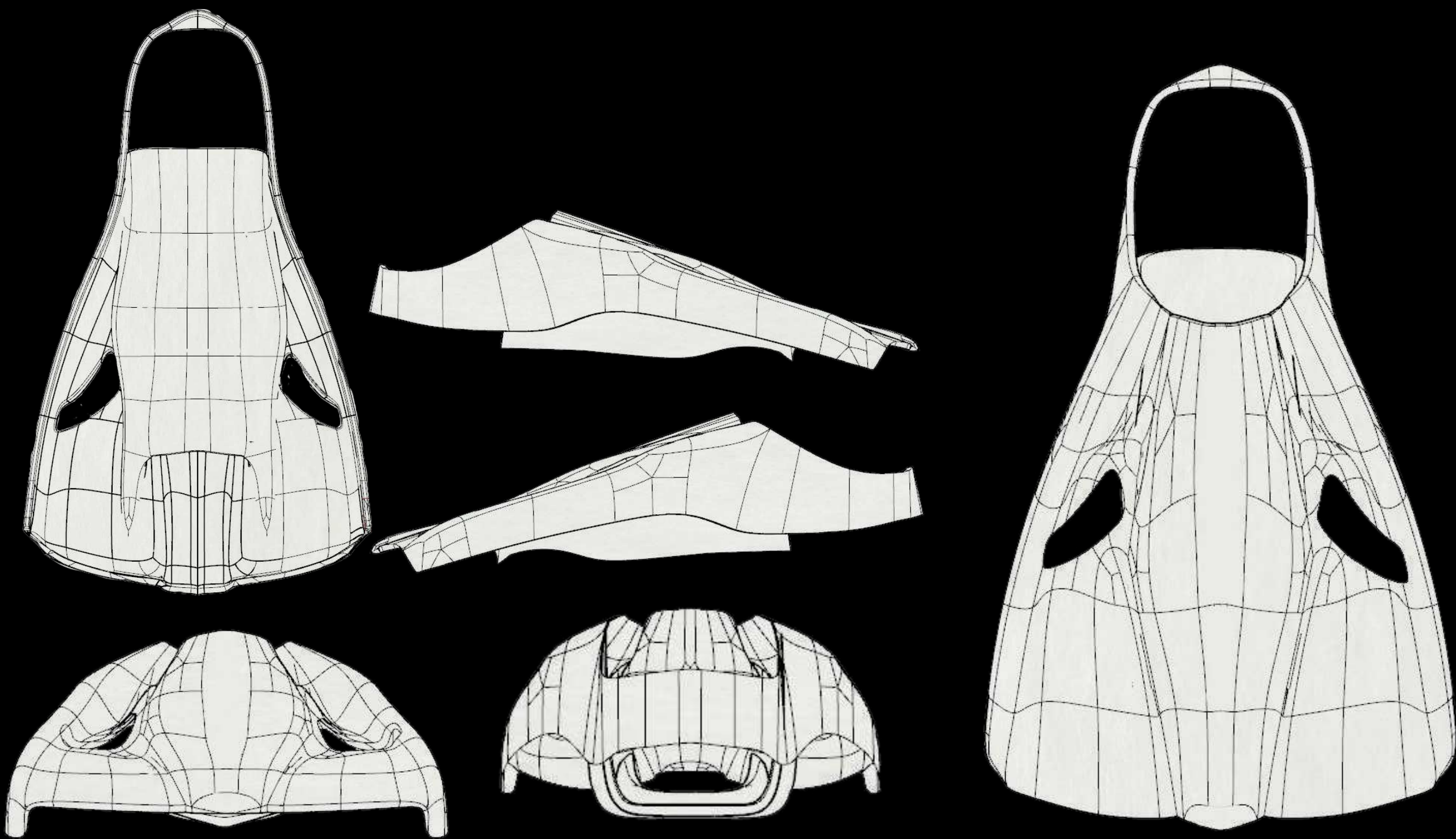
## FLOWCHART



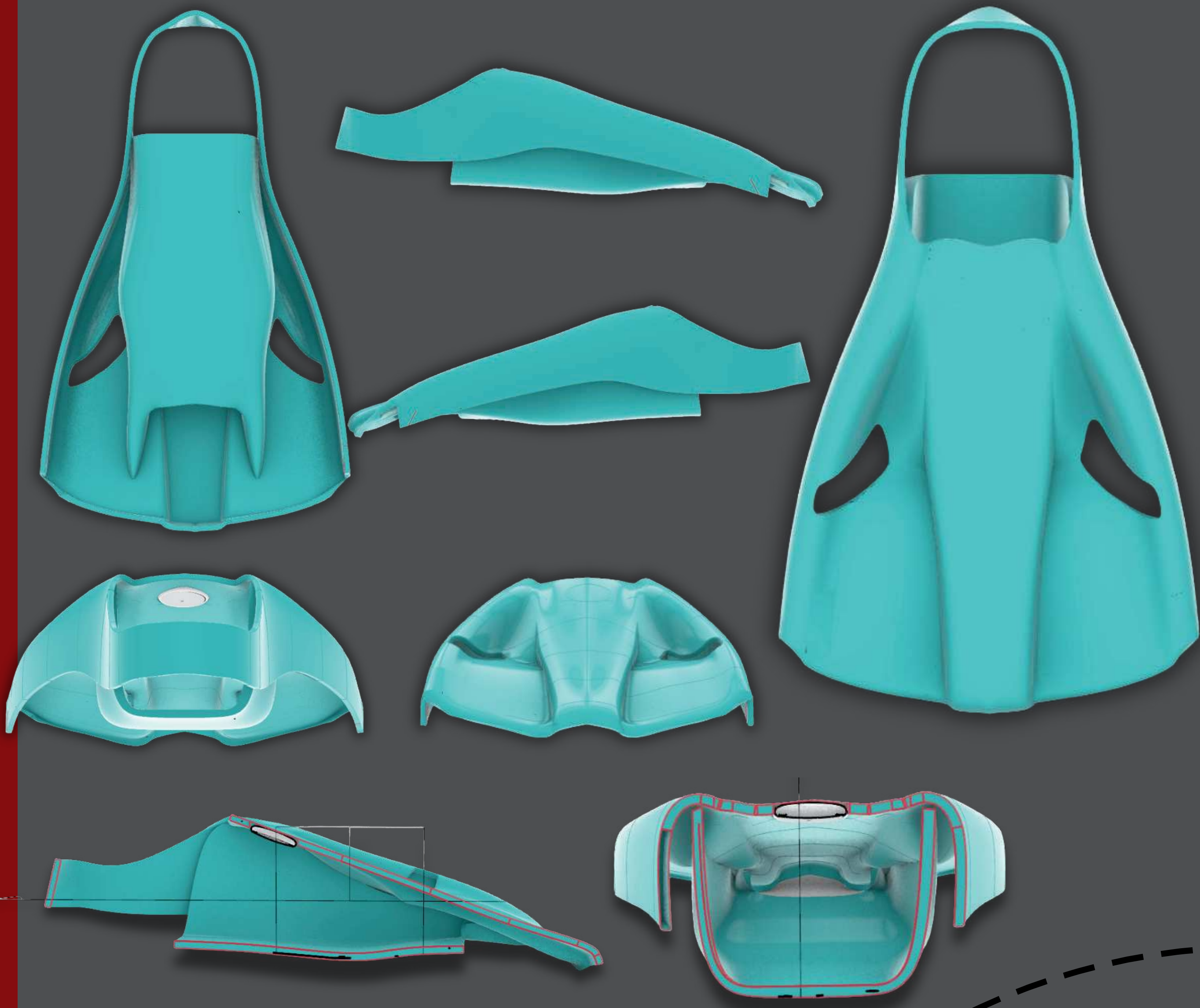


# PANORAMICA DELLA PROGETTAZIONE

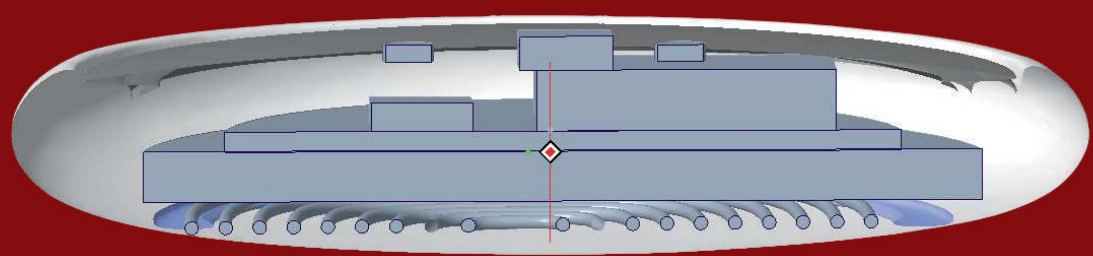
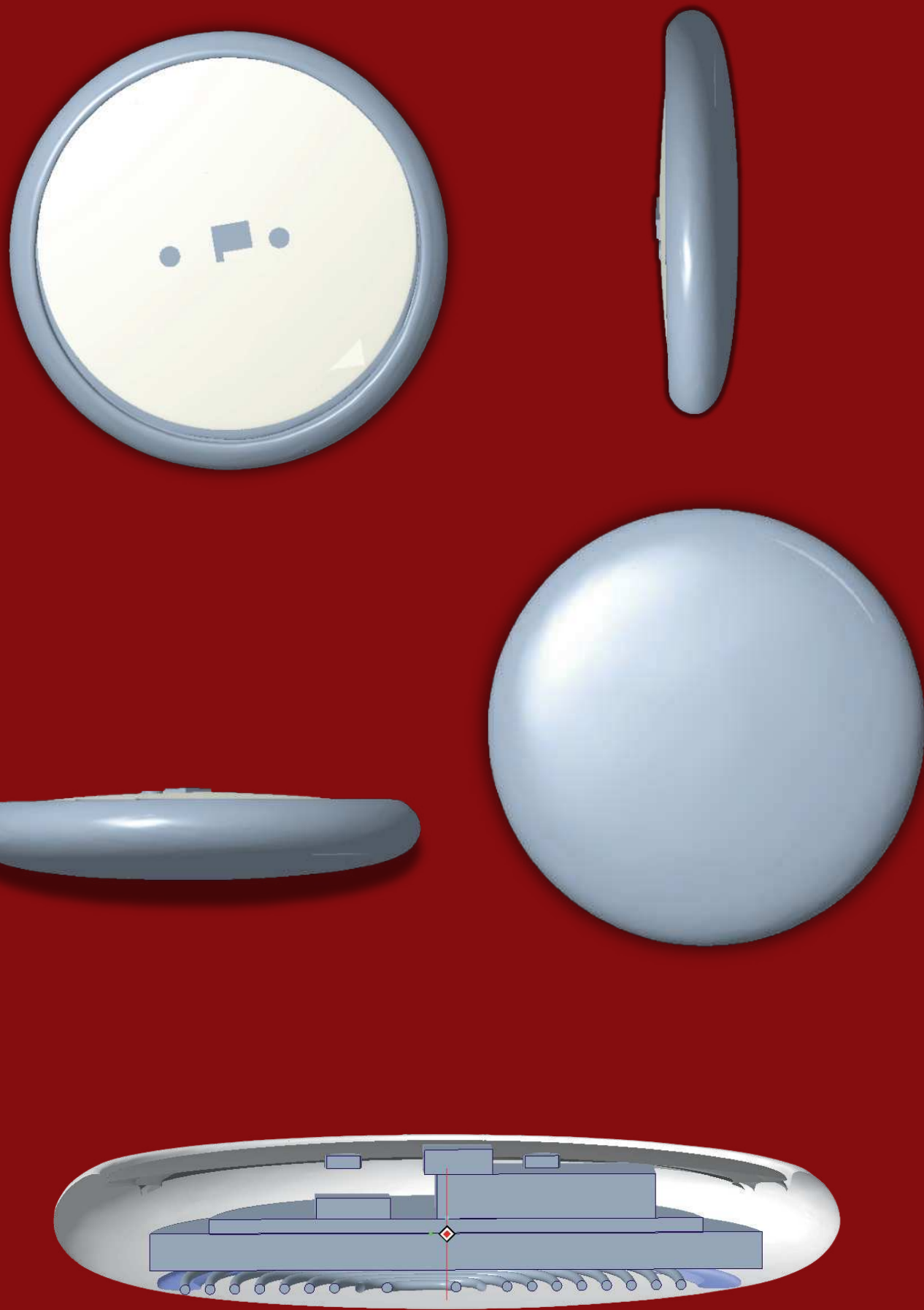
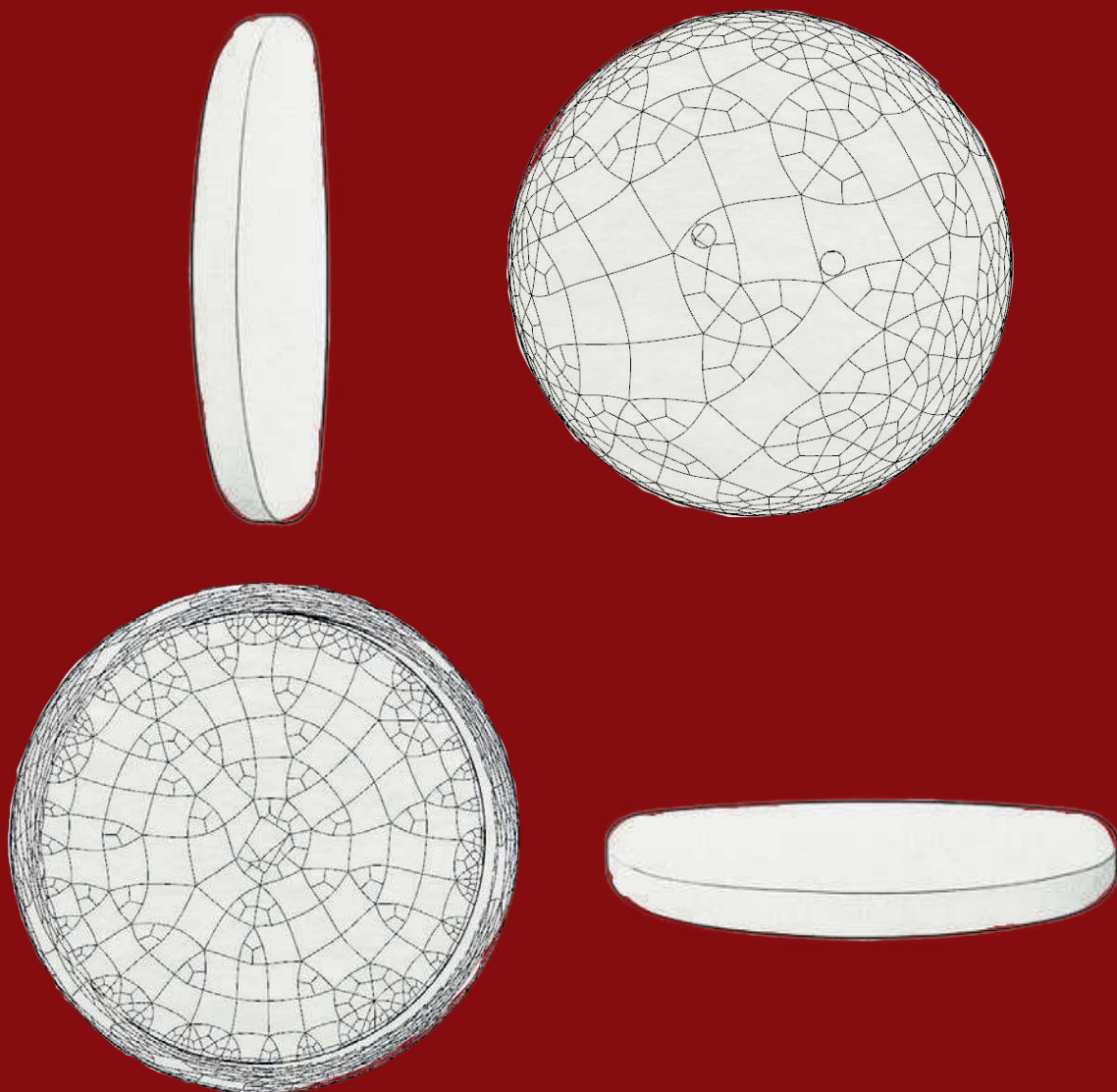
MODELLO 2D



MODELLO 3D



## DISPOSITIVO RIMOVIBILE



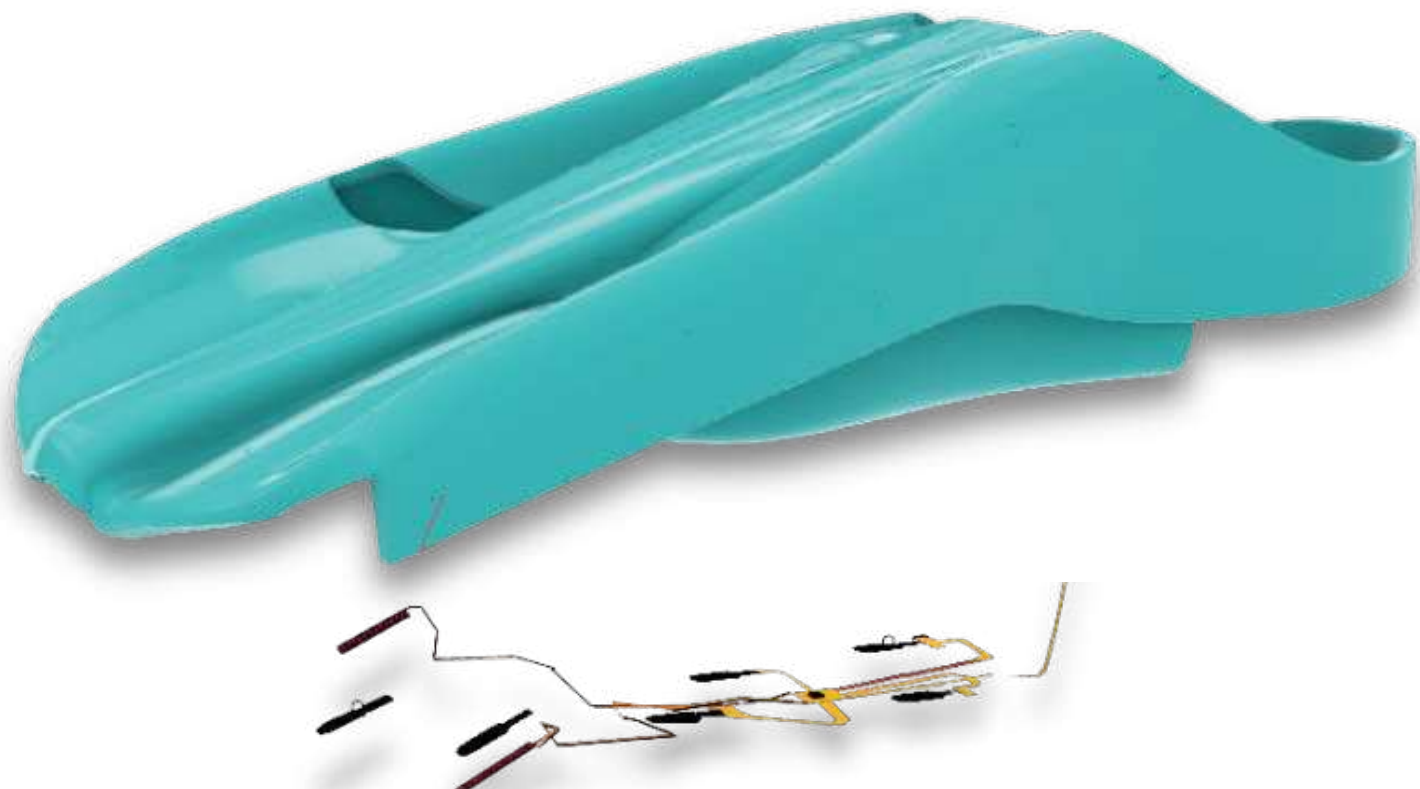
DISPOSITIVO RIMOVIBILE

PINNA SILICONE

PCBOARD

SENSORI DI FORZA

SENSORI DI FLESSIONE



SCOCCHA SUPERIORE

SENSORE BATTITO

GUARNIZIONE

IMU

MICROPROCESSORE

PCBOARD

BATTERIA

QI WIRELESS

MAGNETE

SCOCCHA INFERIORE







Scuola di Ateneo  
**Architettura e Design "Eduardo Vittoria"**  
Università di Camerino

# Dalla biomimesi allo sviluppo di una pinna agonistica intelligente per il nuoto

Tesi di laurea in Design per l'Innovazione Digitale

Relatori: Giuseppe Losco  
Davide Paciotti

Studente: Ludovica Iaccarino  
A.A. 2024/2025











# TABLE OF

---

# CONT

**16**

Biomimesi

**36**

Zampe  
Palmate

**82**

Pinne da  
Nuoto

**176**

Ricerca di  
Anteriorità

**198**

Concepts

**208**

Idea  
progettuale  
definitiva



---

# ENTS

**114**

Pinne da  
Nuoto  
Agonistico

**134**

Pinne  
VS  
Zampe  
Palmate

**144**

Ricerca di  
Mercato

**224**

Analisi  
Funzionale

**242**

App

**248**

Modello  
3D



# INDEX.



|                    |    |
|--------------------|----|
| 00. Abstract ..... | 12 |
|--------------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| 01. Biomimesi ..... | 16 |
|---------------------|----|

- 1.1 Etimologia e definizione
- 1.2 Cenni storici sulla biomimesi
- 1.3 Design ispirato alla natura
- 1.4 Esempi
- 1.5 Caso studio: Leonardo da Vinci
- 1.6 Biomimesi applicata al mondo acquatico

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 02. Zampe palmate ..... | 36 |
|-------------------------|----|

- 2.1 Etimologia e definizione
- 2.2 Struttura
- 2.3 Classificazione morfologica
- 2.4 Proprietà della membrana interdigitale
- 2.5 Sviluppo embriologico e fondamenti genetici
- 2.6 Funzioni biomeccaniche, adattive e comportamentali
- 2.7 Casi studio su fluidodinamica e propulsione
- 2.8 Analisi delle specie a zampe palmate
- 2.9 Analisi comparativa di rana, cormorano e germano reale
- 2.10 Dalla zampa palmata alla pinna da nuoto : principi e caratteristiche ideali

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 03. Pinne da nuoto ..... | 82 |
|--------------------------|----|

- 3.1 Etimologia e definizione
- 3.2 Struttura
- 3.3 Tipologie di pinne
- 3.4 Rappresentazione fotografica
- 3.5 Materiali
- 3.6 Produzione
- 3.7 Tecniche di stampa



## 04. Pinne da nuoto agonistico.....114

- 4.1 Definizione
- 4.2 Cenni storici
- 4.3 Evoluzione pinne da nuoto agonistico
- 4.4 Principali innovazioni nel tempo
- 4.5 Anatomia e funzionamento
- 4.6 Fattori di idrodinamicità
- 4.7 Fattori di propulsione
- 4.8 Materiali
- 4.9 Tecniche di produzione e di stampa

## 05. Pinne VS zampe palmate ..... 134

- 5.1 Analisi comparativa
- 5.2 Aspetti morfologici e strutturali
- 5.3 Aspetti funzionali e biomeccanici
- 5.4 Analisi delle prestazioni in acqua
- 5.5 Rappresentazione fotografica di modelli 3D a confronto

## 06. Ricerca di mercato ..... 144

- 6.1 Introduzione
- 6.2 Pinne da nuoto agonistico
- 6.3 Dispositivi wearable nel nuoto
- 6.4 Solette intelligenti

## 07. Ricerca di anteriorità ..... 176

- 7.1 Introduzione
- 7.2 Pinne da nuoto agonistico
- 7.3 Dispositivi wearable nel nuoto
- 7.4 Solette intelligenti



## 08. Concept .....198

- 8.1 Introduzione
- 8.2 Definizione e descrizione dei concepts
- 8.3 Sviluppo di concepts preliminari: Pinne
- 8.4 Sviluppo di concepts preliminari: Ricarica

## 09. Idea progettuale definitiva..... 208

- 9.1 Introduzione
- 9.2 Descrizione e definizione della pinna
- 9.3 Rappresentazione fotografica del modello 3D
- 9.4 Descrizione e definizione del dispositivo removibile
- 9.5 Rappresentazione fotografica del modello 3D

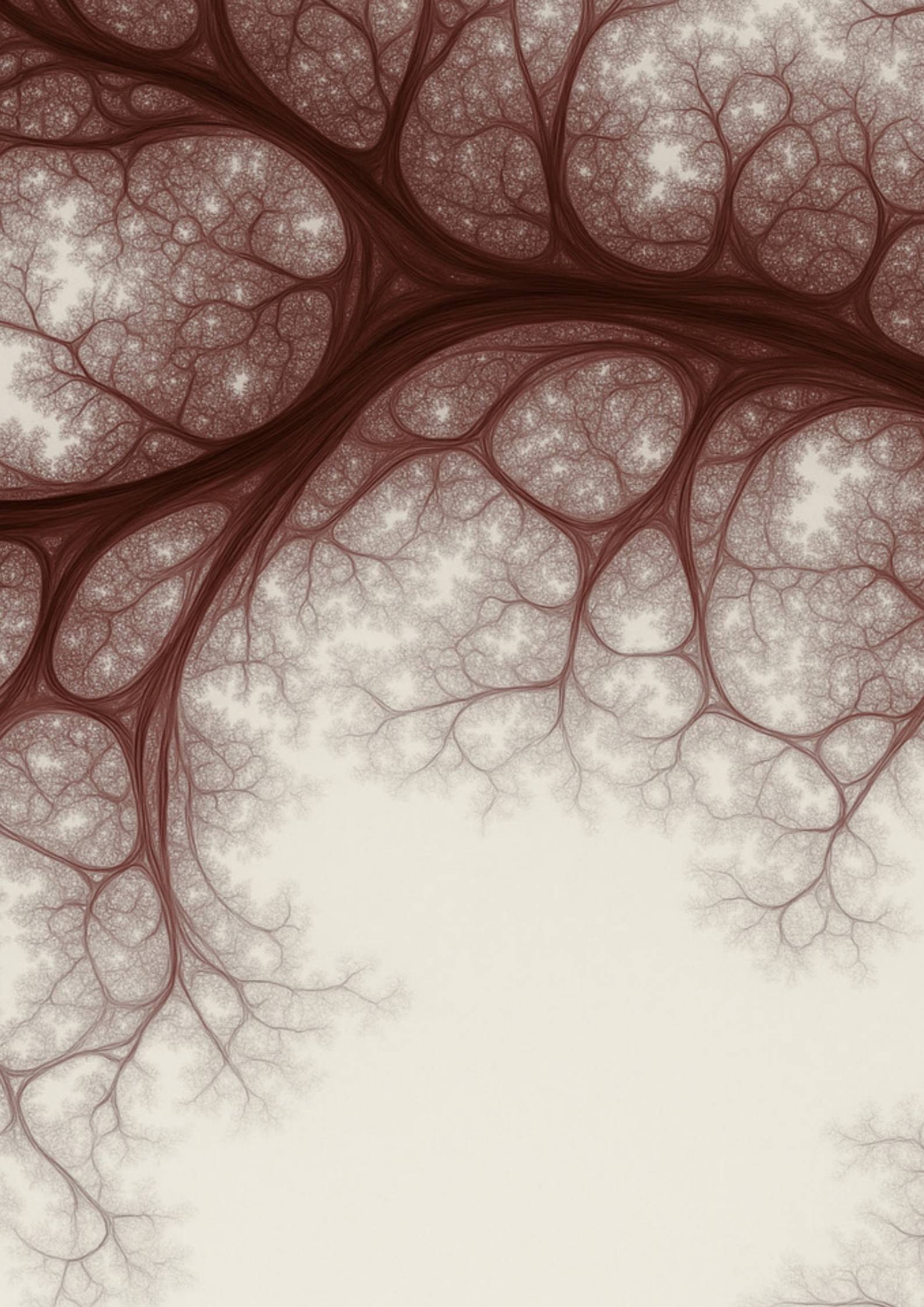
## 10. Analisi funzionale ..... 224

- 10.1 Rilevamento attività del nuotatore
- 10.2 Analisi dettagliata delle attività di monitoraggio
- 10.3 Architettura di sistema
- 10.4 Schema di interazione
- 10.5 Flowchart

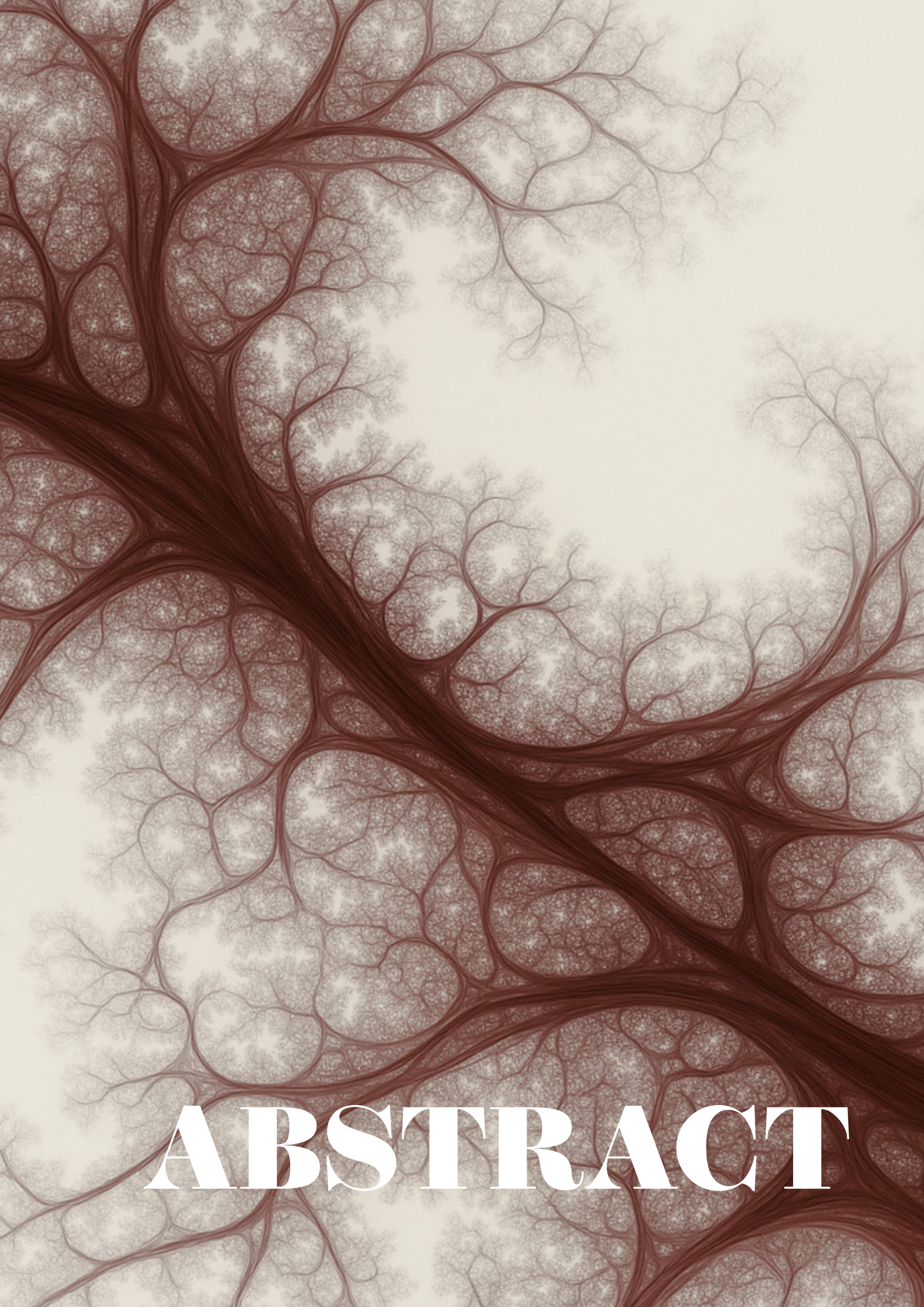
## 11. App ..... 242

- 11.1 Interfaccia app

## 12. Modello 3D ..... 248







# ABSTRACT





## oo. Abstact

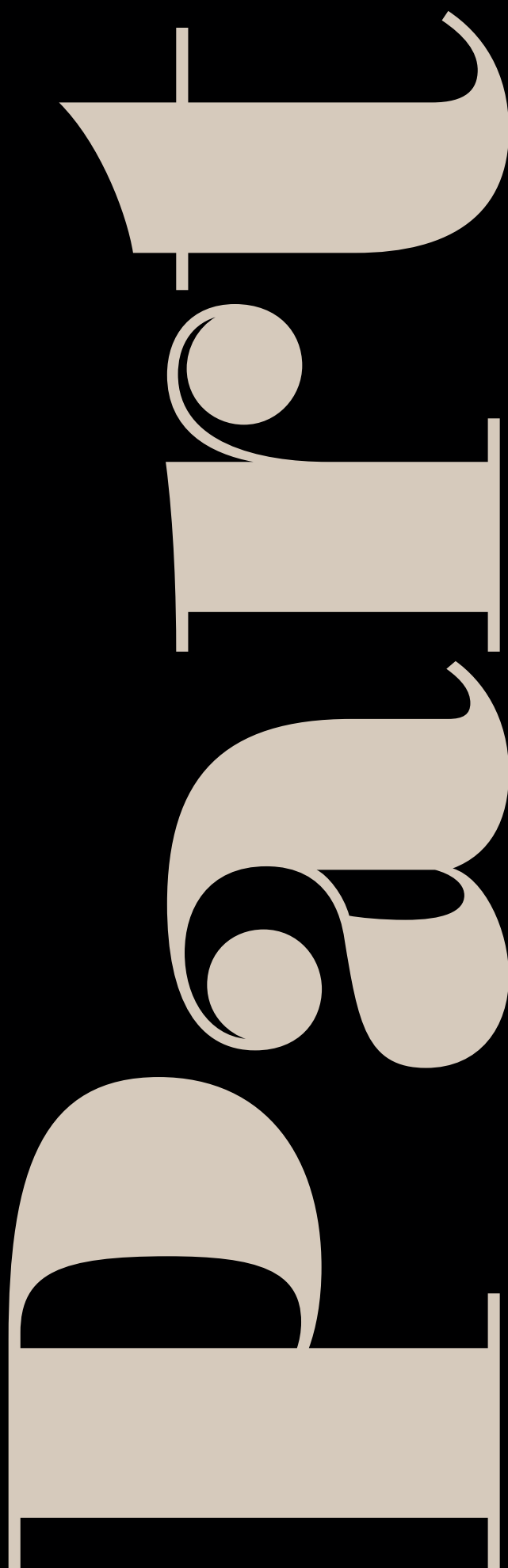
---

**L**a tesi analizza l'applicazione dei principi della biomimesi come punto di partenza per lo sviluppo di un dispositivo innovativo destinato al nuoto agonistico. L'elaborato si apre con lo studio dell'evoluzione storica e dei fondamenti teorici della biomimesi, per poi approfondire le strategie funzionali osservate in natura e la loro traduzione nel contesto acquatico. In particolare, vengono esaminati il comportamento propulsivo e le caratteristiche morfologiche delle zampe palmate, mettendo in evidenza come tali sistemi biologici ottimizzano il rapporto tra superficie, flessibilità ed efficienza della spinta. Tale studio introduce una riflessione più ampia sulla locomozione acquatica e costituisce la base teorica per il successivo confronto con le pinne da nuoto tradizionali, analizzate dal punto di vista formale, biomeccanico e prestazionale. Successivamente, la tesi approfondisce lo studio delle pinne da nuoto e lo stato dell'arte attraverso una ricerca di mercato sulle soluzioni esistenti e un'analisi di anteriorità che include brevetti storici e contemporanei. Queste indagini permettono di individuare limiti progettuali, opportunità di innovazione e requisiti funzionali per una nuova generazione di pinne intelligenti. Il percorso metodologico conduce alla definizione di un concept finale ispirato alla pinna **Finis Edge**, reinterpretata in chiave evoluta e tecnologica. Il progetto proposto introduce un sistema composto da una pinna monoblocco in silicone e da un dispositivo removibile dedicati al monitoraggio delle prestazioni. I sensori integrati rilevano parametri fondamentali della tecnica di nuoto, mentre i dati raccolti vengono trasmessi a un'app dedicata, progettata per visualizzare in tempo reale le metriche dell'allenamento e archiviare lo storico delle sessioni, offren-



do uno strumento avanzato di analisi tecnica per atleti e allenatori. La tesi si conclude con la modellazione tridimensionale dell'intero sistema, che comprende sia la pinna sia il dispositivo removibile. Il modello 3D integra le scelte formali, i vincoli meccanici e l'alloggiamento dei componenti elettronici, rappresentando la sintesi del lavoro progettuale e la traduzione concreta del concept in una soluzione funzionale, biomimetica e tecnologicamente avanzata.

RICERCA





1

GENERALE

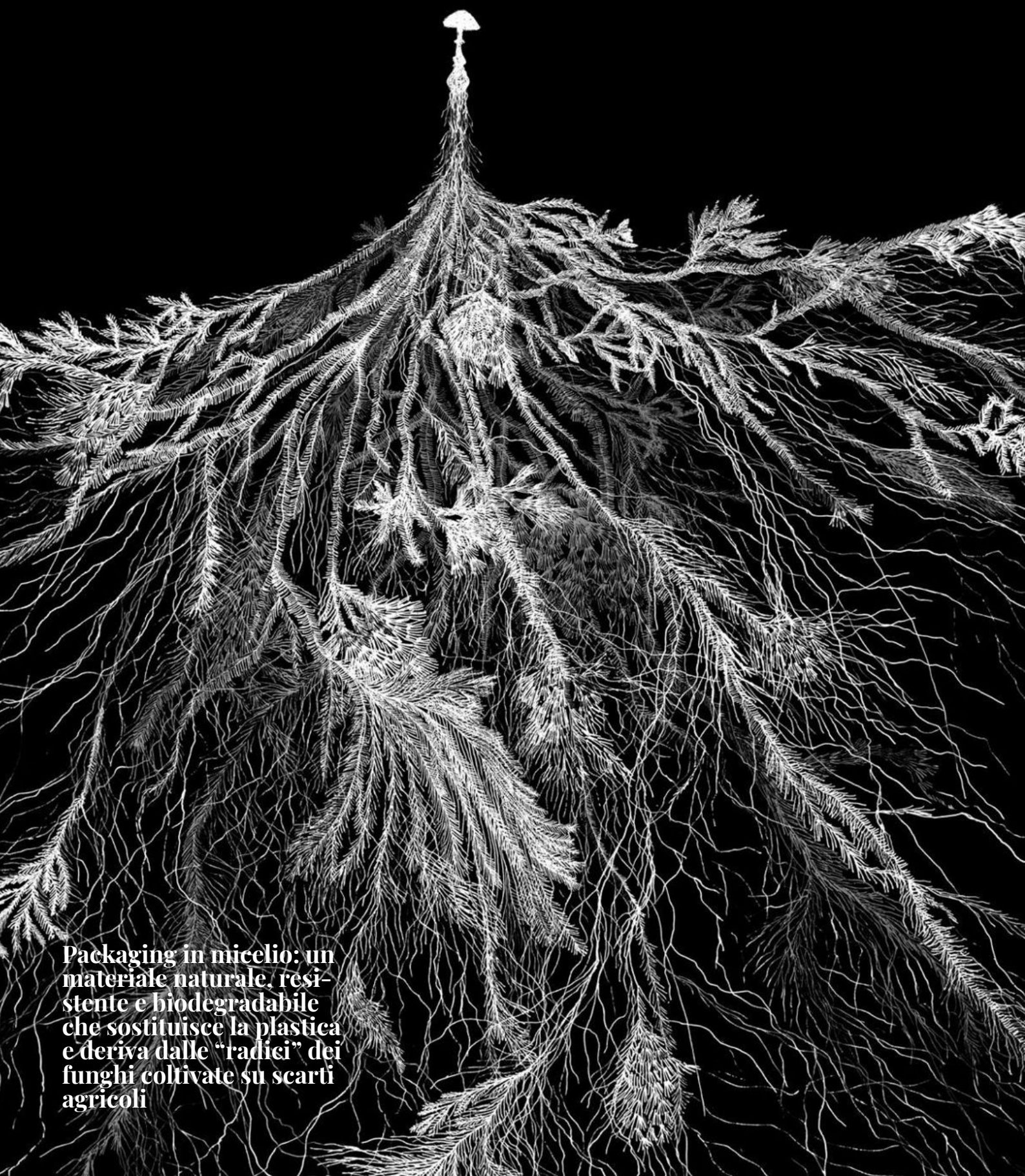
01





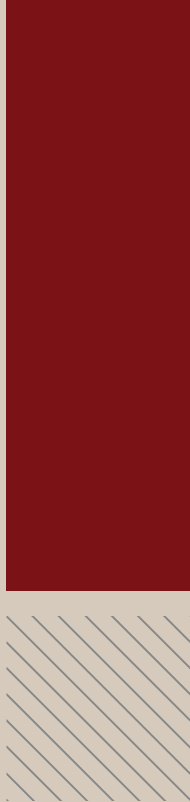
C A P I T O L O U N O

# BIOMIMETESI



**Packaging in micelio: un  
materiale naturale, resi-  
stente e biodegradabile  
che sostituisce la plastica  
e deriva dalle "radici" dei  
funghi coltivate su scarti  
agricoli**





## 1.1 Etimologia e definizione

---

L'etimologia della parola è praticamente ovvia: da una parte il prefisso βίος (bíos) = "vita" e μίμησις (mímēsis) = "imitazione". Dunque, biomimesi significa letteralmente "**imitazione della vita**". Il termine indica l'approccio progettuale e scientifico che trae ispirazione dalla natura, studiando forme, strutture, funzioni e processi biologici per sviluppare soluzioni innovative in ambiti come il design, l'ingegneria, la robotica e l'architettura. La biomimetica permette di ottenere un elevato livello di efficienza, sostenibilità e integrazione con l'ambiente, perché le tecnologie bio-ispirate nascono dall'ecosistema stesso. In tutti gli organismi, dai più elementari a quelli più complessi, è possibile osservare una sorta di grande catalogo di materiali, architetture, sistemi e funzioni di rilevante interesse scientifico e tecnologico. In inglese, il termine corrispondente è *biomimicry* o *biomimetics*, fu coniata e resa popolare dalla scienziata e scrittrice americana **Janine Benyus** nel suo libro seminale del 1997, "**Biomimicry: Innovation Inspired by Nature**", con una diffusione maggiore a partire dagli anni '90, soprattutto grazie ai suoi studi, contribuendo alla popolarità e alla definizione moderna del concetto.

## 1.2 Cenni storici sulla biomimesi

---

**D**ai tempi antichi, ci si è ispirati al mondo naturale per risolvere questioni di varia complessità, sia semplici che articolate. Attraverso milioni di anni di evoluzione e selezione naturale, si sono sviluppate soluzioni altamente efficienti a molti problemi di bioingegneria, come l'idrofobicità, la resistenza aerodinamica, l'accumulo e la distribuzione dell'energia, la biosintesi in condizioni ambientali estreme, l'autoassemblaggio e l'assorbimento dei raggi solari. Tali strategie rappresentano il risultato di un lungo processo di adattamento e di ottimizzazione funzionale operato dall'evoluzione. Tra i primi esempi storici di biomimetica si possono individuare gli studi sugli uccelli nel tentativo di ottenere il volo umano. **Leonardo da Vinci**, pur non essendo mai riuscito a realizzare una macchina volante, si dedicò con attenzione all'osservazione dell'anatomia aviaria e ai principi del volo, lasciando numerosi appunti e schizzi relativi alla progettazione di quelle che al tempo si definivano "macchine volanti". Successivamente, nel 1903, i **fratelli Wright** riuscirono a compiere il primo volo controllato di un aeroplano a motore più pesante dell'aria, e anche in questo caso ci si ispirò allo studio del volo dei piccioni.

Invece, grazie alle ricerche del biofisico statunitense Otto Herbert **Schmitt** durante il suo dottorato, studiò i nervi dei calamari con l'obiettivo di riprodurre i meccanismi biologici di trasmissione degli impulsi nervosi attraverso la progettazione di un dispositivo elettronico, in seguito noto come Schmitt trigger. Questi studi favorirono l'emergere dell'idea di sviluppare sistemi tecnologici capaci di emulare processi e comportamenti osservati in natura. Nel 1957 la biomimetica venne poi definita come disciplina autonoma, basata sul trasferimento funzionale delle soluzioni biologiche ai contesti tecnologici e ingegneristici.

## 1.3 Design ispirato alla natura

---

**L**a natura, nel suo ruolo di repertorio estetico, si configura come una fonte inesauribile di forme, colori, pattern e texture. Questo approccio, più propriamente definito bio-ispirazione, ha dato origine a interi movimenti artistici e progettuali, come l'Art Nouveau, in cui si ripresero le linee sinuose di fiori e piante, le forme di insetti e animali e le loro stilizzazioni, facendone elementi decorativi e strutturali dominanti nelle opere di Gaudí o negli arredi di Horta. In tale prospettiva, l'obiettivo si lega spesso al concetto di biofilia, ossia all'innata predisposizione umana a ricercare un legame con la natura e con gli altri esseri viventi. Un prodotto bio-ispirato mira dunque a suscitare questa connessione, favorendo benessere e soddisfacendo un bisogno



estetico, senza che si debbano necessariamente riprodurre funzioni biologiche. Qui la semplice osservazione lascia spazio alla biomimesi, ovvero allo studio del "come funziona?". In questo ambito, i fenomeni naturali non si considerano soltanto come modelli formali, ma come sistemi ottimizzati, capaci di fornire soluzioni intelligenti e sostenibili a problemi complessi di progettazione.

Nel design, adottare un approccio biomimetico significa andare oltre l'imitazione della forma: vuol dire analizzare e reinterpretare le strategie funzionali sviluppate dagli organismi viventi per adattarsi al loro ambiente. Da queste strategie si derivano oggetti, materiali e sistemi più efficienti, leggeri, durevoli e performanti, progettati in funzione delle necessità umane.

Per strutturare questo campo d'azione, si può analizzare l'ispirazione naturale nel design secondo tre livelli di profondità crescente:

### **1. Livello della forma (emulazione dell'aspetto):**

è il livello più superficiale, in cui si imitano le forme naturali per ragioni prevalentemente estetiche o metaforiche. Un esempio iconico nel design è la poltrona "*La Chaise di Charles e Ray Eames*", la cui forma fluida si ispira alla scultura *Floating figure* di Gaston Lachaise, a sua volta evocativa di una forma organica. Sebbene l'ergonomia possa essere eccellente, il legame primario con la natura si configura come formale.

### **2. Livello del processo (emulazione della funzione e del materiale):**

questo rappresenta il cuore della biomimesi applicata al product design; qui si analizzano processi biologici o proprietà di materiali naturali per replicarne la funzione. Un esempio classico è lo sviluppo di vernici e superfici autopulenti basate sull'"effetto loto". Osservando come le gocce d'acqua scivolano via dalle foglie di loto portando con sé lo sporco, si è studiata la micro-struttura papillare e idrofobica della superficie, replicandola su scala industriale. Il prodotto finale non si presenta come una foglia di loto, ma ne emula la straordinaria funzione. Allo stesso modo, dallo studio della struttura interna delle ossa, che massimizza la resistenza minimizzando il peso e il materiale, si sono sviluppati algoritmi di progettazione generativa per creare componenti meccanici più leggeri e robusti.

### **3. Livello dell'ecosistema (emulazione del sistema):**

è il livello più complesso e completo. L'ispirazione non proviene più da un singolo organismo, ma dalle relazioni e dai cicli che governano un intero ecosistema. I principi guida si individuano nella resilienza, nell'adattabilità, nell'assenza di rifiuti (dove lo scarto di un organismo è risorsa per un altro) e nella collaborazione. Nel design, ciò si traduce in modelli di business e di produzione come l'economia circolare e la Simbiosi Industriale. Un esempio è il distretto industriale di Kalundborg, in Danimarca, dove diverse aziende si collegano in rete in modo che i sottoprodotti, il vapore e l'energia di scarto di un'industria diventino le materie prime per un'altra, imitando il ciclo chiuso

dei nutrienti in una foresta.

Con la selezione naturale, si sono favorite le soluzioni più efficaci in termini di adattamento, resistenza, economia energetica e funzionalità. Questo processo continuo di ottimizzazione rende le strutture biologiche esempi ideali da cui si può attingere per il design tecnico e industriale.

La biomimesi, dunque, non si limita a essere un metodo creativo, ma si configura come una vera e propria strategia progettuale che promuove un design più responsabile e orientato al futuro.

## Approcci metodologici alla progettazione biomimetica

L'applicazione della biomimesi nel processo di design si articola secondo due modelli operativi principali, che si distinguono per il punto di partenza dell'indagine e per la natura dei risultati che tendono a produrre.

Il primo modello, noto come *"dal problema alla biologia"* (**Challenge to Biology**), è un processo top-down che si avvia da un problema progettuale chiaramente definito.

In questo percorso, ci si possono fare delle domande, ad esempio: "come si può aderire a una superficie liscia?", "come si può ridurre l'attrito in un fluido?", "come si può ottenere un colore strutturale senza pigmenti?". Successivamente, i sistemi biologici si interrogano per identificare modelli (organismi, processi o ecosistemi) che assolvano a tali funzioni in modo esemplare. L'esito di questo approccio si traduce tipicamente in una soluzione altamente ottimizzata per un'applicazione specifica, che porta a un'innovazione di tipo incrementale o al miglioramento prestazionale di tecnologie e prodotti già esistenti.

Il secondo modello, definito *"dalla biologia al design"* (**Biology to Design**), segue un percorso inverso di tipo bottom-up. L'indagine, in questo caso, si avvia non da un problema, ma dalla scoperta e dall'analisi di una strategia biologica particolarmente efficace o intrigante. Il principio funzionale di un fenomeno naturale (es. la superidrofobicità della foglia di loto, le proprietà adesive del piede del gecko, la capacità della seta di ragno di catturare acqua dall'aria) si studia a fondo per comprenderne i meccanismi.

Solo in un secondo momento, attraverso un processo di astrazione e brainstorming creativo, ci si interroga su quali sfide o bisogni umani tale soluzione possa essere applicata.



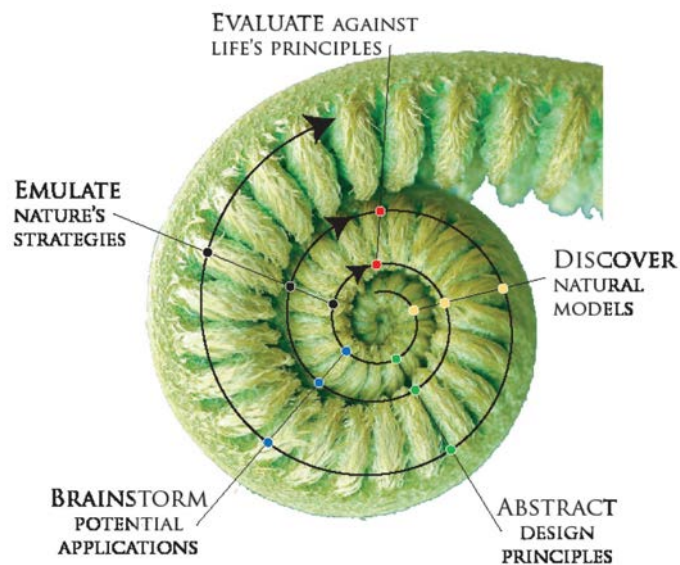
Santiago Calatrava

I APPROACHED  
THIS PROJECT  
WITH NATURE  
AS THE TEACHER.  
I AM ALWAYS  
TRYING TO LEARN  
FROM NATURE

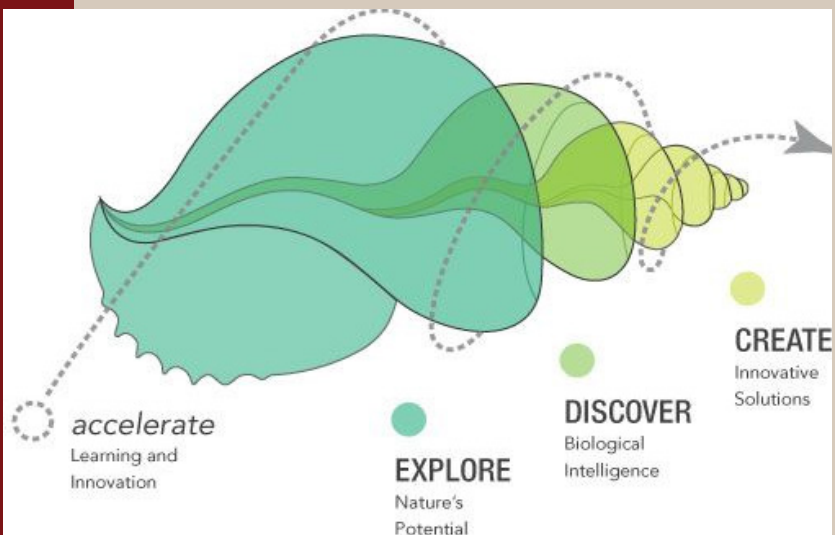


Santiago Calatrava - trae ispirazione dalle forme spiraliformi che il fumo disegna nell'aria

## Biology to Design



Rappresentazione del processo biomimetico, che traduce le strategie della natura in principi di design



Percorso della biomimesi: esplorare, scoprire e creare innovazione ispirata alla natura

## Approcci metodologici alla progettazione biomimetica

Il design biomimetico si articola comunemente su tre livelli di ispirazione:

### **1. Biomimesi formale (shape-mimicking)**

Consiste nell'emulazione delle forme visibili e delle strutture morfologiche presenti negli organismi naturali. Questo approccio si applica a progetti in cui la geometria biologica garantisce vantaggi di tipo aerodinamico, idrodinamico o strutturale.

*Esempi: la pelle degli squali, caratterizzata da microscanalature, è stata imitata per ridurre l'attrito dell'acqua nei costumi da nuoto e nei rivestimenti navali; la forma a goccia delle pinne di pesci e cetacei ha ispirato il design di ali, eliche e veicoli sottomarini.*

### **2. Biomimesi funzionale (process-mimicking)**

Si fonda sull'imitazione dei meccanismi e dei comportamenti funzionali tipici degli organismi viventi, come il movimento, la risposta a stimoli ambientali o la capacità di adattamento strutturale.

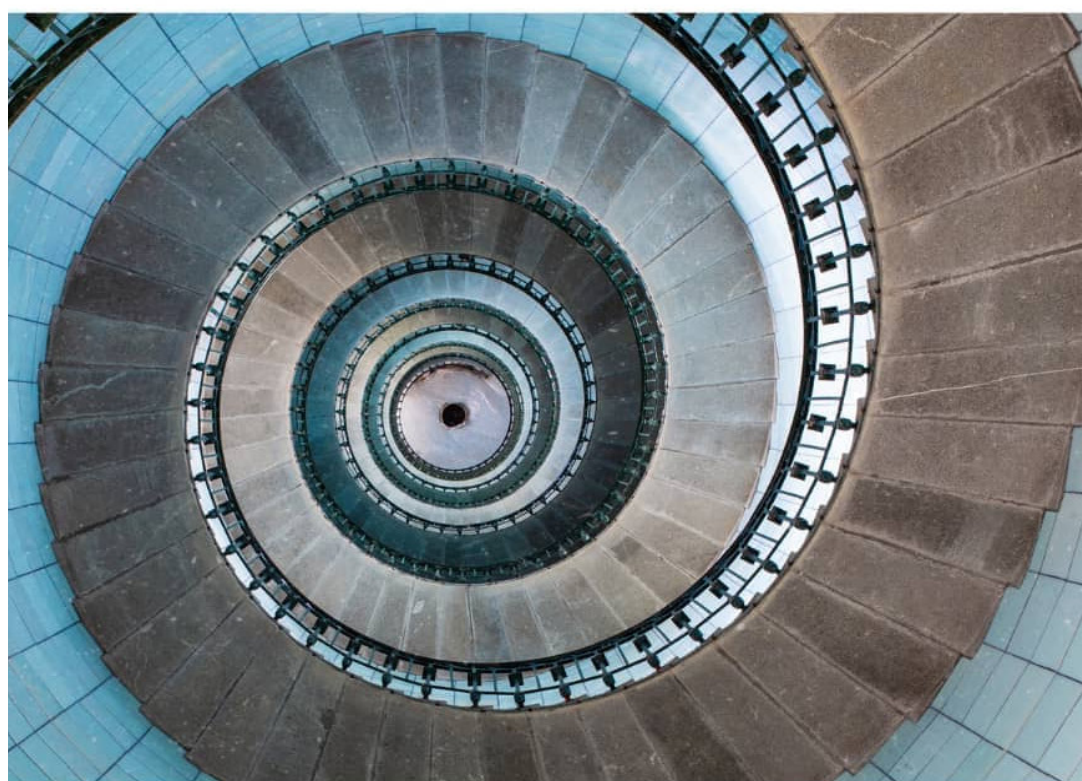
*Esempi: i movimenti della mimosa pudica hanno suggerito soluzioni nel campo della soft robotics; le microstrutture delle foglie di loto, dotate di proprietà idrofobiche, sono state replicate per lo sviluppo di superfici autopulenti.*

### **3. Biomimesi sistemica (ecosystem-mimicking)**

Riguarda l'emulazione dei sistemi complessi naturali, come ecosistemi e cicli biogeochimici, con l'obiettivo di progettare processi produttivi sostenibili, circolari e rigenerativi. Tale prospettiva costituisce la base teorica di approcci come l'economia circolare, la simbiosi industriale e la bioarchitettura.

*Esempi: edifici che autoregolano la temperatura interna ispirati alla struttura dei termitai africani; sistemi industriali che trasformano gli scarti in risorse, riproducendo i cicli chiusi propri degli ecosistemi naturali.*





# Materiali che imitano la natura



### Il velcro e la bardana

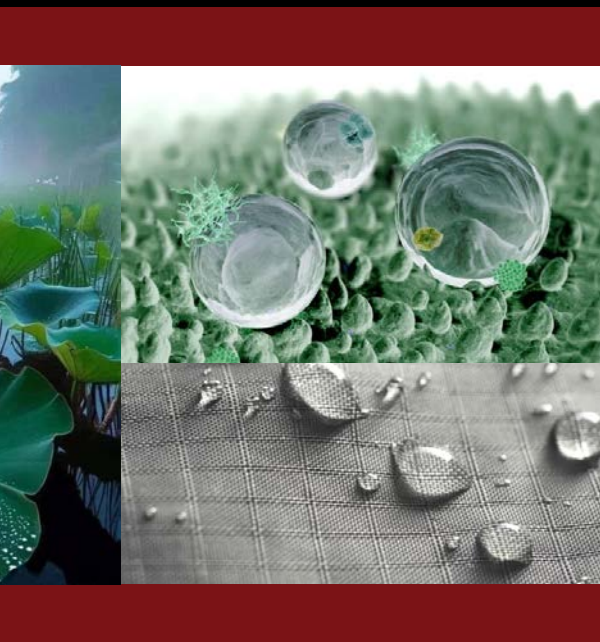
Il velcro è stato inventato dall'ingegnere svizzero Georges de Mestral, che si ispirò alla bardana (*Arctium lappa*), una pianta comune i cui capolini presentano piccoli uncini che si attaccano tenacemente a vestiti e peli di animali. Analizzando al microscopio le strutture dei capolini, notò la presenza di uncini flessibili in grado di agganciarsi a superfici fibrose. Da questo principio nacque un sistema di chiusura costituito da due superfici: una con piccoli ganci, l'altra con anelli. Il velcro è oggi largamente utilizzato in ambito tessile, aerospaziale e medicale.



### Superfici a

Nel campo dei materiali, è nato la progettazione di loto (*Nelumbo*) superficiale idrofobica, sporco di aderire, nella realizzazione di strelle e materiali a linea di vernici per ambienti urbani.





## Autopulenti e fiore di loto

In ambito sportivo e medico, la cosiddetta "effetto loto" ha rivoluzionato la realizzazione di superfici autopulenti. Le foglie del fiore di loto (Nymphaea lotus) sono dotate di una microstruttura idrofobica che impedisce all'acqua e alle particelle di aderire. Questo fenomeno è stato studiato e replicato su una vasta gamma di rivestimenti per vetri, tessuti tecnici, piastrelle e superfici edili. Il caso esemplare è rappresentato dalla Lotusan®, capace di mantenersi pulita anche in ambienti altamente inquinati.



## Materiali e tessuti ispirati alla pelle di squalo

In ambito sportivo e medico, la biomimesi ha portato allo sviluppo di tessuti avanzati ispirati alla pelle dello squalo (derma ricoperto di denticoli dermici). Questi microstrati riducono la resistenza idrodinamica e impediscono l'adesione di microrganismi. Il principio è stato applicato sia alle tute da nuoto ad alte prestazioni (come le Speedo LZR Racer, oggi regolamentate) sia ai rivestimenti antibatterici per superfici ospedaliere o navali, come il film Sharklet®, che riduce la proliferazione batterica senza uso di agenti chimici.

## 1.5 Caso studio: Leonardo da Vinci

---

**Q**uando si parla di biomimesi come approccio progettuale innovativo, si è spesso portati a considerarla un concetto moderno, strettamente legato ai progressi recenti delle scienze dei materiali, della robotica e del design. Tuttavia, la spinta a trarre ispirazione dai principi e dalle soluzioni osservate in natura si radica ben più indietro nel tempo. Tra i pionieri di questa visione si ricorda **Leonardo da Vinci** (1452-1519), considerato uno dei più grandi esempi di pensatore rinascimentale, capace di unire arte, scienza, ingegneria e osservazione empirica e integrata del mondo naturale.

La sua produzione, ricchissima di appunti, schizzi e trattati, si presenta come testimonianza di una profonda fascinazione per i meccanismi della natura, intesa non solo come oggetto estetico ma come fonte inesauribile di conoscenza e ispirazione progettuale.

Leonardo si può considerare a tutti gli effetti un precursore della biomimesi moderna: molti dei suoi principi fondamentali si ritrovano già nei manoscritti che seppe cogliere i meccanismi di funzionamento osservati nel mondo naturale.

La natura, infatti, si osservava con spirito scientifico, cercando di comprenderne il funzionamento interno delle strutture biologiche per riprodurle artificialmente, si configurava come il più grande laboratorio di ricerca e sviluppo, una fonte inesauribile di soluzioni ingegnose a problemi complessi. In numerosi passaggi dei suoi scritti e codici si sottolinea l'idea che fosse necessario comprenderne a fondo i meccanismi interni e i principi fisici, per poi trasferirli in dispositivi artificiali.

Nel **Codice Atlantico** e nel **Codice sul volo degli uccelli**, Leonardo afferma:

**“Studia prima la scienza e poi seguita la pratica nata da essa.”**

e ancora:

**“Prendi esempio dalla natura.”**

Questa visione si traduceva in un metodo rigoroso basato sull'osservazione sistematica dei fenomeni naturali, sull'analisi funzionale delle strutture biologiche e sulla loro reinterpretazione per finalità umane.



## Studi sul volo e biomimesi

Il campo in cui Leonardo si applicò con maggiore sistematicità a un approccio biomimetico fu sicuramente quello del volo umano. Affascinati dagli uccelli e dai pipistrelli, per anni si dedicarono studi accurati sulle ali, sulle penne, sulle articolazioni e sulla muscolatura di questi animali.

Il *"Codice sul volo degli uccelli"* si considera una delle prime opere scientifiche interamente dedicate all'analisi della biomeccanica naturale con intento progettuale, si analizza il battito alare e il volo planato, si descrive la struttura delle piume come elementi che uniscono leggerezza e resistenza, si studia la forma e il movimento delle ali per comprendere in che modo si generino sollevamento e spinta, e si osserva la funzione della coda come organo deputato alla stabilizzazione e al controllo della direzione.

Sulla base di queste osservazioni, si progettaronο diversi dispositivi ispirati al volo degli animali, tra cui macchine volanti con ali battenti, note come ornitotteri, ali plananti rigide e persino paracaduti.

I documenti si trasformarono in principi di design biologico alla tecnologia umana, in linea con quelli che oggi si definiscono moderni approcci biomimetici.

## Approccio biomimetico nell'ambiente acquatico

Il lavoro di Leonardo si estese anche ad altri settori:

1. Negli studi sull'acqua: osservò il movimento dei pesci per migliorare la progettazione di imbarcazioni, pompe e strumenti da immersione.
2. Nella progettazione di ponti e strutture, si ispirò a forme naturali come rami e ossa per ottenere massima resistenza con il minimo peso.
3. Nei suoi studi anatomici, l'analisi dei tendini e dei muscoli influenzò il progetto di meccanismi articolati e automi.

Tutto questo può essere ricondotto a ciò che oggi viene definito **biomimesi sistemica**, ossia il tentativo di comprendere i principi funzionali della natura e tradurli in soluzioni progettuali.

Nei suoi testi, Leonardo immagina e rappresenta dispositivi che potremmo considerare come prototipi primitivi di attrezzature da nuoto, concepiti con l'intento di incrementare la propulsione umana in acqua. L'idea di potenziare il movimento subacqueo tramite strumenti artificiali affonda infatti le sue radici nel Rinascimento. Nei suoi studi sulla locomozione subacquea, Leonardo da Vinci progettò guanti palmati e pinne da applicare ai piedi. Nei disegni compaiono strumenti simili a pagaie, pensati per aumentare la superficie utile di mani e piedi e, di conseguenza, la spinta esercitata nell'acqua. Sebbene tali progetti non siano stati realizzati all'epoca, rappresentano il primo tentativo noto di applicare principi biomimetici al nuoto umano. Osservando il movimento e l'anatomia degli anfibi, Leonardo arrivò anche a raffigurare una figura umana "acquatica" destinata all'uso bellico, dotata di pinne artificiali, guanti palmati, un tubo respiratore e un'attrezzatura specifica per le immersioni. La respirazione dell'operatore sarebbe stata garantita da una presa d'aria galleggiante che affiorava in superficie.



**Schizzi rinascimentali di Leonardo da Vinci  
sui primi esemplari di guanti palmati**



**Riproduzione di Luigi Tursini del guanto  
palmato in pelle (1952-1953), progettato da  
Leonardo da Vinci**



## 1.6 Biomimesi applicata al mondo acquatico

---

**Q**uando si parla di movimento in acqua, si deve considerare che questo ambiente presenta caratteristiche fisiche molto diverse rispetto all'aria: la sua densità è circa 800 volte superiore, la viscosità è elevata e le forze di pressione aumentano rapidamente con la profondità.

Di conseguenza, spostarsi in questo mezzo richiede un notevole dispendio energetico, poiché si deve continuamente vincere la resistenza idrodinamica. La resistenza che si incontra in acqua si distingue principalmente in due forme: la resistenza d'attrito, determinata dal modo in cui l'acqua scorre sulla superficie del corpo, e la resistenza di forma o di pressione, legata allo spostamento della massa d'acqua.

Gli animali acquatici hanno sviluppato soluzioni morfologiche e funzionali che consentono di minimizzare entrambe, offrendo modelli preziosi da trasferire al design tecnologico e sportivo.

### Principi naturali d'ispirazione

La biomimesi applicata agli sport acquatici si basa sull'osservazione di diversi principi biologici chiave:

**1. Riduzione della resistenza idrodinamica:** la pelle degli squali, ad esempio, presenta microstrutture che riducono la turbolenza, principio oggi applicato ai costumi da competizione.

**2. Propulsione ondulatoria:** pesci e cetacei sfruttano movimenti ondulatori della coda e delle pinne per generare spinta efficiente.

**3. Controllo attivo della forma:** animali come le seppie e i polpi modificano attivamente la loro forma per manovrare con grande agilità.

**4. Materiali elastici:** molte strutture biologiche (es. la coda dei delfini) immagazzinano e rilasciano energia elastica, aumentando l'efficienza del movimento.

L'imitazione delle strategie evolutive adottate dagli organismi marini ha già condotto allo sviluppo di tecnologie altamente performanti, soprattutto nel settore degli sport acquatici e dell'ingegneria dei materiali. In particolare, la biomimesi non si limita a replicare l'aspetto esteriore delle specie marine, ma cerca di comprenderne i principi funzionali e adattarli a soluzioni innovative.

L'approccio biomimetico integra quindi conoscenze di biomeccanica, fluidodinamica e morfologia comparata per progettare strumenti in grado di interagire efficacemente con l'acqua.



Uno degli ambiti più significativi riguarda l'ottimizzazione del corpo umano per il nuoto, attraverso supporti tecnologici ispirati al mondo animale.

I costumi da gara di nuova generazione, ad esempio, sfruttano l'analisi delle squame dello squalo per progettare superfici capaci di ridurre la turbolenza e aumentare la scorrevolezza.

Allo stesso modo, le forme delle pinne e delle pagaie riprendono l'anatomia di caudali e pinne dorsali di pesci o cetacei, riproducendone i profili idrodinamici e la flessibilità.

## Ispirazioni naturali: pinne di pesci e zampe palmate

Le pinne dei pesci e dei mammiferi marini offrono un repertorio di soluzioni straordinariamente variegato e funzionale. Nei pesci, la morfologia delle pinne varia in relazione all'ambiente e allo stile di vita: pinne pettorali ampie e arrotondate favoriscono la manovrabilità tra i reef, mentre pinne caudali a mezzaluna garantiscono l'alta velocità dei predatori pelagici.

In ambienti poco profondi si osservano invece pinne più ridotte e rigide, adatte a spostamenti rapidi e controllati. Nei cetacei, la coda assume una configurazione orizzontale bilobata, mossa da un'oscillazione verticale che coinvolge l'intera colonna vertebrale: un meccanismo differente da quello dei pesci, basato su movimenti laterali. Questa distinzione si riflette direttamente sulla meccanica del nuoto: mentre i pesci producono spinta attraverso oscillazioni laterali, i cetacei accumulano energia elastica nella fase discendente per rilasciarla nella risalita, ottenendo una propulsione continua ed efficiente, simile a una molla idrodinamica. Le loro pinne pettorali, lunghe e affusolate, svolgono inoltre una funzione stabilizzatrice e riducono le turbolenze, agendo come vere e proprie ali acquatiche.

Dal punto di vista funzionale, le pinne naturali condividono principi fondamentali: una flessibilità graduata, che consente una deformazione controllata e ottimizza il trasferimento di energia; strutture segmentate, come i raggi ossei dei pesci, che permettono un controllo fine della forma; superfici deformabili, capaci di adattarsi alla velocità o alla direzione del movimento; e una gestione sofisticata dei vortici, sfruttati per incrementare la spinta riducendo la resistenza. Anche la morfologia della pinna caudale risulta determinante: quella eterocerca, tipica degli squali, privilegia stabilità e manovrabilità, mentre quella omocerca dei tonni garantisce una spinta bilanciata e continua. Queste strategie evolutive dimostrano come la natura abbia sviluppato soluzioni altamente specializzate per ottimizzare l'interazione con l'acqua.



# 1

## CODA DI BALENA

Ala oscillante sotto la poppa che imita la coda di balena; risparmio carburante fino al 30 %, ma il progetto si arrestò per problemi meccanici

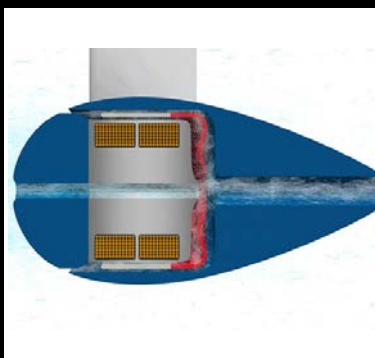


# O-FOL

# 2

## PINNA CAUDALE DEI PESCI

Sistema senza elica: membrana elastica che ondeggia come una pinna di pesce; vantaggi in silenziosità e sicurezza, ma costo elevato



# FINX

# 3

## PINNA DE

Pinna montata che smorza il trasforma le osc prop



# RUPPER

# FLIPPER

DEI CETACEI

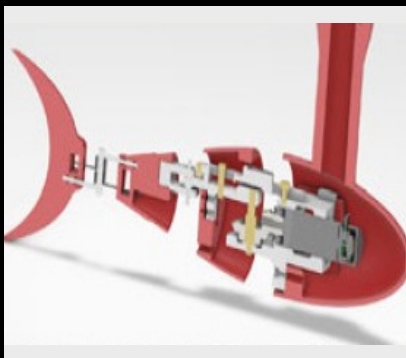
La sotto la prua  
beccheggio e  
rollazioni in spinta  
pulsiva



# PESCI ROBOTICI

LOCOMOZIONE  
ONDULATORIA DEI PESCI

I denticoli della pelle di squalo  
sono stati imitati nei tessuti dei  
costumoni (es. Speedo Fast-  
skin) per ridurre la resistenza in  
acqua



# APPLICAZIONE DI TUBERCOLI

TURBERCOLOSI DELLE  
BALENE MEGATTERE

Prototipi con tubercoli integrati  
su pale o eliche (progetti come  
RESHIP) per migliorare com-  
portamento idrodinamico e  
ridurre cavitazione



# SPEEDO FASTSKIN

PELLE DI SQUALO

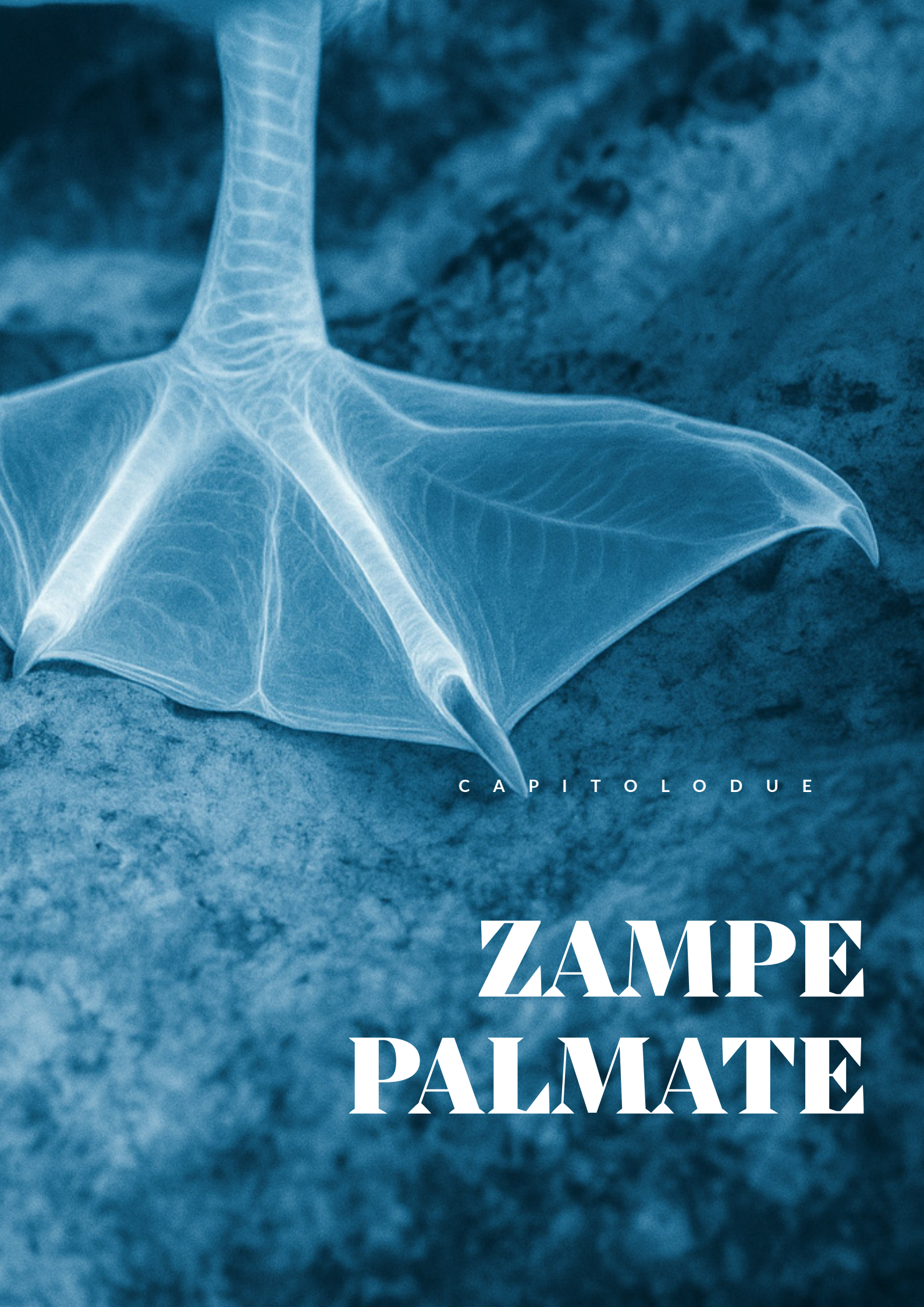
Robot marini con coda flessi-  
bile: test in vasca per valutare  
efficienza, resistenza e manovra-  
bilità, con risultati promettenti  
rispetto a eliche











C A P I T O L O D U E

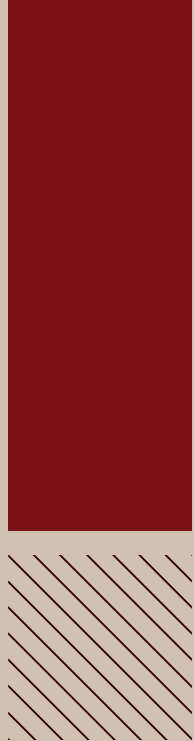
# ZAMPE PALMATE





Dettaglio delle zampe palmate di un fenicottero, adattamento che favorisce sia il movimento in acqua sia la stabilità su terreni fangosi





## 2.1 – Etimologia e definizione

---

*Palmato, trova la sua origine nel latino palmātus, a sua volta derivato da palma, la "palma della mano". Questa radice etimologica è già di per sé illuminante: suggerisce un'analogia con la mano umana, un organo prensile e versatile, la cui superficie può essere immaginata come un'area unificata. detto della zampa dei vertebrati palmipedi. In ambito zoologico e anatomico, la definizione si fa più tecnica: si definisce palmato un arto, tipicamente un piede o una mano, in cui le dita, anziché essere libere e indipendenti, sono congiunte da una membrana cutanea. Tale membrana prende il nome di patagio. In ambito biologico, con il termine zampe palmate si indica una particolare conformazione degli arti dei tetrapodi in cui le dita non risultano completamente separate, ma si trovano collegate da membrane interdigitali costituite da pelle o tessuto connettivo.*

**G**li animali dotati di zampe palmate si trovano frequentemente in ambienti acquatici come laghi, fiumi e specchi d'acqua. Le dita, essendo unite tra loro e quindi non indipendenti l'una dall'altra, si presentano palmate: questa particolare conformazione permette che si possa nuotare con grande velocità e, allo stesso tempo, consente che ci si muova anche sul suolo con una certa efficacia.

Questa caratteristica si osserva in numerose specie di vertebrati, in particolare in quelle semiacquatiche, e si riconosce come un adattamento funzionale che favorisce la locomozione negli ambienti acquatici.

Grazie a questa struttura, si aumenta significativamente la superficie del piede, così che con ogni movimento si possa spostare un volume maggiore d'acqua, migliorando la propulsione durante il nuoto.



L'espansione delle superfici interdigitali ha determinato un vantaggio selettivo in diverse specie, poiché si consente un nuoto più efficiente, soprattutto negli animali che trascorrono gran parte del tempo alternandosi tra ambiente terrestre e acquatico.

Dal punto di vista funzionale, si ottiene un compromesso tra l'esigenza di muoversi con efficacia sulla terraferma e quella di garantire un'elevata efficienza in acqua. Non a caso, le zampe palmate si riscontrano comunemente in animali semiacquatici che necessitano di destreggiarsi agevolmente nei due contesti.

È importante sottolineare che tale struttura presenta notevoli variazioni tra le specie, sia per quanto riguarda l'estensione delle membrane, sia per la loro composizione e morfologia.

## 2.2 – Struttura

---

**L**a zampa palmata si configura come un sistema biomeccanico complesso, costituito da diversi elementi interconnessi che si coordinano per generare movimento e spinta in acqua.

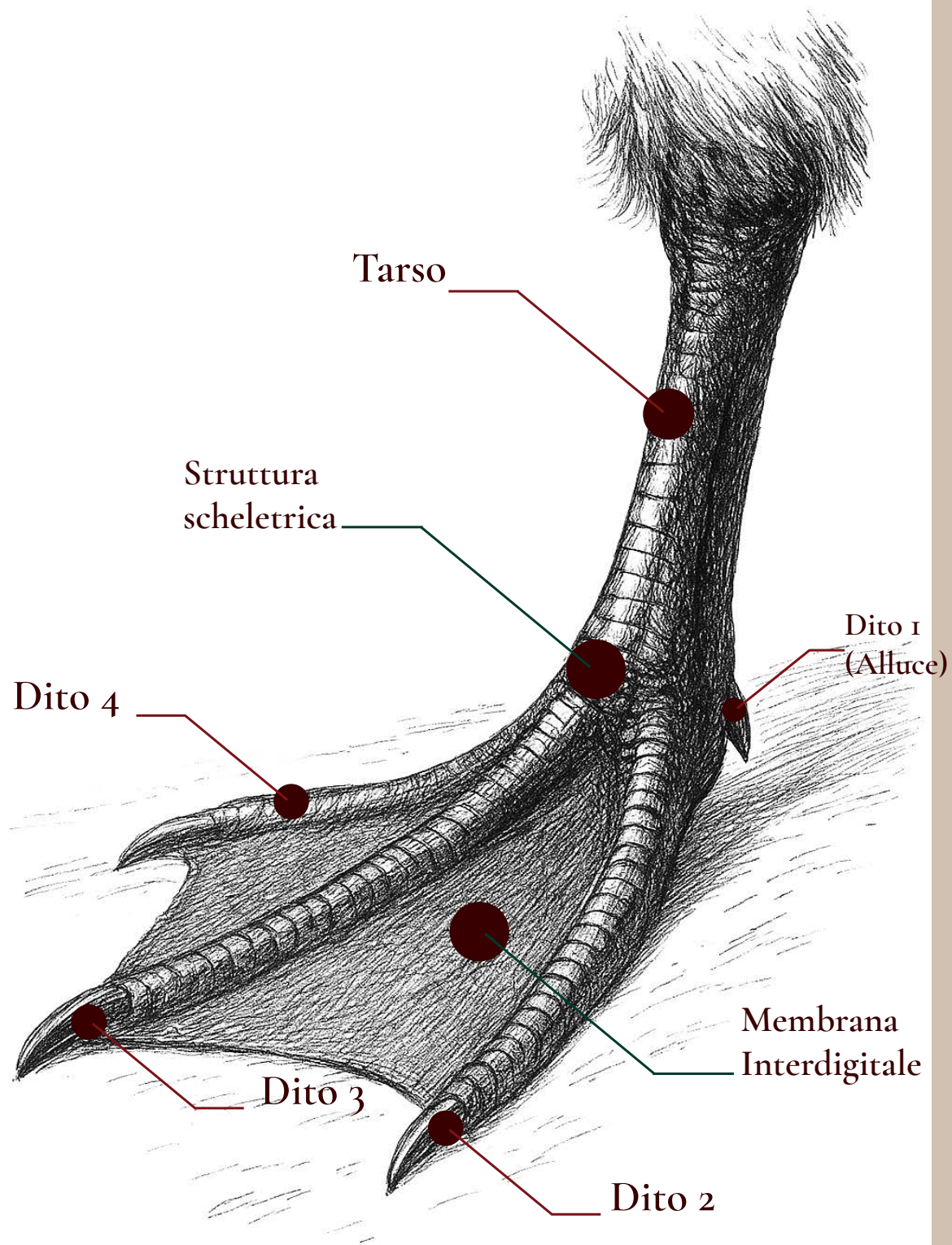
I principali componenti strutturali si possono distinguere in:

**1. Struttura scheletrica (ossa e articolazioni):** le ossa delle dita, ossia le falangi, si presentano allungate e disposte a raggiera, collegate da articolazioni flessibili che consentono l'espansione e la contrazione del piede. Questa architettura ossea si configura come l'impalcatura portante del sistema, fondamentale per garantire stabilità nella fase propulsiva.

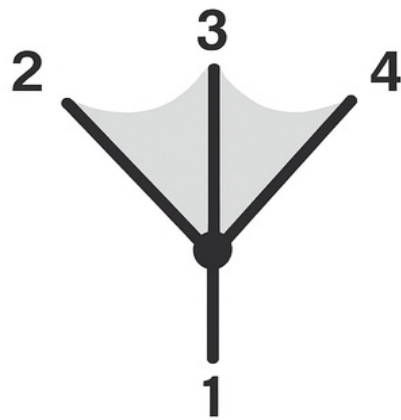
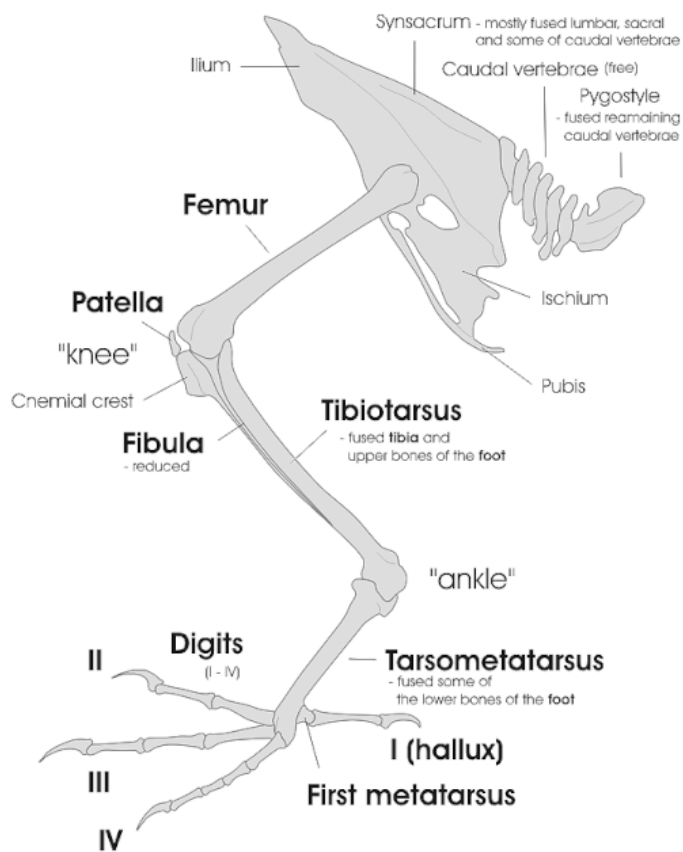
**2. Membrana interdigitale:** essa rappresenta il tratto distintivo delle zampe palmate. Si tratta di una sottile estensione di tessuto cutaneo flessibile e resistente, che connette le dita tra loro; è composta da fibre collagene ed elastina, la membrana si può estendere o contrarre dinamicamente in risposta alla pressione dell'acqua o all'attivazione muscolare. In alcune specie, si osservano pieghe o nervature che ne aumentano la resistenza meccanica.

**3. Muscolatura e tendini:** grazie ai muscoli intrinseci ed estrinseci della zampa, si rende possibile la contrazione controllata delle dita, regolando così l'apertura e la tensione della membrana. I tendini si configurano come trasmettitori di forza e modulano la risposta elastica dei tessuti nelle diverse fasi del movimento.

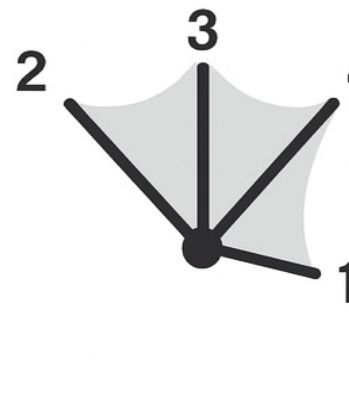
**4. Innervazione e sensibilità:** il sistema nervoso periferico fornisce un costante feedback tramite terminazioni sensitive localizzate sulla superficie plantare e tra le dita. In questo modo si permette una regolazione fine e in tempo reale del gesto motorio, così che l'animale





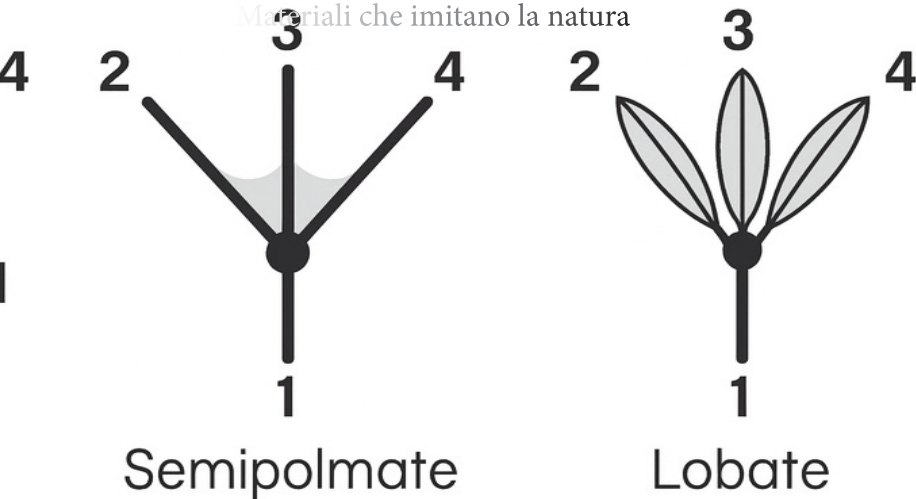


Palmate



Totipalmate

possa adattarsi prontamente a variazioni idrodinamiche causate da correnti, ostacoli o turbolenze.



## 2.3 – Classificazione morfologica

**L**e zampe palmate costituiscono un adattamento morfologico estremamente diversificato, risultato di processi evolutivi indipendenti che hanno interessato numerosi ordini di uccelli e anfibi. La classificazione morfologica di queste strutture non è soltanto descrittiva, ma permette di comprendere le differenti strategie biomeccaniche attraverso cui le specie hanno ottimizzato la locomozione in acqua, bilanciando potenza propulsiva, stabilità e controllo direzionale. In ambito zoologico, la distinzione tra i diversi tipi di palmatura si basa su due criteri principali:

1. il numero di dita connesse dalla membrana interdigitale;
2. il grado di estensione e di continuità della membrana stessa.

Da questi parametri derivano quattro categorie fondamentali:

1. **Palmate**: dita 2-4 unite (anatre, gabbiani, pinguini).
2. **Totipalmate**: dita 1-4 unite (pellicani, cormorani).
3. **Semipalmate**: membrane ridotte (aironi, avocette).
4. **Lobate**: dita con espansioni carnose (tuffetti).

In alcune specie anfibie o semiacquatiche esistono inoltre varianti parziali, considerate forme intermedie di adattamento.



## 1. Zampe palmate

Le **zampe palmate** sono caratterizzate da una membrana interdigitale che unisce le tre dita anteriori **II, III e IV**, mentre il dito posteriore (I, o alluce) rimane libero o ridotto. È la configurazione più comune tra gli uccelli acquatici, e si ritrova in anatre, oche, cigni, gabbiani, sterne, pinguini, fenicotteri e urie. Dal punto di vista funzionale, la zampa palmata rappresenta un equilibrio tra spinta e controllo: la membrana crea una superficie ampia che consente un'efficace propulsione durante il nuoto, ma permette al contempo una buona mobilità e capacità di cammino su superfici solide. La flessibilità della membrana e la mobilità delle falangi rendono questa morfologia adatta a una vasta gamma di comportamenti, dalle immersioni superficiali al galleggiamento dinamico.

## 2. Zampe totipalmate

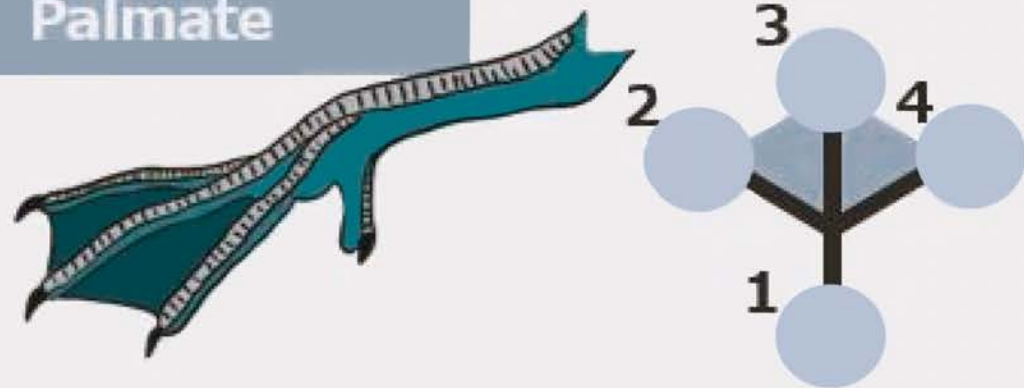
Le **zampe totipalmate** sono le più specializzate per la vita acquatica: in questo caso, la membrana interdigitale collega tutte e quattro le dita **I-IV**, formando una superficie palmare continua che copre l'intero piede. Questa struttura garantisce la massima efficienza propulsiva, particolarmente utile durante il nuoto subacqueo e la caccia in immersione. Specie come i Pellicani (*Pelecanus onocrotalus*), i Cormorani (*Phalacrocorax carbo*) e le Sule (*Sula nebulosa*), presentano questa tipologia.

La membrana delle totipalmate è spesso spessa, elastica e altamente vascolarizzata, capace di deformarsi durante la spinta e di ridurre la resistenza durante il recupero. Dal punto di vista biomeccanico, questa conformazione agisce come una pala flessibile a geometria variabile, ottimizzando la distribuzione della forza sull'intera superficie del piede.

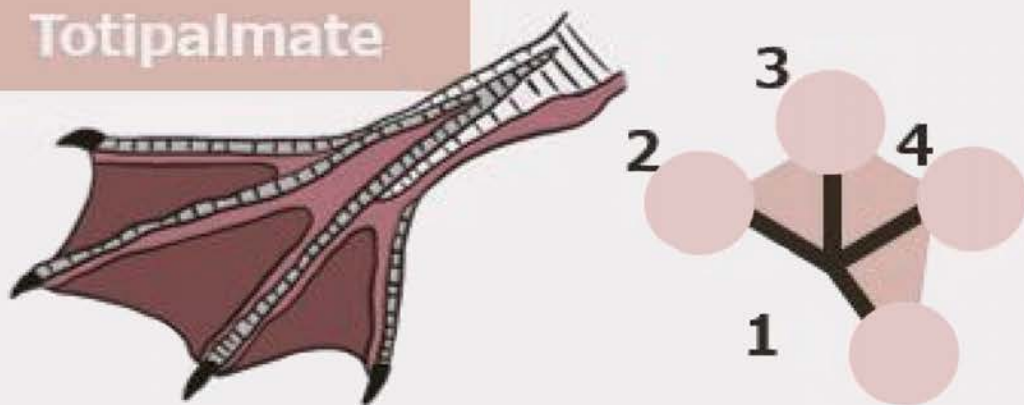
## 3. Zampe semipalmate

Le **zampe semipalmate** mostrano una membrana più ridotta che collega solo la base delle tre dita anteriori **II-IV**, lasciando libere le estremità. Questa configurazione rappresenta una forma intermedia tra la piena specializzazione acquatica e quella terrestre, e si riscontra in diverse famiglie di uccelli, tra cui Pivierini, Beccacce di mare, Avocette, Trampolieri, Galliformi e alcune specie di Oche primitive. Le zampe semipalmate consentono una certa propulsione in acqua, ma mantengono un'elevata efficienza nel cammino su superfici fangose o sabbiose. La membrana ridotta riduce la resistenza durante il passo e offre un compromesso funzionale ideale per specie che alternano ambienti terrestri e acquatici.

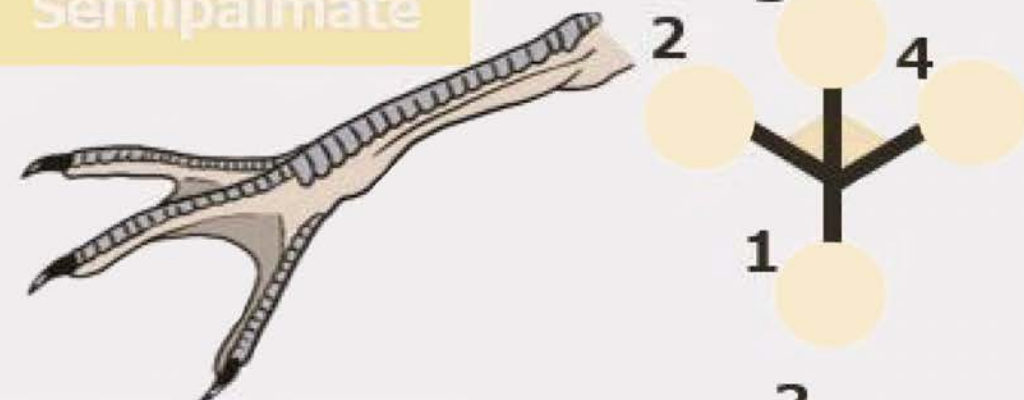
Palmate



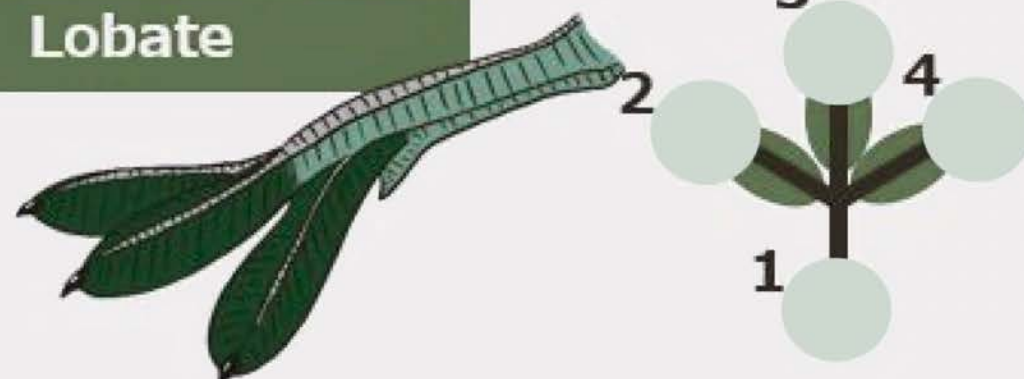
Totipalmate



Semipalmate



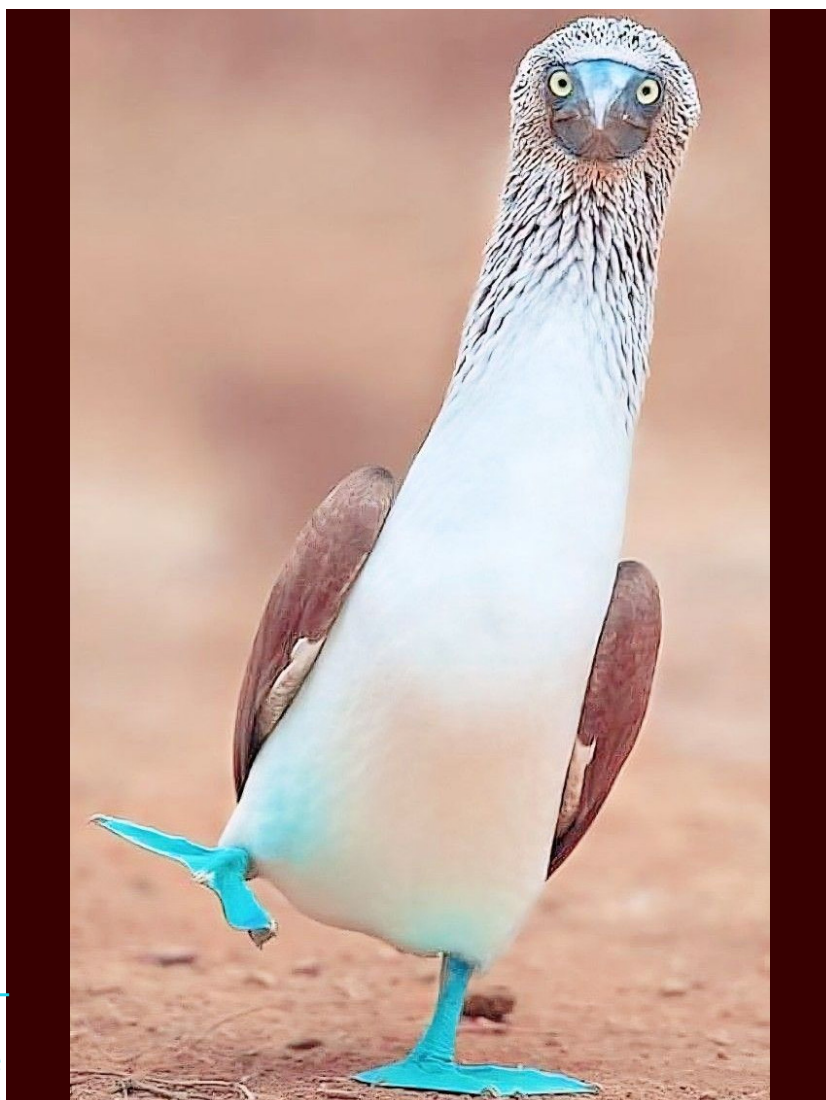
Lobate





#### 4. Zampe lobate

Le **zampe lobate** non presentano una membrana interdigitale continua, ma possiedono espansioni laterali di pelle e tessuto elastico su ciascun dito, i cosiddetti lobi. Durante la fase propulsiva del nuoto, i lobi si aprono, aumentando la superficie di contatto con l'acqua; durante il recupero, si ripiegano per ridurre la resistenza. Questa soluzione anatomica conferisce un controllo molto preciso dei movimenti, particolarmente vantaggioso per la manovrabilità in ambienti ricchi di vegetazione o in acque calme. Le zampe lobate si trovano in specie come gli Svassi (*Podiceps cristatus*), le Folghe (*Fulica atra*) e i Falaropi. La loro struttura rappresenta un esempio di efficienza idrodinamica ottenuta non attraverso la potenza, ma attraverso la modulazione della superficie attiva.



Esemplare di *Sula nebulouxii*, caratterizzato da zampe totipalmate di colore turchese intenso è tipica delle zone costiere del Pacifico orientale



Dettaglio delle zampe  
totipalmate blu di una  
*Sula Nebouxii*

## 2.4 – Proprietà della membrana interdigitale

---

**L**a **membrana interdigitale** si configura come l'elemento chiave delle zampe palmate, ed è proprio la sua struttura biomeccanica a determinare l'efficienza locomotoria in ambiente acquatico.

A differenza delle ossa e dei tendini, che conferiscono rigidità e sostegno, essa si compone principalmente di tessuto connettivo, fibre di collagene, elastina ed epidermide cheratinizzata, i quali concorrono a formare una superficie resistente e al tempo stesso flessibile.

Dal punto di vista meccanico, si riscontrano due esigenze apparentemente opposte a cui la membrana deve rispondere:

1. Resistere alle sollecitazioni idrodinamiche durante la fase propulsiva del nuoto, sopportando forze di trazione e compressione.
2. Garantire flessibilità ed elasticità, così da ridurre al minimo la resistenza nella fase di recupero e adattarsi ai movimenti delle dita.

Questa duplice funzione si rende possibile grazie alla particolare composizione dei tessuti. Studi istologici condotti su uccelli acquatici e anfibi hanno dimostrato come le fibre collagene si dispongano in maniera anisotropa, ossia orientate in direzioni differenti, assicurando resistenza meccanica senza compromettere la deformabilità.

L'elastina, invece, conferisce la capacità di ritorno elastico: una volta deformata dalla pressione dell'acqua, la membrana ritorna alla forma originaria con un ridotto dispendio energetico.

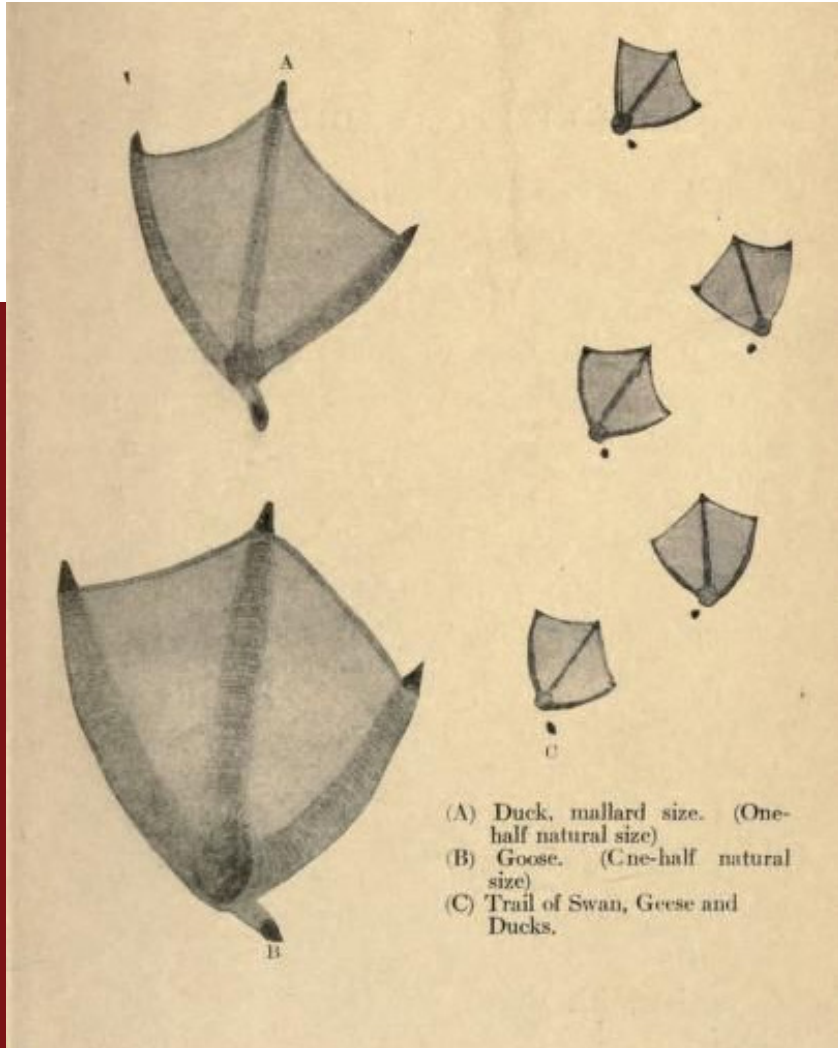
Un aspetto rilevante riguarda la variabilità di spessore e rigidità della membrana tra le diverse specie. Negli uccelli palmipedi, come le anatre, essa risulta relativamente sottile e altamente elastica, ottimizzata per il nuoto in superficie e la propulsione alternata.

Nei mammiferi semiacquatici, come i castori, si presenta più robusta e vascolarizzata, così da resistere a forze maggiori e adattarsi a contesti acquatici più turbolenti.

Nelle rane, invece, la membrana si mostra estremamente flessibile e traslucida, adattata a rapide accelerazioni in acqua grazie alla sua elevata deformabilità.

Dal punto di vista biomeccanico, la membrana si comporta come una sorta di "ala acquatica" che interagisce con i flussi idrodinamici. Durante la fase propulsiva, la superficie si tende e funziona come un corpo semi-rigido, aumentando portanza e spinta; nella fase di recupero, invece, si piega e collassa parzialmente, riducendo l'area di attrito. Tale comportamento ricorda i meccanismi riscontrati nelle pinne dei pesci e nelle ali degli insetti. Nelle specie che abitano in acque calme si osservano membrane più sottili e flessibili, mentre negli animali che vivono in corsi d'acqua veloci o in habitat marini si riscontrano membrane più spesse e resistenti, capaci di sopportare stress meccanici elevati. Tale plasticità morfologica testimonia l'alto





grado di adattabilità funzionale della struttura.  
 Un ulteriore elemento, spesso sottovalutato ma di grande importanza, riguarda la presenza di innervazione e vascolarizzazione. Questi aspetti consentono non solo un controllo attivo della tensione e della posizione della zampa, ma anche la regolazione termica, funzione particolarmente rilevante negli uccelli acquatici che trascorrono lunghi periodi in acque fredde.

## 2.5 – Sviluppo embriologico e fondamenti genetici

---

**L**e zampe palmate si formano grazie a meccanismi embriologici che si regolano in maniera stretta attraverso geni coinvolti nella morfogenesi digitale. Comprendendo tali basi, si può individuare l'origine evolutiva della struttura e le modalità con cui essa si ripete nei vertebrati per adattarsi ai diversi ambienti. Durante lo sviluppo embrionale dei vertebrati con arti, si osserva che l'apoptosi interdigitale, ovvero la morte cellulare programmata tra le dita, permette che le falangi si separino. Quando questa apoptosi non si attiva, il tessuto persiste e si forma così una membrana tra le dita, da cui ha origine la struttura palmata. Si riconosce come fondamentale, in questo processo, la via di segnalazione delle proteine morfogenetiche ossee (BMP). Nei tessuti interdigitali, infatti, si vede che le BMP inducono la morte cellulare. Tuttavia, sperimentazioni condotte sugli embrioni di pollo hanno mostrato che, se il recettore BMP risulta mutato o inibito, questa apoptosi non avviene, e si sviluppano piedi palmati, le quali non esprimono BMP in tali aree. La quantità di tessuto interdigitale preservato si correla quindi al livello di attenuazione dell'espressione delle BMP. Altri geni si rivelano coinvolti nella modulazione dell'apoptosi, tra cui:

- $TGF\beta$ , che regola la differenziazione cartilaginea;
- *msx-1* e *msx-2*, che influenzano la persistenza del tessuto interdigitale.

Le zampe palmate si sono evolute in modo convergente, vale a dire in gruppi tassonomici differenti che non condividono un antenato comune con arti palmati, ma che hanno sviluppato la stessa struttura a seguito di mutazioni diverse nei geni legati all'apoptosi. Non si riscontra, infatti, un unico percorso genetico: variazioni distinte nei geni BMP,  $TGF\beta$  o *msx* possono condurre a un risultato simile. Questa variabilità si osserva anche attraverso l'analogia con la sindattilia nell'uomo, una condizione clinica in cui due o più dita restano unite.

## 2.6 – Funzioni biomeccaniche, adattative e comportamentali

---

**L**e zampe palmate non si configurano soltanto come un tratto morfologico distintivo, ma si caratterizzano anche per l'insieme di funzioni biomeccaniche e adattative che hanno permesso a numerose specie animali di colonizzare con successo ambienti acquatici e semiacquatici. La membrana interdigitale, infatti, non si considera come un elemento isolato, ma come una struttura che si integra in sinergia con ossa, muscoli e tendini del piede, così che si garantisca una locomozione efficiente e versatile.

### Funzioni biomeccaniche

La propulsione acquatica realizzata attraverso le zampe palmate si basa su due principali principi idrodinamici: la drag-based propulsion e la lift-based propulsion.

#### 1. Drag-based propulsion o fase attiva:

È la modalità più comune tra gli animali semiacquatici, durante la fase attiva, l'arto si muove contro l'acqua con un ampio movimento all'indietro, generando spinta tramite la resistenza opposta dal fluido. Le membrane interdigitali, aumentando la superficie utile, amplificano la forza generata. le dita si aprono e la membrana si tende fino ad assumere la forma di una pala continua, generando la massima spinta possibile.

#### 2. Lift-based propulsion o fase di recupero:

Durante la fase di recupero, le dita vengono progressivamente accostate e la membrana interdigitale si distende in modo passivo, diminuendo la superficie esposta al flusso d'acqua. Questo allentamento strutturale riduce in modo significativo la resistenza idrodinamica e consente all'arto di riposizionarsi verso l'avanti con un dispendio energetico minimo, preparando così il successivo ciclo propulsivo. Parallelamente, alcune specie sono in grado di sfruttare anche la portanza idrodinamica, orientando le zampe in modo tale da comportarsi come superfici alari capaci di deviare il flusso dell'acqua e generare spinta attraverso un principio analogo a quello aerodinamico. Sebbene tale modalità risulti più efficiente, richiede un controllo motorio più preciso e una coordinazione più complessa rispetto al semplice sfruttamento della resistenza.



Numerosi animali, tra cui le anatre, adottano una combinazione di questi due meccanismi, integrando drag e lift per ottenere una propulsione più flessibile ed efficiente. Il movimento ciclico della zampa, oltre a produrre spinta diretta, determina anche la formazione di vortici lungo i margini della membrana; la gestione accurata di questi vortici contribuisce a incrementare l'efficienza idrodinamica complessiva e a migliorare la capacità dell'animale di modulare la direzione del nuoto con maggiore precisione.

## Funzioni comportamentali e adattative

Le zampe palmate hanno rappresentato, in termini evolutivi, un tratto altamente adattativo, comparso più volte in diversi gruppi animali attraverso processi di convergenza evolutiva. La loro versatilità consente di rispondere a esigenze ecologiche differenti:

- 1. Ricerca di cibo:** in molte specie, come i gabbiani o i pellicani, le zampe palmate supportano strategie di foraggiamento in acqua, permettendo un movimento rapido ed efficace durante la caccia o la pesca.
- 2. Fuga dai predatori:** un nuoto più efficiente costituisce un vantaggio selettivo, aumentando le possibilità di sopravvivenza in ambienti con alta pressione predatoria.
- 3. Migrazione e spostamenti:** in animali che compiono lunghi tragitti acquatici, come alcune specie di anatre, la presenza di zampe palmate riduce i costi energetici e favorisce la resistenza alla fatica.
- 4. Adattamenti ecologici specifici:** in alcune specie di primati semiacquatici, come il *Macaca fascicularis*, le zampe parzialmente palmate rappresentano un vantaggio per attraversare fiumi o aree costiere, ampliando le possibilità di sfruttamento delle risorse ambientali.

## Camminata su fondali fangosi, scivolosi o ghiacciati

Le zampe palmate si configurano come strutture che possono contribuire anche alla locomozione terrestre o anfibia, soprattutto quando ci si trova in ambienti caratterizzati da superfici instabili, come fondali fangosi, sabbiosi o ghiacciati.

In tali contesti, la maggiore area di appoggio fornita dalla membrana interdigitale fa sì che si realizzi una distribuzione più uniforme del peso corporeo, permettendo che si riduca l'affondamento e che si migliori l'equilibrio.

Nella tartaruga d'acqua dolce, ad esempio, le zampe palmate si uti-

lizzano non solo per nuotare, ma anche per camminare lentamente su substrati molli.

Analogamente, nei gechi delle sabbie, sebbene la funzione non si configuri come acquatica, le dita palmate si comportano come vere e proprie "scarpe di sabbia", facendo sì che ci si possa spostare con maggiore efficacia sulle dune instabili.

Nelle salamandre cavernicole dotate di zampe palmate, si trae vantaggio dalla maggiore superficie dell'arto affinché si aderisca più agevolmente alle pareti umide e scivolose del loro habitat sotterraneo.

Anche negli ambienti artici, come quelli abitati dai pinguini, le zampe palmate si assumono una funzione secondaria nel supporto del corpo durante il movimento sul ghiaccio. In questo caso, pur non essendo direttamente coinvolte nella propulsione, le membrane fanno sì che si contribuisca alla stabilità posturale e all'equilibrio dinamico durante la deambulazione.

## Scavo e interazione con substrati

Alcune specie, pur non essendo strettamente acquatiche, si avvalgono delle zampe palmate per interagire con il substrato, in particolare durante attività di scavo o di manipolazione. La rana pomodoro, si serve delle zampe posteriori parzialmente palmate per scavare nel terreno umido del Madagascar.

Sebbene la funzione propulsiva acquatica sia marginale, la membrana fa sì che si aumenti la superficie utile per smuovere il substrato. Nel caso dell'ornitorinco, le zampe anteriori si configurano come palmate e si utilizzano per nuotare, ma la membrana è retrattile: durante il cammino o durante l'attività di scavo, essa si ritrae affinché si liberi la parte artigliata del piede. Questa versatilità strutturale si presenta come un esempio significativo di modularità funzionale delle zampe palmate.

## Termoregolazione

In molte specie di uccelli acquatici, le zampe palmate si configurano anche come strutture funzionali nella termoregolazione. Poiché esse si presentano come porzioni esposte del corpo con una superficie estesa e ben vascolarizzata, si comportano come zone di scambio termico. Tuttavia, per evitare che si verifichino perdite eccessive di calore, alcuni uccelli acquatici (come anatre e cigni) si dotano di un sistema di scambio a controcorrente tra arterie e vene nelle zampe: il sangue caldo in arrivo fa sì che si riscaldi quello freddo in uscita, riducendo la dispersione termica.

Questo meccanismo fa sì che si mantenga una temperatura corporea stabile anche in ambienti molto freddi, pur lasciando esposte le zampe all'acqua o al ghiaccio.



**Lift-based propulsion**



**Drag-based propulsion**





Esemplare di uccello acquatico con zampe palmate in fase di nuoto sott'acqua (fase attiva e fase di recupero)

## 2.7 – Casi studio su fluidodinamica e propulsione

---

**L**a comprensione dei meccanismi fluidodinamici connessi alla propulsione tramite zampe palmate si configura come fondamentale per tradurre gli adattamenti naturali in principi progettuali. Numerosi studi recenti fanno sì che si possa ricostruire come la membrana interdigitale si interagisca con il fluido, generando spinta tramite forze di resistenza (= drag) e/o portanza (= lift), come si vari la pressione sulla superficie della membrana, come si formino i vortici e come le caratteristiche fisiche della membrana e la cinematica del movimento facciano sì che si influenzino le prestazioni propulsive.

Il germano reale si configura come uno degli animali più studiati in questo contesto, in quanto la sua zampa palmata si mostra con una combinazione di caratteristiche anatomiche, biomeccaniche e fluidodinamiche che fanno sì che si sintetizzino efficacemente le potenzialità adattative di questa struttura.

Uno studio rilevante pubblicato su MDPI **“From the Analysis of Anatomy and Locomotor Function of Biological Foot Systems to the Design of Bionic Foot”** si è servito della micro-CT per ricavare parametri anatomici relativi all’ossatura, ai tendini, alla membrana, alle articolazioni e alle dita.

La tecnica micro-CT si basa su tomografia computerizzata ad alta risoluzione che fa sì che si ottengano modelli tridimensionali dettagliati senza ricorrere a sezioni invasive, rivelando così la disposizione interna delle strutture e la loro relazione funzionale.

I dati raccolti si sono poi integrati con misurazioni effettuate tramite texture analyzer, uno strumento che si utilizza per quantificare resistenza, deformabilità e risposta elastica dei tessuti.

Attraverso questo approccio si è potuto valutare, ad esempio, l’angolo massimo di apertura della membrana in relazione alla pressione che si esercita sul tarsometatarso: in condizioni di spinta, la membrana fa sì che si raggiungano angoli compresi tra 50 e 60 gradi rispetto all’asse del piede, attivati da pressioni interne dell’ordine di decine di kilopascal.

Questo dato si presenta come particolarmente significativo perché dimostra come la membrana non si comporti come semplice superficie passiva, ma come un organo attivo che fa sì che si adatti dinamicamente al carico per ottimizzare la superficie effettiva esposta al fluido.

Lo stesso lavoro si è inoltre approfondito nel concetto di subsidence resistance, ovvero la resistenza allo sprofondamento. Tale parametro indica la capacità della membrana e delle strutture correlate di fare sì che si eviti un’eccessiva deformazione quando la zampa esercita pressione su substrati molli come fango o sabbia, mantenendo così una configurazione stabile sia per la locomozione terrestre sia per quella acquatica. In questo meccanismo cooperano pelle, fas-



## Riproduzione in 3D delle zampe palmate di un Germano Reale durante la nuotata

cia, tendini, legamenti e ossatura, che insieme fanno sì che si crei un bilanciamento tra resistenza meccanica e flessibilità. Le analisi hanno evidenziato come lo spessore della membrana si vari tra 0,8 e 1,2 mm nelle aree centrali, assottigliandosi progressivamente verso i margini. Questa configurazione fa sì che si favorisca una curvatura sotto carico, migliorando la profilazione idrodinamica e permettendo un incremento della portanza e una riduzione della resistenza nella fase di recupero.

## Immagini riportate nella pubblicazione " From the Analysis of Anatomy and Locomotor Function





Dal punto di vista fluidodinamico, il lavoro di Johansson e Norberg **“Delta-wing function of webbed feet gives hydrodynamic lift”**, ha dimostrato che la propulsione generata dal piede palmato si basa su una combinazione di due meccanismi.

Nella fase iniziale della battuta, la spinta è dominata dalla forza resistiva (drag-based), in quanto la membrana si dispone quasi perpendicolare al moto relativo dell'acqua.

Successivamente, man mano che la traiettoria del movimento avanza, l'angolo di attacco del webbing e la sua deformazione favoriscono la generazione di portanza (lift-based), grazie alla formazione di vortici marginali e alla separazione controllata del flusso.

L'effetto combinato dei due meccanismi si traduce in una spinta superiore rispetto a quella che sarebbe ottenibile attraverso un unico principio propulsivo.

Questa transizione tra resistenza e portanza è resa possibile dalla particolare elasticità della membrana, che si comporta come una struttura deformabile capace di adattare la propria geometria al regime di flusso.

Le osservazioni sperimentali e le simulazioni CFD (Computational Fluid Dynamics) mostrano come la presenza di bordi rinforzati e di tessuti elastici interni contribuisca a mantenere la stabilità della forma, impedendo un collasso della membrana e permettendo invece una deformazione controllata, che aumenta l'efficienza della spinta.

Nei mallard, ad esempio, questa dinamica si sviluppa in un regime di Reynolds compreso tra  $10^4$  e  $10^5$ , tipico di un flusso prevalentemente turbolento. Ciò implica che, pur essendo dominata dalla turbolenza, la corrente vicino alla superficie della membrana può presentare zone di laminarità o transizione che hanno un ruolo cruciale nella formazione e nella stabilizzazione dei vortici.

L'importanza di tali deformazioni dinamiche è confermata anche da studi condotti su modelli robotici e pinne caudali deformabili dei pesci, i quali mostrano come variazioni nell'area e nella rigidità delle superfici propulsive possano determinare incrementi di efficienza nell'ordine del 18-30%, a seconda della frequenza, dell'ampiezza e delle modalità di deformazione adottate.

Sebbene questi studi non riguardino direttamente le zampe palmate, offrono indicazioni utili per comprendere come la regolazione della membrana interdigitalia possa migliorare sensibilmente la performance propulsiva.

Dal punto di vista del ciclo motorio, durante la fase propulsiva, la membrana si apre completamente per massimizzare la superficie di spinta; al contrario, nella fase di recupero essa si richiude parzialmente o riduce l'area esposta al fluido, minimizzando la resistenza passiva.

Questo meccanismo è favorito da strutture tendinee e da fasce elastiche che, con un controllo prevalentemente passivo, permettono alla membrana di comportarsi come un'ala retrattile capace di bilanciare potenza e risparmio energetico.

In questo contesto, i termini tecnici spesso utilizzati negli studi assumono un significato chiave.

Il micro-CT consente di ricostruire con estrema precisione la struttura tridimensionale delle ossa, delle articolazioni e delle membrane, fornendo parametri fondamentali per la modellazione e le simulazioni.

Il texture analyzer misura la risposta meccanica dei tessuti, quantificando il carico necessario per aprire la membrana e le sue proprietà elastiche.

La resistenza allo sprofondamento descrive la capacità della zampa di mantenere stabilità e funzionalità sia in acqua che su substrati cedevoli. Infine, il webbing è l'elemento centrale della propulsione, ovvero la membrana interdigitalia che funge da superficie di interfaccia dinamica tra il movimento animale e l'ambiente fluido.

## 2.8 – Analisi dettagliata delle specie a zampe palmate

### Uccelli acquatici

Negli uccelli acquatici, la zampa palmata si manifesta come un adattamento chiave per il nuoto in superficie, l'immersione e, in alcuni casi, il decollo dall'acqua. Questo tipo di palmatura è tra i più evoluti e differenziati, e si è sviluppato in numerosi ordini come gli Anseriformi (anatre, oche, cigni), i Caradriformi (gabbiani, sterne) e i Pelecaniformi (pellicani, cormorani).

La varietà di forme include:

- Palmatura semplice (palmata), in cui tre dita anteriori sono unite da una membrana (es. anatra).
- Totipalmatura, dove anche il quarto dito posteriore è connesso (es. pellicano).
- Palmatura lobata, in cui ogni dito è dotato di espansioni cutanee indipendenti (es. svasso).

Nei volatili, l'equilibrio tra capacità natatorie e volo ha guidato la forma delle zampe: leggere ma robuste, piatte ma prensili, progettate per minimizzare la resistenza aerodinamica in volo e massimizzare la spinta in acqua. In molte specie, le zampe sono posizionate verso la parte posteriore del corpo per aumentare la leva durante la spinta acquatica, come nei cigni o nei cormorani.

### Mammiferi semiacquatici

Tra i mammiferi, le zampe palmate si ritrovano in numerose specie semiacquatiche, adattate a una vita ibrida tra terra e acqua. La loro morfologia riflette una necessità di versatilità, in quanto la stessa zampa deve garantire trazione terrestre, spinta natatoria e, in alcuni casi, capacità manipolative.

Specie emblematiche sono:

- Il castoreo, con zampe posteriori largamente palmate e anteriori prensili.
- La lontra, che abbina palmatura e agilità per la caccia subacquea.
- Alcuni cani da lavoro acquatici, come il Newfoundland, con zampe dotate di membrana parziale.

Nei mammiferi, la palmatura si accompagna a un uso più muscolare e diretto della zampa. L'articolazione e la forza dell'arto giocano un ruolo centrale, e la membrana ha funzione di amplificatore della superficie propulsiva, pur rimanendo più discreta e flessibile rispetto a quella degli uccelli.



## Rettili acquatici

Nel mondo dei rettili, le zampe palmate rappresentano una tappa intermedia nel passaggio verso forme natatorie più estreme. Questo gruppo include sia specie di acqua dolce che grandi rettili marini, e la palmatura può assumere forme molto differenti.

Esempi significativi includono:

- Le tartarughe d'acqua dolce, con zampe posteriori palmate e anteriori a volte adattate al nuoto.
- Le tartarughe marine, in cui le zampe anteriori si sono completamente trasformate in pinne rigide con resti palmari interni.
- Lucertoloni acquatici, come il basilisco, che presentano pieghe cutanee tra le dita, usate per generare spinta superficiale e correre brevemente sull'acqua.

## Anfibi

Negli anfibi, in particolare tra gli anuri (rane e rospi), la zampa palmata rappresenta una delle configurazioni più pure e primordiali del modello naturale. La presenza di membrana interdigitale è tipica delle zampe posteriori, che fungono da propulsori principali durante il nuoto.

- Le rane acquatiche presentano una palmatura completa, altamente elastica, che permette salti e nuotate esplosive.
- Le rane arboricole volanti, come quelle del genere *Rhacophorus*, hanno zampe palmate estese che servono anche per planare da un albero all'altro.
- Anfibi tropicali, invece, mostrano palmature ridotte o adattate per arrampicarsi su superfici scivolose.

La zampa palmata dell'anfibio è un perfetto esempio di sistema biomeccanico semplice ed efficace, ideale per ambienti complessi, dove l'acqua si alterna alla terra. Qui la membrana è estremamente flessibile, e il movimento è principalmente impulsivo e breve, ma ad alta potenza, sfruttando la forza delle cosce e la spinta direzionale della zampa.

**L**e zampe palmate si sono evolute indipendentemente in numerose specie appartenenti a gruppi tassonomici differenti, rappresentando uno degli esempi più ricorrenti di convergenza evolutiva tra i vertebrati. Di seguito si presenta un'analisi dettagliata di alcune delle principali specie animali dotate di zampe palmate, organizzate per classe zoologica.

## Anfibi



**Rana comune**  
(*Rana temporaria*)

Specie ampiamente diffusa in Europa e Asia, presenta zampe posteriori lunghe, muscolose e palmate. La palmatura è triangolare (forma a delta) e consente una spinta efficace nel nuoto drag-based. Le membrane interdigitali si distendono durante la fase propulsiva, aumentando la superficie d'impatto sull'acqua, e si richiudono nella fase di recupero per ridurre la resistenza.



**Rana toro**  
(*Lithobates catesbeianus*)

Anfibo di grandi dimensioni, originario del Nord America. Le sue zampe posteriori palmate gli permettono di nuotare con potenza e rapidità. La membrana unisce completamente le dita posteriori, rendendo la specie efficiente sia in ambiente acquatico che sulla terraferma.



**Rana pomodoro**  
(*Dyscophus antongilii*)

Originaria del Madagascar, ha zampe posteriori con palmature meno estese ma funzionali. Pur non essendo una grande nuotatrice, le membrane interdigitali le permettono di scavare nel terreno umido e di muoversi brevemente nell'acqua.



**Salamandra cavernicola**  
(Chiroptera Triton magnipes)

Specie messicana adattata alla vita in ambienti umidi e rocciosi. Le sue zampe palmate, benché non specificamente funzionali al nuoto, aumentano la superficie di contatto col suolo, garantendo maggiore aderenza su substrati scivolosi..



**Axolotl**  
(Ambystoma mexicanum)

Anfibio neotenico con zampe corte e membranate. Sebbene la propulsione principale avvenga tramite la coda, le zampe palmate forniscono stabilità e assistono nei movimenti di spostamento e posizionamento sul fondale.



## Rettili



Tartaruga dalle orecchie rosse  
(*Trachemys scripta elegans*)

Specie d'acqua dolce con zampe palmate dotate di artigli. Le membrane consentono movimenti fluidi in acqua, mentre la struttura robusta delle dita permette arrampicata su tronchi e superfici emerse per basking.



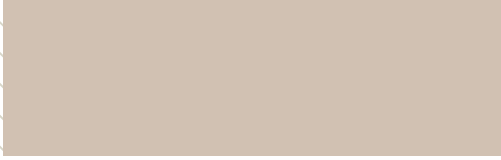
Tartaruga guscio molle del Nilo  
(*Trionyx triunguis*)

Presenta zampe anteriori largamente palmate e a forma di pagaia, estremamente funzionali per il nuoto. L'adattamento è accentuato dalla conformazione piatta del corpo e dallo stile di vita interamente acquatico.

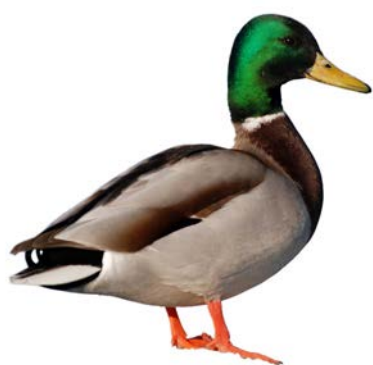


Geco delle sabbie  
(*Pachydactylus rangei*)

Nonostante non viva in ambienti acquatici, questo rettile del deserto possiede zampe palmate che fungono da "scarpe di sabbia". Le membrane interdigitali ampliano la superficie di contatto col terreno sabbioso, migliorando stabilità e locomozione.



## Uccelli



Anatra selvatica  
(*Anas platyrhynchos*)

Zampe palmate tipiche, con dita 2-4 unite. Durante il nuoto, l'anatra apre le dita per massimizzare la superficie palmata nella fase propulsiva e le richiude nella fase di recupero. È un esempio perfetto di equilibrio tra funzionalità natatoria e camminata terrestre.



Tuffetto comune  
(*Tachybaptus ruficollis*)

Specie con zampe lobate, in cui ciascun dito è circondato da espansioni cutanee indipendenti. Questi lobi funzionano come piccole pinne direzionali, garantendo un'elevata manovrabilità subacquea. Utilizza movimenti laterali alternati per creare portanza.



Sula bassana  
(*Morus bassanus*)

Uccello marino totipalmato (dita 1-4 unite). Le zampe sono usate durante le immersioni per correggere la traiettoria e come superfici di controllo. Forniscono anche stabilità in volo quando viene sfruttata la portanza aerodinamica a bassa quota.





Pellicano bianco  
(*Pelecanus onocrotalus*)

Anch'esso totipalmato. Utilizza le zampe per la propulsione in acqua e per facilitare la manovra durante il volo radente sull'acqua. Le membrane sono particolarmente ampie e robuste.



Cormorano di Brandt  
(*Phalacrocorax penicillatus*)

Totipalmato con grandi capacità subacquee. Combina il movimento delle zampe con il battito delle ali per massimizzare la spinta. È un modello utile per lo studio di sistemi ibridi tra propulsione e manovrabilità.



Pinguino imperatore  
(*Aptenodytes forsteri*)

Pur affidandosi alle pinne per la spinta, possiede zampe palmate posteriori usate per il controllo direzionale e come supporto per il cammino sul ghiaccio. Le dita sono corte e tozze, ma la membrana resta funzionale.

## Mammiferi



Lontra eurasiatica  
(Lutra)

Mammifero semiacquatico con zampe posteriori palmate flessibili. Durante il nuoto, le dita si aprono per estendere la membrana, generando spinta; in fase di recupero, si richiudono per ridurre la resistenza. Le zampe anteriori, non palmate, sono usate per manipolazione.



Castoro europeo  
(Castor fiber)

Possiede zampe posteriori palmate e robuste, che agiscono come pale per la propulsione acquatica. Le anteriori, non palmate, sono impiegate per costruzione e scavo. Le dita sono spesse e resistenti, più adatte alla spinta che alla manovrabilità.



Ornitorinco  
(Ornithorhynchus anatinus)

Monotremo australiano con zampe anteriori palmate e membrana retrattile. Durante il nuoto, la membrana si espande per fornire spinta, mentre a terra si ritrae per permettere la camminata. La coda agisce da timone o deposito di grasso.



Capibara  
(*Hydrochoerus hydrochaeris*)

Grande roditore sudamericano, semiacquatico. Le dita sono parzialmente unite da una membrana che consente spostamenti stabili nei fiumi e nelle paludi. Le zampe anteriori hanno 4 dita, le posteriori 3, tutte leggermente palmate.



Didelfide acquatico  
(*Chironectes minimus*)

Opossum acquatico sudamericano con zampe posteriori palmate. Nuota con estrema efficienza, grazie a una membrana estesa e flessibile. È uno dei pochissimi marsupiali ad aver sviluppato adattamenti specifici alla vita acquatica. Ippopotamo (*Hippopotamus amphibius*) Le zampe, robuste e corte, sono dotate di dita parzialmente palmate. Nonostante l'aspetto massiccio, l'animale è un buon nuotatore e si muove agilmente sui fondali dei corsi d'acqua, più camminando che nuotando.





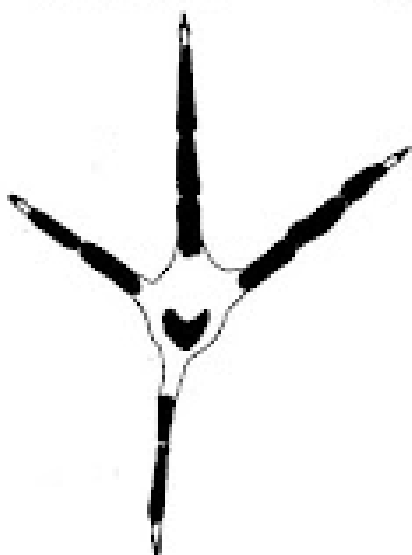




Pavoncella

Folaga

Germano reale



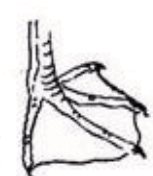
Airone cenerino



Colombaccio



Gabbiano reale



marangone



albatro



pinguino



piviére



pollo sultano



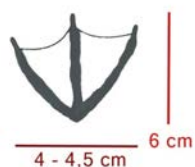
folaga



cuculo



sterna



Gabbiano

Tipologie e dimensioni delle impronte di uccelli a zampe palmate

## 2.9 – Funzioni specifiche e comportamenti associati alle zampe palmate

---



ono stati individuati tre modelli animali particolarmente promettenti: la rana (es. *Rana temporaria*), il cormorano (*Phalacrocorax carbo*) e il germano reale (*Anas platyrhynchos*). Questi modelli condividono caratteristiche strutturali e funzionali che li rendono adatti a replicare il gesto natatorio umano con pinna.

### Rana (*Rana temporaria*)

La rana, grazie alle sue zampe posteriori specializzate, rappresenta un modello eccellente per lo sviluppo di pinne agonistiche a "colpo di gambe" amplificato, simile al gesto del nuoto a rana.

Raggiunge una lunghezza standard (snout-vent length, SVL) di 90-152 mm, con individui grandi fino a 203 mm

La lunghezza del piede posteriore (dal calcagno alla punta delle dita) in rane simili è stimata in circa 5-7 cm, coerente con un rapporto tra arto e corpo tipico delle ranidi .

#### **Le misure rilevate indicano:**

Lunghezza del piede: 5,1-7,6 cm

Larghezza massima (dita allargate): 3,1-4,5 cm

Superficie della membrana palmare: stimata tra 20 e 35 cm<sup>2</sup>, calcolata su basi proiettive delle dimensioni rilevate.

#### **Forma e struttura**

La zampa ha forma triangolare (a delta) con arco radiale dal calcagno alle dita - un design idrodinamico che favorisce efficienza nella spinta drag-based.

Le dita sono supportate da ossa lunghe, articolate, che permettono grande apertura e chiusura, supportate da una membrana continua.

#### **Spessore e composizione della membrana**

Alcuni studi anatomici mostrano che la membrana è costituita da uno strato sottile di pelle e tessuto connettivo, arricchito da fibre di collagene ed elastina, conferendo elasticità e resistenza.

L'elasticità permette rapide aperture e chiusure, utili nella progettazione di pinne che sfruttano l'energia elastica accumulata.

Meccanismo operativo durante il nuoto Il gesto natatorio della rana è caratterizzato da un movimento a calcio propulsivo:

la fase attiva prevede l'apertura completa delle dita e della membrana, generando una spinta potente verso il basso e all'indietro.

Nella fase passiva, le dita si richiudono, riducendo l'attrito.

Questo ciclo tra apertura elastica ed esposizione della superficie palmare e chiusura riduttiva è funzionale a una propulsione efficiente e



ciclica, con risparmio energetico .

**Rapporto superficie/potenza:**

la grande superficie palmare, unita alle dita corte, genera spinta esplosiva, essenziale per accelerazioni rapide.

**Elasticità dinamica:**

la membrana permette transizioni veloci tra espansione e chiusura, una caratteristica utile per materie prime flessibili come silicone o TPE. Forma geometrica stabile: la forma a delta conferisce un profilo hydrodinamico robusto mantenibile anche a pesi leggeri.



Tipologie di zampe palmate di diverse specie di rane



la zampa palmata della rana  
con le sue dimensioni di  
5-7 cm di lunghezza,  
3-4 cm di larghezza,  
superficie palmare di  
20-35 cm<sup>2</sup> e con una mem-  
brana altamente elastica

## Cormorano (*Phalacrocorax carbo*)

Il cormorano comune (*Phalacrocorax carbo*) è diffuso in ambienti acquatici costieri e lacustri, possiede zampe totipalmate, cioè con tutte e quattro le dita completamente unite da membrana, una caratteristica che massimizza la superficie palmare disponibile.

La loro conformazione, relativamente corta ma larga, conferisce al cormorano una capacità propulsiva di grande efficacia, consentendogli immersioni fino a 45 metri di profondità.

Ciò dimostra la potenza e la resistenza del suo sistema natatorio, che sfrutta in modo sinergico sia le ali sia le zampe per muoversi in acqua.

### **Le misure rilevate indicano:**

Dal punto di vista morfometrico, l'animale misura complessivamente tra 80 e 100 cm di lunghezza, con un peso compreso tra 2,6 e 3,7 kg. Le zampe, robuste e di colore scuro, hanno una lunghezza media di 7-8 cm e una larghezza di circa 6-7 cm a dita completamente aperte, con una superficie palmare stimata superiore ai 40 cm<sup>2</sup>.

### **Forma e struttura**

La totipalmatura, che connette tutte e quattro le dita, fornisce una superficie maggiore rispetto alle zampe palmate degli anatidi come l'anatra, rendendo la spinta più continua e potente.

La forma del piede, ampia e distale, con dita relativamente corte e membrana robusta, è funzionale a generare spinta non solo in direzione posteriore, ma anche laterale e verso il basso.

Inoltre, la posizione arretrata delle zampe lungo il corpo produce un punto di leva paragonabile alla collocazione delle pinne posteriori nell'uomo durante il nuoto, favorendo un'azione propulsiva stabile ed efficace.

### **Spessore e composizione della membrana**

Per quanto riguarda la composizione della membrana interdigitale, non esistono dati diretti sullo spessore specifico nel cormorano adulto. Studi di embriologia su questa specie mostrano però che la membrana si sviluppa integralmente e persiste lungo tutte le dita anche in fasi avanzate della crescita. Per analogia con altre specie di uccelli acquatici, è plausibile ipotizzare uno spessore dell'ordine dei decimi di millimetro, sufficiente a garantire resistenza e flessibilità durante i tuffi ripetuti.

La robustezza strutturale della membrana, seppur sottile, le permette di resistere a pressioni idrostatiche elevate e di mantenere la continuità necessaria alla spinta.

Il meccanismo funzionale è basato su un ciclo dinamico: nella fase propulsiva, le dita vengono aperte e la membrana si tende, trasformandosi in una pala solida capace di produrre forze idrodinamiche costanti. Durante la fase di recupero, invece, la membrana si richiude



parzialmente, riducendo la resistenza all'avanzamento. Tale alternanza richiama principi fondamentali di ingegneria fluidodinamica: massima esposizione della superficie in fase di spinta e minimizzazione della sezione trasversale in fase di recupero. In chiave applicativa, il cormorano rappresenta un modello interessante per la progettazione di pinne agonistiche da piscina, soprattutto per la sua totipalmatura che consente di pensare a superfici continue e resistenti, capaci di mantenere forma anche sotto pressione costante. La sua adattabilità agli ambienti profondi suggerisce l'impiego di materiali robusti ma flessibili, come silicone rinforzato o elastomeri ad alta resistenza, capaci di coniugare flessibilità dinamica e solidità strutturale. Tuttavia, occorre anche considerare i limiti di questo modello: la propulsione del cormorano è ottimizzata per il nuoto subacqueo prolungato e per tuffi profondi, mentre l'obiettivo di una pinna da piscina è favorire la velocità e la frequenza del battito, caratteristiche che richiedono soluzioni più leggere e reattive.





## Germano reale (*Anas platyrhynchos*)

Il germano reale rappresenta uno degli esempi più emblematici di uccelli palmati, con una morfologia della zampa estremamente funzionale al nuoto e all'immersione superficiale.

Le sue zampe, posizionate posteriormente lungo il corpo, sono palmate di tipo "classico": le dita 2, 3 e 4 sono connesse da una membrana continua, mentre il primo dito rimane libero e orientato posteriormente.

Questa conformazione, comune agli anatidi, permette di ottenere un equilibrio ottimale tra propulsione e controllo direzionale.

### Dimensioni e morfometria

Le misurazioni disponibili in letteratura mostrano alcune differenze a seconda del criterio di rilevamento. Se si considera esclusivamente il piede palmato (dalla base delle dita alla punta), la lunghezza media è di circa 6-7 cm, con una larghezza massima di 5-6 cm in apertura completa.

Tuttavia, includendo l'intero avampiede e il tarsometatarso, si arriva a una lunghezza complessiva di 11-12 cm e a una larghezza fino a 8,8-9,8 cm.

Questa distinzione è importante per l'analisi biomimetica, poiché la parte effettivamente coinvolta nella propulsione idrodinamica è quella compresa tra le dita unite dalla membrana.

### Superficie palmare

In condizioni di massima apertura, la superficie della membrana interdigitale può essere stimata tra 30 e 40 cm<sup>2</sup>, a seconda della taglia dell'individuo. Tale valore è stato calcolato considerando la forma approssimativa della membrana come un triangolo con base arcuata o come una semielisse, coerente con osservazioni morfometriche condotte sia su esemplari domestici (*Anas platyrhynchos domesticus*) che selvatici.

Questa superficie relativamente ampia, rapportata alla massa corporea dell'animale, garantisce una spinta efficace durante la fase propulsiva.

### Spessore e struttura della membrana

Non esistono studi diretti che riportino lo spessore esatto della membrana del germano reale. Tuttavia, dati derivati da studi embriologici sugli anatidi e da analisi istologiche su altre specie palmate permettono di ipotizzare un valore nell'ordine di 0,2-0,5 mm.

La membrana è costituita da tessuto epiteliale sottile e da connettivo ricco di fibre collagene ed elastiche, che conferiscono resistenza meccanica e notevole elasticità. Questa combinazione permette un'apertura completa senza lacerazioni e una chiusura rapida con minimo sforzo muscolare, riducendo il consumo energetico complessivo.

### Meccanismo funzionale nel nuoto

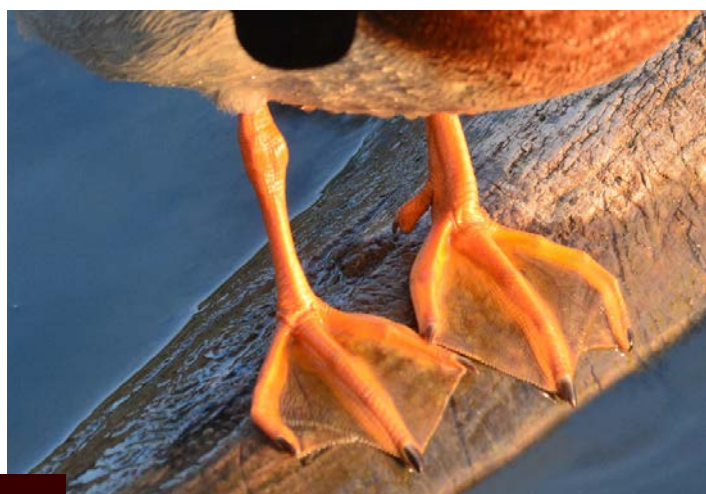
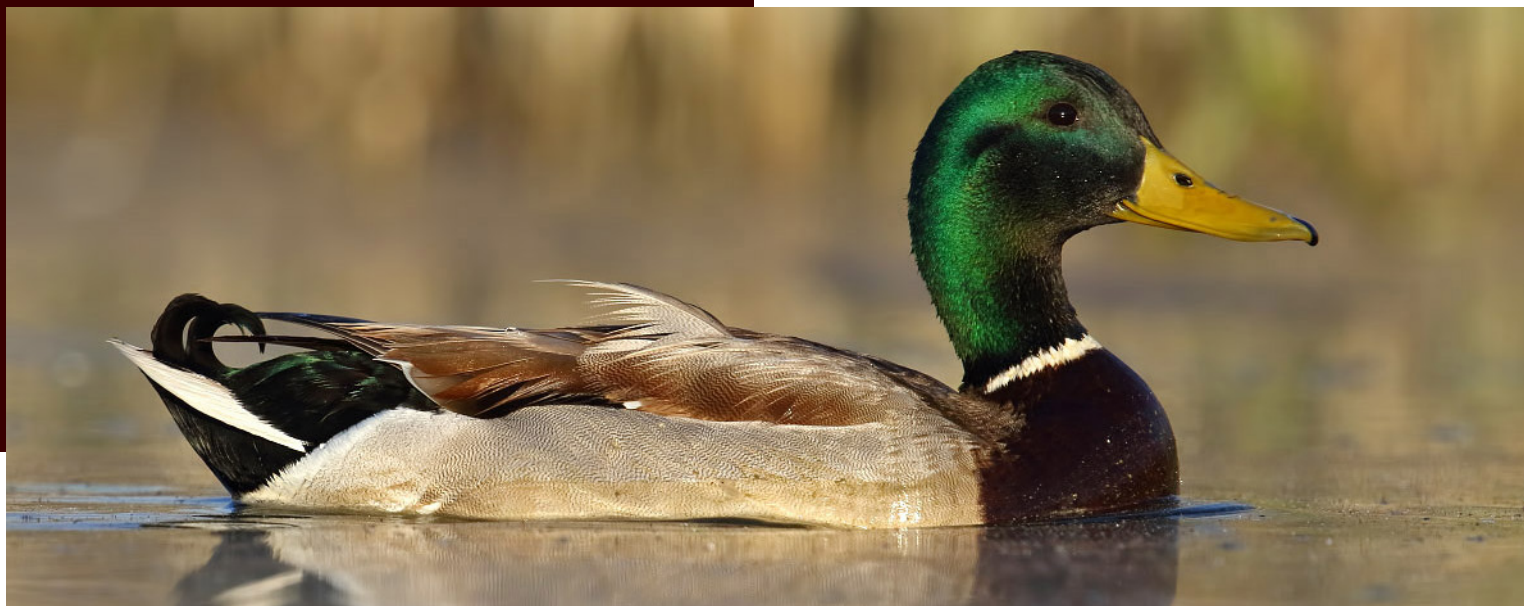
Il funzionamento biomeccanico della zampa del germano reale si basa su un meccanismo ciclico di apertura e chiusura.

Durante la fase propulsiva, le dita si aprono e la membrana si tende, offrendo la massima superficie alla resistenza dell'acqua e generando una spinta efficace verso il retro.

Nella fase di recupero, le dita si richiudono parzialmente, riducendo la superficie palmare e quindi la resistenza.

Studi cinematografici ad alta velocità hanno evidenziato che questo comportamento corrisponde a una sorta di valvola idrodinamica naturale, in cui la membrana agisce come un dispositivo passivo capace di modulare la superficie esposta.

Inoltre, la presenza di fibre elastiche consente alla membrana di accumulare energia durante l'apertura e di rilasciarla nel movimento successivo, aumentando l'efficienza del ciclo natatorio.



| TIPO DI PALMATURA   | PALAMATE<br>Dita posteriori                                                         | PALAMATE<br>3 Dita                                                                   | TOTIPALMA<br>4 Dita                                                                   |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Lunghezza MAX Zampa | 5 cm                                                                                | 8 cm                                                                                 | 15 cm                                                                                 |
| Lunghezza MIN Zampa | 3 cm                                                                                | 5,5 cm                                                                               | 8 cm                                                                                  |
| Larghezza MAX Zampa | 4 cm                                                                                | 8 cm                                                                                 | 10 cm                                                                                 |
| Larghezza MIN Zampa | 2 cm                                                                                | 6,5 cm                                                                               | 8 cm                                                                                  |
| Superficie Zampa    | 7 cm <sup>2</sup>                                                                   | 20 cm <sup>2</sup>                                                                   | 100 cm <sup>2</sup>                                                                   |
| Spessore Membrana   | 0,3 cm                                                                              | 0,8 cm                                                                               | 0,6 cm                                                                                |
| Spessore Dita       | -                                                                                   | -                                                                                    | -                                                                                     |
|                     |  |  |  |
|                     | <b>RAWA</b><br><b>TEMPORARIA</b>                                                    | <b>GERMANO</b><br><b>REALE</b>                                                       | <b>CORMO-</b><br><b>REALE</b>                                                         |



# RANO



| PALMATE<br>5 Dita   |
|---------------------|
| 15 cm               |
| 10 cm               |
| 8 cm                |
| 6 cm                |
| 100 cm <sup>2</sup> |
| 10 cm               |
| -                   |

# SULA NEBOUXII



| TOTIPALMATE<br>4 Dita |
|-----------------------|
| 13 cm                 |
| 10 cm                 |
| 9 cm                  |
| 7 cm                  |
| -                     |
| -                     |
| -                     |

# PELLICANO BIANCO



| TOTIPALMATE<br>4 Dita |
|-----------------------|
| 22 cm                 |
| 18 cm                 |
| 16 cm                 |
| 13 cm                 |
| -                     |
| -                     |
| -                     |

# ALBATRO



| PALMATE<br>3 Dita |
|-------------------|
| 20 cm             |
| 16 cm             |
| 14 cm             |
| 11 cm             |
| -                 |
| -                 |
| -                 |

## 2.10 – Dalla zampa palmata alla pinna da nuoto : principi e caratteristiche ideali

---

**L'**analisi integrata delle strutture anatomiche, biomeccaniche e fluidodinamiche delle zampe palmate consente di definire un modello sintetico che massimizza le prestazioni propulsive in ambienti acquatici. L'osservazione di specie diverse, come la rana, il germano reale e il cormorano comune, permette di identificare gli elementi chiave che rendono una zampa palmata efficiente nella produzione di spinta, nella gestione della resistenza idrodinamica e nell'adattamento al flusso d'acqua.

### Selezione del modello biologico

Tra le diverse specie analizzate, si emerge chiaramente come i modelli più indicati per la progettazione bioispirata sia il germano reale. Il germano reale rappresenta un esempio ottimale di zampa palmata adattata al nuoto di superficie e alle immersioni leggere, grazie alla sua capacità di modulare la superficie palmare attraverso aperture e chiusure cicliche della membrana interdigitale, riducendo la resistenza durante la fase di recupero e accumulando energia elastica per il successivo colpo propulsivo.

### Caratteristiche anatomiche e morfometriche ideali

Il piede palmato ideale combina proporzioni e geometria capaci di massimizzare la propulsione e ridurre la resistenza. La forma complessiva richiama un triangolo o un'ala delta, con l'arco radiale che va dal calcagno fino alle dita, consentendo una distribuzione uniforme della superficie esposta al fluido.

La membrana interdigitale deve essere elastica, con spessore variabile: più rigida alla base per trasmettere efficacemente la forza muscolare e più deformabile verso le estremità per adattarsi alle variazioni del flusso. Le dimensioni ottimali, derivate dall'analisi dei tre modelli, prevedono una lunghezza della zampa compresa tra 5 e 12 cm, con larghezza massima tra 3 e 9 cm e superficie palmare tra 20 e 40 cm<sup>2</sup>, valori coerenti con una spinta potente ma gestibile in termini di manovrabilità.

## Parametri biomeccanici e fluidodinamici

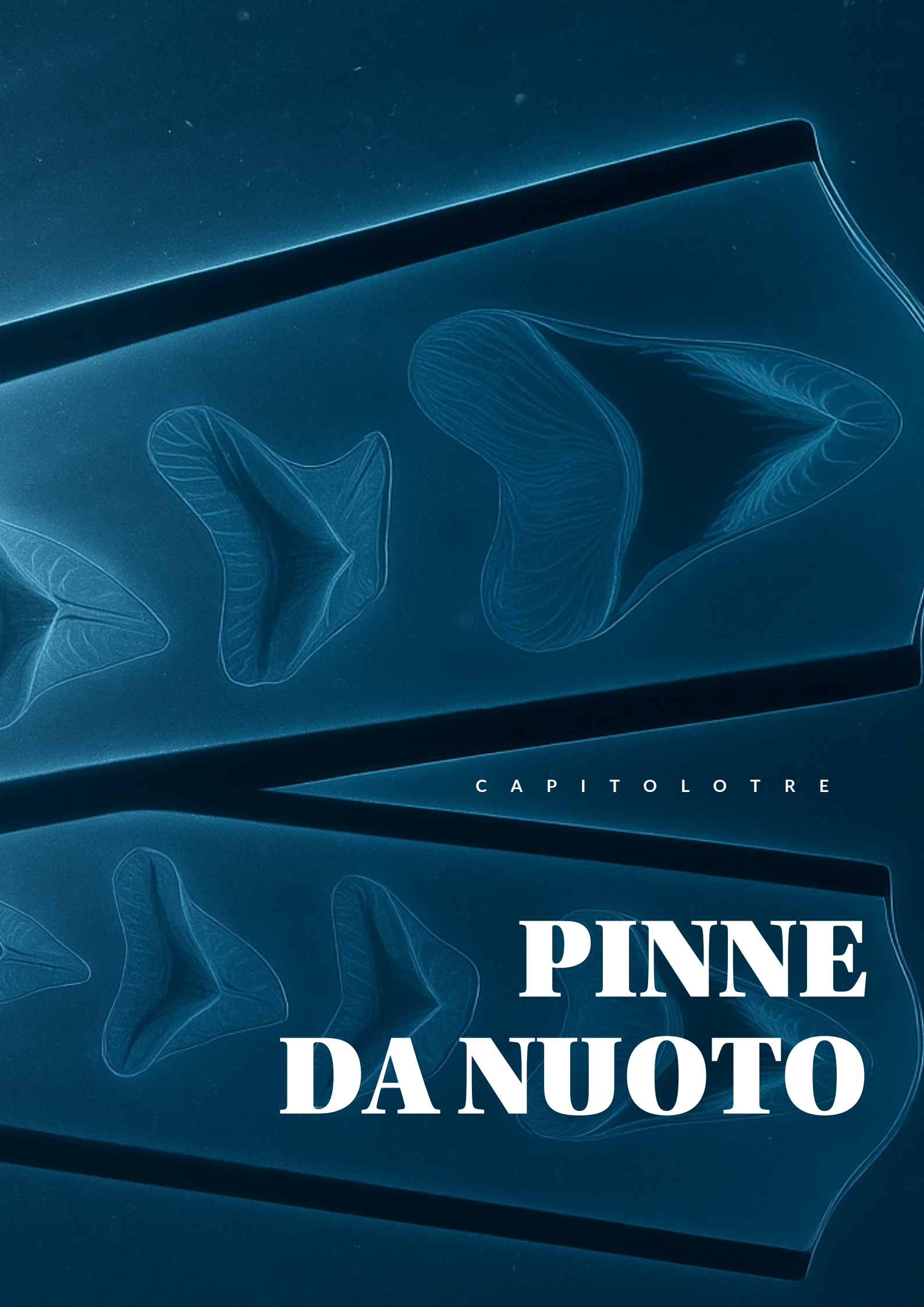
Le indagini fluidodinamiche e cinematografiche hanno evidenziato che il piede palmato ideale deve essere in grado di modulare la generazione di forze drag e lift lungo l'intero ciclo natatorio. Durante la fase propulsiva, l'apertura massima della membrana genera una resistenza significativa iniziale che, grazie alla deformazione controllata, si trasforma in portanza, incrementando la spinta totale. La distribuzione della pressione sulla superficie della membrana deve essere uniforme, riducendo la formazione di vortici indesiderati e ottimizzando l'efficienza propulsiva. Gli angoli di attacco devono essere variabili e regolabili dinamicamente, in modo da adattarsi al moto dell'acqua e alle variazioni di velocità e turbolenza. Studi su micro-CT e texture analyzer hanno confermato che la combinazione tra spessore della membrana, elasticità e distribuzione anisotropa della rigidità consente un controllo passivo della forma del piede, con chiusura durante il recupero e apertura completa nella fase di spinta, ottenendo un bilancio ideale tra efficienza energetica e forza propulsiva.

Un modello di pinna facendo riferimento alla geometria triangolare o a delta rappresenta il compromesso ottimale tra spinta e manovrabilità. La membrana deve essere realizzata in materiali flessibili e anisotropi, in grado di simulare l'apertura e la chiusura ciclica, con spessore differenziato per gestire efficacemente la trasmissione della forza e la deformazione idrodinamica. Le dimensioni della pinna devono essere proporzionate al piede umano per mantenere un equilibrio tra efficienza propulsiva e comfort nell'utilizzo. Infine, l'inserimento di strutture che consentano adattamento dinamico al flusso d'acqua, come rinforzi flessibili lungo i bordi o fasce elastiche interne, garantisce la gestione ottimale di drag e lift, replicando fedelmente i meccanismi osservati nei modelli biologici.









C A P I T O L O T R E

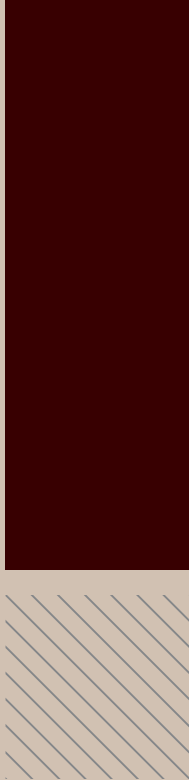
# PINNE DA NUOTO





Pinne per diving  
in fibra di vetro





## 3.1 – Etimologia e definizione

---

*Pinna1 s. f. [dal lat. pinna «penna»]: Negli sport acquatici, arnese di gomma opportunamente sagomato che, calzato ai piedi del nuotatore, serve a renderne più agevole e più veloce lo spostamento nell'acqua; nel nuoto pinnato si usa oggi più comunem. la monopinna, che viene calzata da entrambi i piedi e consente di spostare una maggiore quantità d'acqua senza creare vortici tra le gambe.*

**L**a pinna da nuoto è un accessorio progettato per migliorare la propulsione in acqua, permettendo ai nuotatori di muoversi con maggiore velocità ed efficienza. L'elemento chiave di questo strumento è la sua capacità di trasformare la forza applicata dal nuotatore in una spinta efficace, ottimizzando il movimento delle gambe e l'interazione con l'acqua. Ha il compito di aumentare la superficie di contatto tra il piede e l'acqua, migliorando così la propulsione. L'attrito e la resistenza vengono minimizzati attraverso il design aerodinamico della pala. È un dispositivo che, interagendo con l'acqua, amplifica la potenza dei movimenti dei piedi, permettendo all'essere umano di muoversi in un ambiente non naturale con efficienza e agilità. Le pinne da nuoto sono un'attrezzatura essenziale per migliorare la performance, utilizzate sia per allenamento che per attività specifiche come il nuoto subacqueo, il freediving e lo snorkeling.

## 3.2 – Struttura

---

**L**esistono diverse tipologie di pinne da nuoto, ognuna progettata per soddisfare differenti esigenze, condizioni d'uso e uso previsto. Ogni tipo ha specifiche caratteristiche tecniche che influenzano direttamente il movimento del nuotatore.

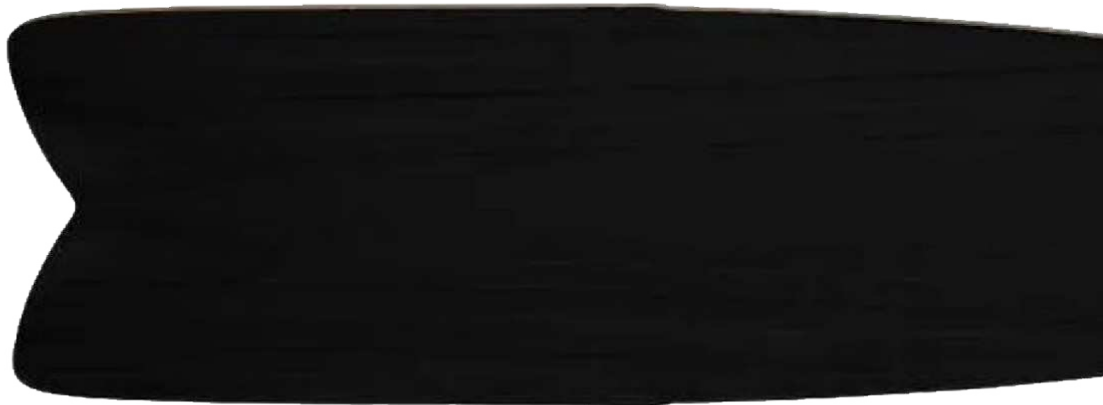
La prima e fondamentale divisione è quella della scarpetta, che orientativamente si differenzia in una calzatura a scarpetta (full foot), o a sottana (open heel). Questi due modi di calzare le pinne effettua una prima ed importante differenza di utilizzo e dipende dalle preferenze personali e dalle caratteristiche dell'attività.

Una pinna è composta da diversi elementi chiave:

- **Pala:** La parte piatta e ampia che entra in contatto con l'acqua. Le sue dimensioni e la sua rigidità determinano la forza propulsiva.
- **Scarpetta:** L'alloggiamento per il piede, che può essere chiuso (full foot) o aperto con cinghie (split foot). Assicura il collegamento tra il piede e la pala.
- **Cinghie:** Utilizzate nelle pinne split foot, servono a fissare la pinna al piede, permettendo maggiore flessibilità.

### Pala

La pala è senza dubbio la parte più importante della pinna, perché è quella che entra in contatto con l'acqua e che permette di generare la spinta necessaria al movimento. Nella sua progettazione si deve trovare il giusto equilibrio tra rigidità e flessibilità, così da garantire al nuotatore la massima efficienza possibile. Le dimensioni e la forma della pala incidono direttamente sia sulla velocità sia sullo sforzo che si deve compiere. Se la pala è lunga, si ottiene una propulsione maggiore grazie a una superficie di contatto più ampia, ma allo stesso tempo il lavoro muscolare richiesto aumenta. Per questo le pale lunghe si usano soprattutto nell'apnea e nel nuoto pinnato. Se invece



la pala è corta, si riescono a compiere movimenti più rapidi e agili, ideali per chi si allena in piscina e vuole migliorare la tecnica senza affaticare troppo le gambe. Anche la rigidità gioca un ruolo fondamentale. Quando la pala è molto rigida, si ottiene una spinta più potente e precisa, adatta a chi ha bisogno di forza esplosiva, ma ci si stanca più facilmente. Se invece la pala è flessibile, il movimento risulta meno faticoso e più comodo, ed è quindi preferibile per attività di lunga durata.

Nelle pinne moderne spesso si trovano canali o fori sulla superficie della pala. Questi accorgimenti servono a ridurre la resistenza e a guidare meglio il flusso dell'acqua, così che il movimento diventi più fluido ed efficace e l'affaticamento si riduca.

Infine, anche i materiali fanno la differenza. Se si usa il silicone, si ottiene maggiore comfort e flessibilità; se invece si scelgono materiali più rigidi o compositi, si privilegiano potenza, precisione e durata nel tempo.

## Cinghia

La cinghia si configura come un componente tipico delle pinne a scarpetta aperta, maggiormente diffuse nell'attività subacquea piuttosto che nel nuoto agonistico.

Si tratta di un sistema di fissaggio che avvolge il tallone e permette di regolare la calzata in base alla conformazione del piede o all'eventuale utilizzo di calzari in neoprene. La funzione principale della cinghia si riconosce nella capacità di rendere la pinna adattabile e facilmente indossabile anche in condizioni complesse, come immersioni effettuate con muta.

Nel contesto delle pinne destinate all'agonismo in piscina, invece, la cinghia non trova generalmente applicazione: si preferisce la scarpetta chiusa, precisa e aderente, che assicura un contenimento ottimale





del piede e una trasmissione diretta della forza, evitando le dispersioni che possono derivare da sistemi di regolazione esterni. Quando si fa riferimento alla geometria della pala, si riconosce che un modello triangolare o a delta rappresenta un compromesso efficace tra spinta e manovrabilità. La membrana si realizza idealmente con materiali flessibili e anisotropi, capaci di riprodurre un'apertura e una chiusura ciclica, e deve presentare uno spessore variabile per gestire al meglio la trasmissione della forza e la deformazione idrodinamica. Le dimensioni complessive della pinna si devono proporzionare al piede umano, così da garantire un equilibrio tra efficienza propulsiva e comfort nell'utilizzo. Infine, si ottimizza la prestazione attraverso l'inserimento di strutture in grado di adattarsi dinamicamente al flusso d'acqua, come rinforzi flessibili lungo i bordi o fasce elastiche interne, così da gestire in maniera efficace drag e lift e replicare i meccanismi osservati nei modelli biologici.

## Scarpetta

La scarpetta si configura come la parte destinata ad accogliere il piede e, sebbene possa sembrare meno rilevante rispetto alla pala, si rivela essenziale per garantire comfort e sicurezza durante l'utilizzo. Affinché risulti efficace, la scarpetta deve essere comoda, aderente e realizzata con materiali che non solo si adattino alla conformazione del piede, ma che assicurino anche una buona traspirazione e un'elevata resistenza all'usura.

Generalmente, la scarpetta si realizza in gomma, silicone o materiali termoplastici, tutti scelti per offrire elasticità e comfort ottimale. In base alla tipologia costruttiva, si distinguono scarpette chiuse e scarpette regolabili.

Le prime avvolgono completamente il piede, garantendo un'aderenza sicura e stabile, caratteristiche che le rendono ideali per il nuoto e per l'apnea.

Le seconde, invece, sono dotate di cinghie o fibbie e si prediligono nelle attività subacquee, poiché consentono una personalizzazione della calzatura e si adattano a piedi di dimensioni differenti. Questo tipo di scarpetta risulta particolarmente utile quando si indossano calzari in neoprene o mute, permettendo di mantenere il massimo comfort anche durante immersioni prolungate.

Si riconosce, inoltre, che le pinne da nuoto si suddividono in differenti categorie, ciascuna delle quali progettata per rispondere a esigenze specifiche. La scelta della tipologia più adeguata dipende dall'attività praticata, dal livello di esperienza e dagli obiettivi che si intendono raggiungere.



### 3.3 – Tipologie di pinne

**L**e pinne possono essere suddivise in diverse macrocategorie a seconda dell'uso specifico, della struttura e del contesto in cui vengono utilizzate.

#### Pinne corte

Le pinne corte si riconoscono subito per la loro compattezza e leggerezza: la pala è corta e flessibile, così da permettere un movimento rapido e naturale delle gambe.

Con questo tipo di pinna si lavora soprattutto sulla velocità, perché si riesce a mantenere una frequenza elevata delle gambate senza andare incontro a un affaticamento eccessivo. Sono particolarmente utili negli allenamenti in piscina, dove aiutano a migliorare la tecnica e a potenziare la muscolatura delle gambe. Grazie alla possibilità di aumentare la rapidità dei movimenti, risultano ideali per perfezionare lo stile libero e il delfino, in cui la continuità e la velocità delle battute sono fondamentali.

Per questo motivo si usano spesso sia a livello professionale sia tra i nuotatori amatoriali, diventando uno strumento prezioso per chi vuole affinare la propria tecnica senza rinunciare alla comodità.

## Pinne lunghe

Le pinne lunghe si distinguono per la pala più estesa e spesso più rigida rispetto a quella delle pinne corte. Con questo tipo di pinna si ottiene una spinta più potente, ma al tempo stesso si richiede un movimento delle gambe ampio e meno frequente. In questo modo si allenano la resistenza muscolare e la capacità di mantenere un'azione propulsiva costante.

Rispetto alle pinne corte, le pinne lunghe permettono di raggiungere velocità maggiori e di coprire distanze più lunghe con meno battute. Sono quindi molto utilizzate per gli allenamenti di resistenza, per il nuoto in acque libere e in ambito subacqueo, dove la capacità di spostarsi con meno sforzo e in modo continuo è essenziale. Inoltre, grazie alla maggiore superficie della pala, le pinne lunghe consentono di sviluppare forza e coordinazione nelle gambe, migliorando l'efficienza generale della nuotata.

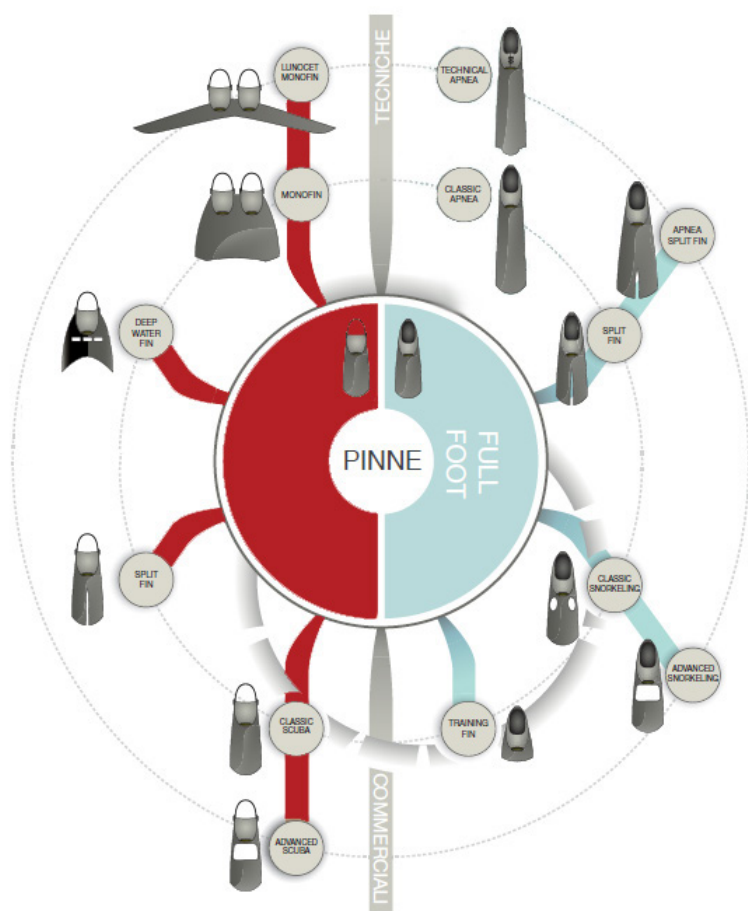
Per questo motivo vengono spesso consigliate anche nei programmi di preparazione atletica per chi vuole incrementare la potenza della gambata.

## Pinne monopala

La monopalma è una pinna particolare, formata da un'unica pala che unisce entrambi i piedi. Per utilizzarla correttamente, il nuotatore deve adottare un movimento ondulatorio del corpo, molto simile a quello di un delfino o di una sirena. Questo tipo di pinna permette di sviluppare una spinta propulsiva molto elevata, sfruttando al massimo la coordinazione di tutto il corpo. Dal punto di vista energetico, la monopalma è estremamente efficiente: con un singolo movimento si riesce a percorrere una distanza maggiore rispetto a quanto accade con le pinne tradizionali. Per questa ragione viene utilizzata soprattutto in discipline specifiche come l'apnea e il nuoto pinnato, ma trova applicazione anche nel nuoto sincronizzato, dove la fluidità e l'armonia del gesto tecnico sono fondamentali.

Oltre agli aspetti agonistici, la monopalma è impiegata anche in allenamento per migliorare la tecnica della gambata ondulatoria e per rafforzare la muscolatura del tronco, essenziale per mantenere il corretto movimento del corpo. Proprio perché coinvolge in modo intenso addominali, dorsali e gambe, rappresenta uno strumento prezioso per sviluppare coordinazione, potenza e resistenza.





## Pinna pala lunga

Queste pinne sono utilizzate principalmente per l'apnea e il nuoto subacqueo. Sono caratterizzate da una pala molto lunga e rigida, progettata per fornire una potente spinta con un movimento lento e ampio. Sono solitamente realizzate in materiali come la fibra di vetro o la fibra di carbonio, per garantire resistenza e flessibilità ottimali.

### Caratteristiche principali:

- **Lunghezza della pala:** molto lunga, fino a 90 cm o più.
- **Materiali:** plastica, fibra di vetro, carbonio.
- **Uso principale:** apnea, pesca subacquea e immersioni profonde.
- **Vantaggi:** spinta potente con minore sforzo su lunghe distanze
- **Svantaggi:** meno manovrabili e meno efficaci per movimenti rapidi e brevi.

## Pinna pala corta

Le pinne a pala corta sono comunemente utilizzate negli allenamenti di nuoto in piscina. La pala corta consente movimenti veloci e frequenti, stimolando la muscolatura delle gambe senza affaticare eccessivamente il nuotatore. Questo tipo di pinne è ideale per migliorare la tecnica e la forza delle gambe, oltre a favorire la resistenza cardiovascolare.

### Caratteristiche principali:

- **Lunghezza della pala:** corta, generalmente 15-30 cm
- **Materiali:** gomma, silicone, materiali plastici flessibili.
- **Uso principale:** allenamento in piscina
- **Vantaggi:** stimola i muscoli, facilita un movimento fluido e naturale
- **Svantaggi:** minore spinta rispetto alle pinne più lunghe.



**Pinne da subacquea full foot**



**Pinna Monopala**



## Pinne da subacquea (o Scuba Fins)

Le pinne da subacquea sono progettate per essere utilizzate con bombole da immersione. Devono offrire una combinazione di potenza e manovrabilità per permettere al subacqueo di muoversi in maniera efficiente sott'acqua. Spesso sono dotate di cinghie regolabili per facilitare l'uso con scarpe da sub.

### Caratteristiche principali:

- **Lunghezza della pala:** media, circa 40-60 cm
- **Materiali:** plastica, gomma rinforzata
- **Uso principale:** immersioni subacquee con bombole.
- **Vantaggi:** equilibrio tra spinta e controllo sott'acqua.
- **Svantaggi:** non sono ideali per la velocità pura, essendo più pesanti.

## Pinne da immersione ( Snorkeling )

Progettate specificamente per lo snorkeling, queste pinne sono generalmente più corte e leggere rispetto alle pinne da subacquea. Sono pensate per facilitare movimenti rapidi e leggeri in acque poco profonde, dove la manovrabilità è più importante della potenza. Spesso sono facili da indossare e rimuovere, grazie a sistemi di calzata semplice.

### Caratteristiche principali:

- **Lunghezza della pala:** o media, generalmente 30-50 cm
- **Materiali:** plastica leggera o gomma
- **Uso principale:** snorkeling e nuoto ricreativo
- **Vantaggi:** leggere e manovrabili, ideali per acque poco profonde.
- **Svantaggi:** limitate in termini di potenza di spinta

## Pinne da apnea (o Freediving )

Le pinne freediving per gambe sono molto lunghe e flessibili, utilizzate principalmente per immersioni in apnea, pesca subacquea.





#### Caratteristiche principali:

- **Lunghezza della pala:** Lunga dai 60 ai 100 cm
- **Materiali:** Fibra di carbonio, fibra di vetro o plastica tecnica
- **Alta efficienza:** trasformano piccoli movimenti in grande propulsione
- **Uso principale:** immersioni verticali e movimenti lenti.
- **Svantaggi:** Difficili da usare per chi non ha esperienza, richiedono un buon controllo della tecnica.

### Pinne da allenamento per gambe (o Tech Fins)

Le pinne da allenamento per gambe sono molto rigide e corte, utilizzate principalmente per aumentare la resistenza muscolare e migliorare la tecnica di nuotata. Vengono spesso impiegate per allenamenti specifici nel nuoto agonistico.

#### Caratteristiche principali:

- **Lunghezza della pala:** molto corta.
- **Materiali:** silicone o gomma rigida.
- **Uso principale:** allenamento avanzato per nuotatori competitivi.
- **Vantaggi:** migliora la forza muscolare
- **Svantaggi:** meno adatte per chi cerca velocità o comfort.

### Pinne regolabili con cinghie (o Open Heel)

Le pinne open heel sono dotate di cinghie regolabili che si chiudono attorno al tallone. Questo permette una calzatura più flessibile, specialmente per chi utilizza calzari da sub in acque fredde. Vengono usate prevalentemente per immersioni subacquee e sono preferite in situazioni dove è necessaria una protezione termica aggiuntiva.

#### Caratteristiche principali:

- **Sistema di calzatura:** regolabile tramite cinghie.
- **Materiali:** gomma e plastica rinforzata.
- **Uso principale:** immersioni in acque fredde o subacquea tecnica.

- **Vantaggi:** flessibili per l'uso con diversi tipi di calzari
- **Svantaggi:** più pesanti e ingombranti da trasportare

## Monopinna

La monopinna è una singola pinna che si indossa su entrambi i piedi contemporaneamente, creando un effetto simile a una coda di sirena. È utilizzata principalmente nel nuoto sincronizzato, nell'apnea dinamica e nel freediving competitivo. La monopinna richiede una tecnica particolare, che coinvolge il movimento ondulatorio del corpo, simile a quello di un delfino.

### Caratteristiche principali:

- **Larghezza della pala:** molto ampia e unica.
- **Materiali:** fibra di vetro, fibra di carbonio o materiali compositi.
- **Uso principale:** apnea dinamica, nuoto sincronizzato
- **Vantaggi:** massimizza la spinta e l'efficienza
- **Svantaggi:** richiede una tecnica avanzata e un maggiore sforzo fisico.





### 3.4 – Rappresentazione fotografica

Di seguito è riportata una riproduzione fotografica delle tipologie di pinne



Pinna Freediving



Pinna da apnea



Pinna da nuoto agonistico



Pinna da snorkeling



Monopinna



## 3.5 – Materiali

---

**L**a scelta dei materiali per le pinne da nuoto è un fattore cruciale che ha un impatto diretto sulle prestazioni, sul comfort e sulla durabilità del prodotto. Nel corso del tempo, l'evoluzione dei materiali ha contribuito a migliorare significativamente questi aspetti, passando da soluzioni inizialmente rudimentali a materiali altamente tecnologici che sfruttano le più recenti innovazioni in campo industriale. L'evoluzione ha seguito un processo di miglioramento continuo in termini di design e materiali per ottimizzare la prestazione e il comfort dell'atleta. La ricerca più recente si è concentrata su materiali leggeri e resistenti come il silicone, che offre una flessibilità superiore, e materiali compositi che combinano resistenza con leggerezza.

### Evoluzione

Le prime pinne da nuoto, sviluppate a partire dagli anni '30, erano principalmente realizzate in gomma naturale. Questo materiale veniva scelto per la sua flessibilità e capacità di resistere all'acqua, permettendo così di creare una pinna funzionale e relativamente economica. Tuttavia, la gomma naturale presentava alcune limitazioni: se esposta a temperature estreme o a condizioni ambientali avverse (sole, salsedine), tendeva a degradarsi, perdendo elasticità e robustezza.

La gomma naturale, sebbene flessibile, era anche piuttosto pesante rispetto agli standard odierni e poteva causare un certo affaticamento ai nuotatori, specie su lunghe distanze. Ciò ha spinto la ricerca verso materiali più performanti.

A partire dagli anni '50 e '60, la gomma sintetica (principalmente il neoprene e il silicone) ha iniziato a sostituire la gomma naturale. Il neoprene, noto per le sue eccellenti proprietà di resistenza agli agenti atmosferici, è diventato una scelta comune per le pinne. Essendo impermeabile e resistente alla corrosione da sale e cloro, il neoprene garantiva una maggiore durabilità rispetto alla gomma naturale.

Il silicone, invece, è stato introdotto per migliorare ulteriormente il comfort e la flessibilità. Essendo ipoallergenico, più morbido e piacevole al tatto, veniva usato per le tasche in cui si inseriscono i piedi, riducendo le irritazioni cutanee e aumentando la comodità. Inoltre, il silicone si caratterizza per una maggiore elasticità, consentendo alla pinna di offrire una spinta più fluida e continua.

Negli ultimi decenni, con l'evoluzione delle tecnologie di produzione, l'industria delle pinne da nuoto ha iniziato a utilizzare materiali compositi e termoplastici. Tra questi, il più diffuso è il polipropilene (PP), un materiale plastico rigido, leggero, ma altamente resistente agli urti e alla deformazione. Il polipropilene permette di creare pinne

rigide ma leggere, ideali per la velocità e le immersioni a profondità maggiori, dove è richiesta una maggiore resistenza.

Un altro materiale innovativo è il poliuretano termoplastico (TPU), che si è diffuso per la sua eccezionale combinazione di flessibilità e robustezza. Il TPU offre una resistenza all'abrasione maggiore rispetto ad altri elastomeri e mantiene la sua integrità in un ampio range di temperature, facendo sì che le pinne possano essere utilizzate in condizioni climatiche variabili.

Molti produttori adottano anche materiali compositi che combinano plastica e fibre di vetro o carbonio. Le fibre di vetro aumentano la rigidità della pinna senza appesantirla, migliorando la trasmissione della forza dal piede all'acqua. Le fibre di carbonio, ancora più leggere e rigide, vengono utilizzate per modelli altamente performanti, pensati per nuotatori professionisti o per attività di apnea e immersioni tecniche, dove la spinta e la resistenza sono parametri fondamentali.

Con l'aumentare della sensibilità verso l'ambiente, molti produttori stanno investendo in materiali più eco-sostenibili. Alcune aziende stanno sperimentando l'uso di gomma riciclata o bioplastiche derivate da fonti rinnovabili come l'amido di mais o il PLA (acido polilattico). Sebbene queste soluzioni siano ancora in fase di sviluppo e meno diffuse nel mercato di massa, rappresentano un passo verso una produzione più ecologica e responsabile.

Un'altra innovazione interessante è l'utilizzo di tecnologie di stampa 3D per la prototipazione e la produzione di pinne personalizzate. La stampa 3D permette di utilizzare materiali plastici e termoplastici avanzati con una precisione superiore, permettendo di progettare pinne altamente personalizzate in base alle esigenze anatomiche o alle preferenze di nuoto dell'utente.

## Materiali tradizionali

Le prime pinne erano realizzate in gomma naturale, un materiale elastico e resistente all'acqua. Ha il vantaggio di essere flessibile e confortevole, ma può risultare pesante e soggetta a deformazioni.

**1. Gomma:** Un materiale ampiamente utilizzato per le pinne da nuoto tradizionali grazie alla sua flessibilità e durabilità. Offre una buona resistenza alla corrosione e all'usura, ma può risultare pesante rispetto ad alternative più moderne.

**2. Plastica:** Spesso utilizzata per pinne economiche o leggere, la plastica offre una certa rigidità, ma può essere meno resistente e confortevole rispetto alla gomma. Tuttavia, la plastica modellabile tramite stampa 3D può essere ottimizzata in termini di peso e resistenza.

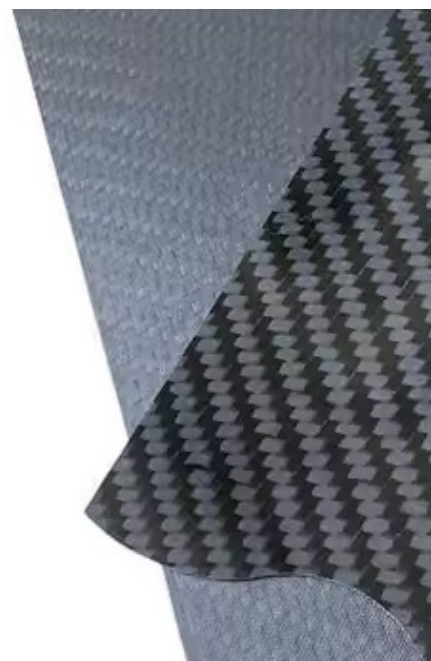
## Materiali innovativi

Una delle aree di maggiore sviluppo è quella legata all'introduzione di materiali innovativi che migliorano le prestazioni e la durabilità delle pinne da nuoto.

I materiali tradizionali, come la gomma naturale e il silicone, pur rimanendo in uso, sono stati affiancati o sostituiti da nuovi materiali tecnologicamente più avanzati.

**1. Fibra di carbonio:** Le pinne in fibra di carbonio rappresentano una delle principali innovazioni per quanto riguarda le prestazioni avanzate. La fibra di carbonio offre un'eccellente rigidità combinata a una leggerezza estrema, due caratteristiche fondamentali per garantire una trasmissione ottimale della forza senza causare affaticamento muscolare.

Le pinne realizzate in carbonio vengono spesso utilizzate in attività professionali come l'apnea e le immersioni tecniche, dove ogni movimento deve essere efficiente e preciso. Grazie alla loro resistenza alla corrosione e alla deformazione, queste pinne offrono anche una durabilità molto superiore rispetto a quelle in materiali tradizionali.





**2. Materiali compositi:** Oltre alla fibra di carbonio, sono emersi materiali compositi che combinano plastiche ad alta resistenza con fibre di vetro o di altri materiali. Questi compositi permettono di ottenere pinne con una rigidità modulabile, rendendole più flessibili o rigide a seconda delle esigenze. Le fibre di vetro, ad esempio, sono più accessibili dal punto di vista economico rispetto al carbonio e offrono una buona rigidità senza aumentare troppo il peso complessivo della pinna.

**3. Elastomeri termoplastici (TPE):** Gli elastomeri termoplastici stanno rivoluzionando il settore grazie alla loro flessibilità, resistenza e capacità di mantenere la forma anche sotto stress meccanici prolungati. Il TPE è spesso utilizzato nelle tasche per i piedi e nelle alette laterali delle pinne, garantendo comfort e una migliore adattabilità alla morfologia del piede. Inoltre, gli elastomeri termoplastici sono riciclabili, contribuendo così a una maggiore sostenibilità ambientale, un fattore sempre più importante per i produttori.

Molti produttori adottano anche materiali compositi che combinano plastica e fibre di vetro o carbonio. Le fibre di vetro aumentano la rigidità della pinna senza appesantirla, migliorando la trasmissione della forza dal piede all'acqua. Le fibre di carbonio, ancora più leggere e rigide, vengono utilizzate per modelli altamente performanti, pensati per nuotatori professionisti o per attività di apnea e immersioni tecniche, dove la spinta e la resistenza sono parametri fondamentali.

## Materiali sostenibili

Con l'aumentare della sensibilità verso l'ambiente, molti produttori stanno investendo in materiali più eco-sostenibili. Alcune aziende stanno sperimentando l'uso di gomma riciclata o bioplastiche derivate da fonti rinnovabili come l'amido di mais o il PLA (acido polilattico). Sebbene queste soluzioni siano ancora in fase di sviluppo e meno diffuse nel mercato di massa, rappresentano un passo verso una produzione più ecologica



# 50-70%

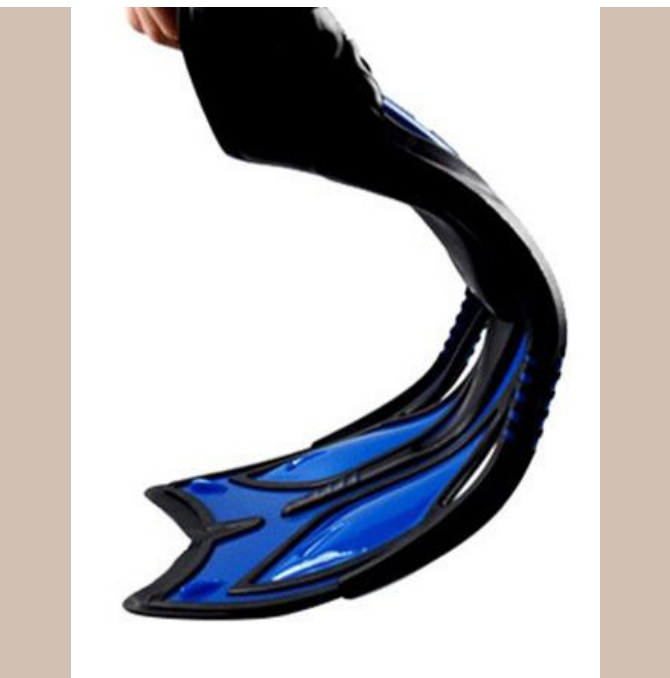
FIBRA DI CARBONIO O VETRO: USATI PER LA LAMA RIGIDA

ELASTOMERI TERMOPLASTICI (TPE) O SILICONE: PER LA SCARPETTA E LE PARTI MORBIDE

# Focus sui materiali

- Pinne per snorkeling e apnea: queste pinne tendono a essere più lunghe e rigide, spesso realizzate in materiali come il polipropilene o la fibra di vetro/carbonio per garantire una spinta efficiente. I materiali compositi qui sono essenziali per bilanciare leggerezza e rigidità.
- Pinne per nuoto in piscina: sono solitamente più corte e realizzate in silicone o TPU, che offrono un'ottima combinazione di comfort e flessibilità, ideali per migliorare la tecnica senza affaticare troppo le gambe.
- Pinne regolabili per immersioni: queste pinne devono essere resistenti e regolabili, spesso costruite con un mix di plastica rigida per la lama e silicone per le cinghie, garantendo durevolezza e una vestibilità ottimale.







## 3.6 – Produzione

---

**L**a loro produzione ha subito un'evoluzione significativa nel corso del tempo, passando da tecniche artigianali a processi di produzione altamente tecnologici. Parallelamente, i materiali utilizzati si sono trasformati in risposta alle esigenze di mercato, alla ricerca di maggiore comfort, resistenza e prestazioni.

### Dalle prime pinne fino ai giorni d'oggi

Le prime pinne da nuoto si idearono nel XIX secolo, ma fu nel 1933 che l'ufficiale di marina francese Louis de Corlieu perfezionò il concetto, brevettando i primi "propulsori per i piedi". In questa fase iniziale, i prototipi si realizzavano in gomma naturale, materiale facilmente accessibile e flessibile, che consentiva una discreta trasmissione della forza. Tuttavia, si riscontrava una rapida degradazione dovuta alla continua esposizione al sole e all'acqua salata, mentre il peso eccessivo rendeva l'utilizzo meno confortevole sulle lunghe distanze. Le pinne venivano concepite principalmente per il nuoto e per le immersioni, e la loro produzione avveniva in modo artigianale, attraverso tecniche di stampaggio semplici che non garantivano un elevato controllo della qualità né della precisione delle forme. A partire dalla metà del XX secolo, con l'introduzione della plastica e dei polimeri sintetici, la produzione delle pinne si trasformò radicalmente. Materiali come il neoprene e il silicone iniziarono a diffondersi grazie alle migliori proprietà meccaniche rispetto alla gomma naturale. Il silicone offriva maggiore elasticità, comfort e resistenza all'abrasione, risultando al contempo ipoallergenico, mentre il neoprene, noto per la resistenza agli agenti atmosferici, garantiva maggiore durabilità in ambiente marino. In questo periodo, la produzione si orientò verso lo stampaggio a iniezione, processo che permetteva di realizzare forme più complesse e



uniformi. La tecnica prevedeva il riscaldamento della plastica o del silicone fino allo stato liquido e la loro successiva iniezione all'interno di uno stampo: una volta raffreddato, il materiale assumeva la forma desiderata con elevata precisione dei dettagli. Negli anni Ottanta si introdussero gli elastomeri termoplastici (TPE), che segnarono una nuova fase di evoluzione. Questi materiali combinavano flessibilità e resistenza, consentendo la realizzazione di pinne meglio adattabili al piede del nuotatore, riducendo l'affaticamento muscolare e migliorando la trasmissione della forza. Dagli anni Novanta, la ricerca si orientò verso l'impiego di materiali compositi avanzati, come i polimeri rinforzati con fibre di vetro e, successivamente, la fibra di carbonio. Quest'ultima, in particolare, risultava apprezzata per la capacità di trasmettere la forza dal piede all'acqua senza deformazioni significative, garantendo così una spinta superiore a ogni battuta di gambe e riducendo la fatica del nuotatore. La produzione di pinne in fibra di carbonio richiedeva tecniche sofisticate, come la laminazione manuale o l'iniezione a vuoto, che permettevano di stratificare i materiali compositi e di modulare la rigidità senza compromettere la flessibilità nelle zone necessarie. Parallelamente, si introdussero pinne modulari o personalizzabili, nelle quali componenti come la pala e la scarpetta potevano essere assemblati separatamente, offrendo maggiore versatilità e adattabilità a differenti condizioni d'uso. Negli ultimi anni, le tecnologie produttive hanno beneficiato dell'avvento della stampa 3D e del taglio laser. La stampa 3D ha permesso di sviluppare design personalizzati e prototipi rapidi, favorendo l'esplorazione di nuove geometrie idrodinamiche e riducendo tempi e costi di sviluppo. Il taglio laser, invece, ha trovato applicazione nella lavorazione di materiali rigidi e compositi come la fibra di carbonio, garantendo un'elevata precisione e la possibilità di ottenere geometrie complesse senza compromettere le proprietà strutturali. L'innovazione nei processi e nei materiali ha aperto la strada anche alla progettazione di pinne con strutture biomimetiche, ispirate a organismi marini quali pesci e cetacei. Alcuni modelli moderni presentano, ad esempio, superfici zigurate o microstrutture simili alla pelle degli squali, con l'obiettivo di ridurre la resistenza idrodinamica e migliorare l'efficienza propulsiva.

## 3.7 – Tecniche di stampa

---

### Stampaggio a iniezione

Lo stampaggio a iniezione è una delle tecniche più comuni per la produzione di pinne da nuoto, soprattutto quando si utilizzano materiali come plastica, gomma termoplastica (TPR) o silicone. Il processo prevede il riscaldamento del materiale fino a renderlo fluido e la sua iniezione in uno stampo che ne definisce la forma. Una volta raffreddato, il prodotto prende la forma finale della pinna. Questa tecnica è particolarmente indicata per produzioni di massa grazie alla sua velocità e alla possibilità di ottenere dettagli precisi. Tuttavia, il costo iniziale per la realizzazione degli stampi può essere elevato, rendendola meno vantaggiosa per piccole produzioni.

### Stampaggio a compressione

Lo stampaggio a compressione viene spesso utilizzato per materiali come la gomma naturale o sintetica, e in alcuni casi anche per compositi in fibra di carbonio. Il materiale viene posizionato in uno stampo riscaldato e chiuso con pressione, permettendo al materiale di riempire la cavità dello stampo. Questo metodo è ideale per creare pinne elastiche e resistenti, soprattutto per usi intensivi come immersioni o apnea. Tuttavia, è un processo più lento rispetto allo stampaggio a iniezione e richiede stampi personalizzati, il che può aumentare i costi per piccole produzioni.

### Laminazione di fibra di vetro o carbonio

Questa tecnica è comunemente utilizzata per pinne da apnea o immersioni professionali, dove leggerezza e resistenza sono essenziali. Le fibre di vetro o carbonio vengono stratificate e impregnate di resina, quindi lasciate indurire in uno stampo. La stratificazione permette di regolare la rigidità della pinna a seconda delle necessità. Anche se offre eccellenti prestazioni, questo metodo è più costoso e richiede un processo manuale, rendendolo adatto solo a produzioni limitate o specialistiche.

### Stampaggio a soffiaggio

Utilizzato prevalentemente per pinne economiche e leggere, come quelle da snorkeling, il stampaggio a soffiaggio prevede il riscaldamento della plastica (spesso polietilene) e la sua espansione in uno stampo mediante aria compressa. Il risultato è una pinna cava e leggera, ideale per usi ricreativi. Sebbene sia una tecnica economica e adatta a grandi volumi di produzione, non è indicata per pinne da alte prestazioni.

### Produzione additiva (stampa 3D)

La stampa 3D sta emergendo come una tecnologia utile per la prototipazione e la produzione di piccole serie di pinne da nuoto. Si possono usare materiali come nylon, TPU (poliuretano termoplastico) o resine fotopolimeriche per creare modelli tridimensionali complessi. La stampa 3D consente di realizzare design personalizzati e parametrici con facilità, ma è meno indicata per la produzione di massa a causa dei tempi più lunghi e della minore resistenza dei materiali rispetto a tecniche industriali tradizionali.

### Stampaggio a rotazione

In questo processo, la plastica viene riscaldata e distribuita all'interno di uno stampo rotante, formando oggetti cavi. Questa tecnica viene utilizzata per produrre pinne resistenti e leggere, ideali per usi ricreativi. Sebbene lo stampaggio rotazionale sia meno preciso rispetto ad altre tecniche, è comunque adatto per la creazione di pinne robuste. Tuttavia, il processo è relativamente lento, quindi non è l'ideale per produzioni ad alto volume.





## Fustellatura e incollaggio

Le pinne in neoprene o altri materiali morbidi vengono spesso realizzate con una combinazione di fustellatura e incollaggio. Le parti della pinna vengono tagliate da fogli di materiale (come il neoprene), quindi assemblate mediante incollaggio o cucitura. Questo processo è comune per pinne morbide, come quelle integrate nei calzari da immersione. È un metodo relativamente economico per piccole produzioni e offre comfort all'utente, ma non è adatto per pinne rigide e performanti.

## Lavorazione a controllo numerico (CNC)

La lavorazione CNC permette di creare pinne da un blocco solido di materiale, solitamente plastica o metallo, mediante l'uso di macchine controllate da computer. Anche se poco utilizzata per le pinne da nuoto di consumo, questa tecnica può essere sfruttata per prototipi personalizzati o modelli avanzati, grazie alla sua precisione. Tuttavia, il costo e i tempi di produzione rendono questa tecnica più adatta per piccole serie o progetti sperimentali.

Le diverse tecniche di produzione delle pinne da nuoto rispondono a esigenze specifiche in termini di materiali, prestazioni e costi. Dallo stampaggio a iniezione per le produzioni di massa alla stampa 3D per la prototipazione rapida e personalizzata, la scelta del metodo più adatto dipende dal tipo di pinna, dall'utilizzo finale e dal budget di produzione.

**Lunghezza MAX Pala**

**Larghezza MAX Pala**

**Larghezza MIN Pala**

**Spessore MAX Pala**

**Spessore MIN Pala**

Allenamento nuovo agonistico

SILICONE E GOMMA

Stampaggio a iniezione

Aumentano la frequenza della gambata, rafforzando la muscolatura

20 cm

15 cm

10 cm

0,4 cm

0,2 cm



**PALA  
CORTA**

Apnea , Snorkling

GOMMA E FIBRA DI CARBONIO E VETRO

Stampaggio o fusione

Maggior propulsione con minor frequenza di gambata

40 cm

20 cm

15 cm

0,8 cm

0,2 cm



**PALA  
LUNGA**

Immersibilizzanti

PLASTICO E GOMMA

Stampaggio + assottigliamento

Adattabilità a tutti i tipi di nuoto

40 cm

20 cm

15 cm

0,8 cm

0,2 cm



**PALA  
REGOLABILE**

| Immersioni creative                                                                           | Apnea o nuoto agonistico a delfino                                                                                                                                                 | Immersioni subacquee                                                                                                                                              | Gare e allenamento agonistico                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div> <div> PALA + PALA IN<br/> SILICONE </div> <div> Stampaggio<br/> embagggio </div> </div> | <div> <div>SILICONE E<br/>GOMMA</div> <div> Stratificazione com-<br/> posita + stampaggio </div> <div> Altissima propulsione,<br/> richiede tecnica speci-<br/> fica </div> </div> | <div> <div>SILICONE E<br/>GOMMA</div> <div> Stampaggio<br/> a iniezione </div> <div> Riduzione della fatis-<br/> ca, meno prestanti in<br/> piscina </div> </div> | <div> <div>SILICONE AD<br/>ALTA DENSITÀ</div> <div> Stampaggio </div> <div> Ottime per la velocità<br/> di frequenza </div> </div> |
| 0 cm                                                                                          | 80 cm                                                                                                                                                                              | 35 cm                                                                                                                                                             | 20 cm                                                                                                                              |
| cm                                                                                            | 70 cm                                                                                                                                                                              | 20 cm                                                                                                                                                             | 20 cm                                                                                                                              |
| 5 cm                                                                                          | 40 cm                                                                                                                                                                              | 15 cm                                                                                                                                                             | 12 cm                                                                                                                              |
| 5 cm                                                                                          | 0,6 cm                                                                                                                                                                             | 0,5 cm                                                                                                                                                            | 0,4 cm                                                                                                                             |
| 2 cm                                                                                          | 0,2 cm                                                                                                                                                                             | 0,2 cm                                                                                                                                                            | 0,2 cm                                                                                                                             |
|              |                                                                                                 |                                                                               |                                               |
| CON CINGHIA                                                                                   | MONO-PINNA                                                                                                                                                                         | SPLIT - PALA DIVISA                                                                                                                                               | ALLENAMENTO                                                                                                                        |



# 1

PINNE DA NUOTO  
PER PRINCIPIANTI

Bordo anteriore  
arrotondato

SILICONE E  
GOMMA

Stampaggio  
a iniezione

Aumentano la frequen-  
za della gambata, raf-  
forzando la muscolatura



PUNTA  
TONDA

# 2

PINNE AGONISTICHE  
DA ALLENAMENTO

Taglio netto e piatto

GOMMA E FIBRA DI  
CARBONIO E VETRO

Stampaggio  
o fusione

Maggior propulsione  
con minor frequenza di  
gambata



PUNTA  
QUADRATA

# 3

PINNE DA NUOTO  
AGONISTICO

Sagomatura cen-  
trale a forma di V

SILICONE

Stampaggio

Usate in piscina, per  
allenamenti su velocità



PUNTA  
A V

# 4

PINNE CON PUN-  
TA RIGIDA

Profili curvi o  
ondulati

POLIMERI AD  
ALTA RESISTENZA

Stratificazione com-  
posita + stampaggio

Usate in acque libere,  
es per snorkeling



# PALA ONDULATA

# 5

PINNE PROFES-  
SIONALI

Piccoli binari in  
rilievo ai lati

SILICONE  
MORBIDO

Stampaggio  
a iniezione

Riduzione della fati-  
ca, meno prestanti in  
piscina



# PALA CON CANALI LATERALI

# 6

PINNE DA  
SNORKELING

Bordo terminale  
più sottile

SILICONE AD  
ALTA DENSITÀ

Stampaggio + inserti compositi

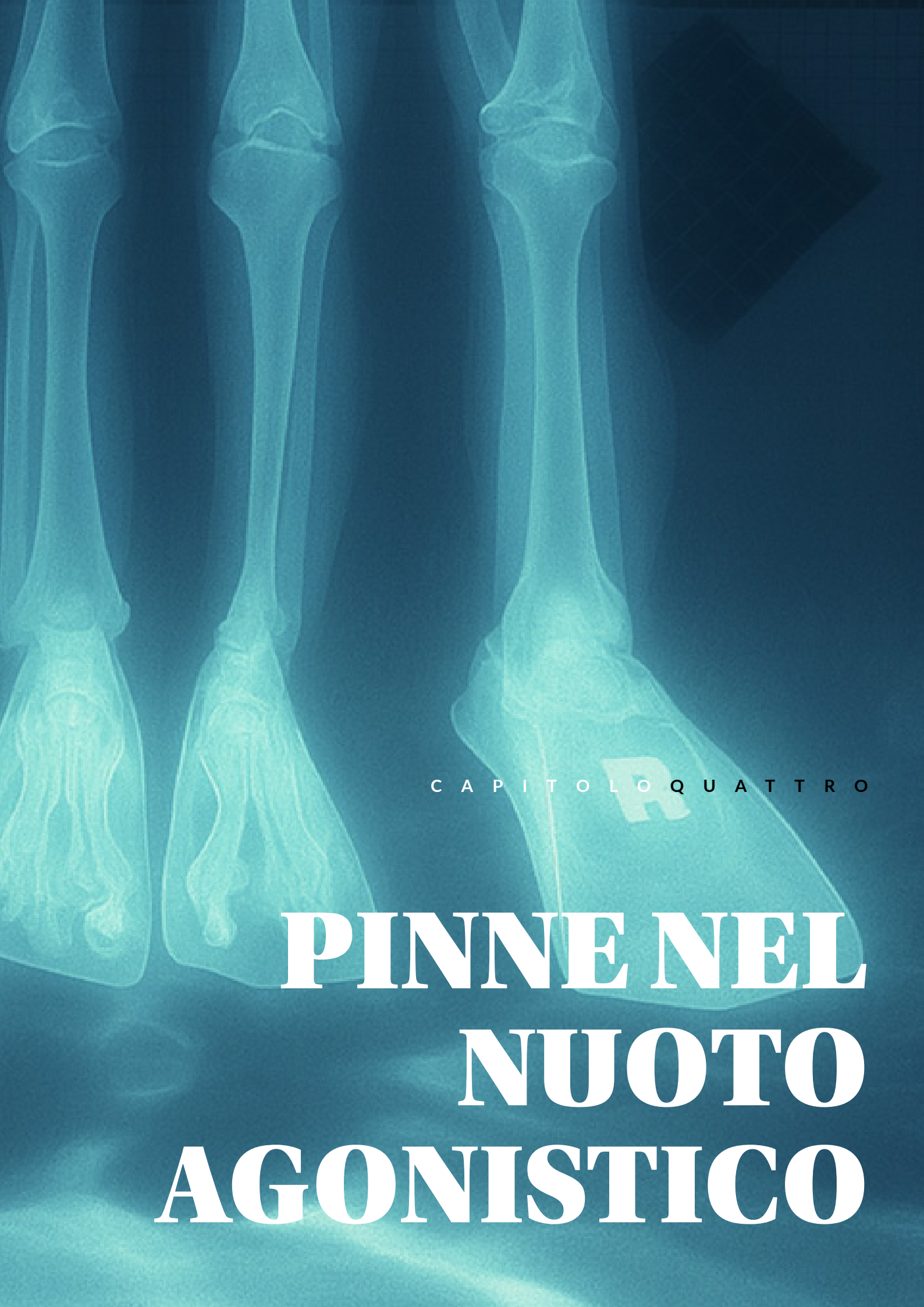
Ottime per la velocità  
di frequenza



# PALA CON ESTREMITÀ FLESSIBILE



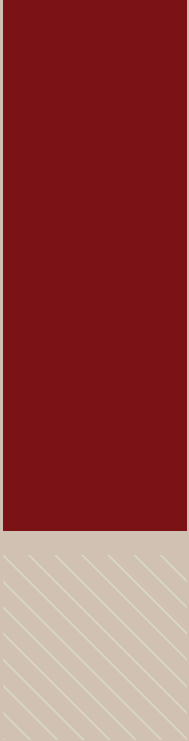


The background of the entire page is a teal-colored X-ray image of three human legs from the knees down to the feet. The bones are clearly visible in a lighter shade of teal. On the rightmost leg, there is a faint, semi-transparent letter 'R' on the foot. In the top right corner, there is a dark, semi-transparent shield-like shape with a grid pattern inside.

C A P I T O L O Q U A T T R O

# PINNE NEL NUOTO AGONISTICO





## 4.1 – Definizione

---

*Una pinna per il nuoto agonistico è un attrezzo utilizzato per aumentare la velocità e la potenza del nuotatore durante l'allenamento o la competizione. È progettata per migliorare l'efficienza della nuotata, consentendo al nuotatore di concentrarsi sulla tecnica e sulla forza delle gambe.*

## 4.2 – Cenni storici

---

**L**e pinne da nuoto hanno origini antiche e il loro sviluppo è stato influenzato dall'osservazione della natura e dal desiderio umano di migliorare la propria capacità di muoversi in acqua. Le prime forme rudimentali di pinne risalgono al XVIII secolo, con invenzioni documentate di dispositivi ispirati alle zampe di animali marini. Benjamin Franklin, nel 1717, progettò un paio di palette di legno da indossare sulle mani e sui piedi per aumentare la velocità in acqua. Tuttavia, l'uso delle pinne per il nuoto sportivo e agonistico iniziò a diffondersi solo nel XX secolo. Nel corso del XIX e XX secolo, esploratori e militari svilupparono pinne in gomma per immersioni e attività subacquee. Il pioniere Louis de Corlieu brevettò nel 1933 un modello di pinne in gomma naturale, che divenne un punto di riferimento per l'industria delle attrezzature subacquee. Negli anni successivi, il design delle pinne si evolse per soddisfare le esigenze specifiche di nuotatori, subacquei e atleti.



## 4.3 – Evoluzione pinne da nuoto agonistico

**L**e pinne da nuoto dedicate al settore agonistico iniziarono a svilupparsi intorno alla metà del XX secolo, con un focus crescente sulle prestazioni e sull'idrodinamica. L'uso di materiali sintetici leggeri e resistenti, come il silicone e il policarbonato, ha contribuito a migliorare l'efficienza delle pinne, riducendo la fatica muscolare e aumentando la propulsione.

Negli anni '60 e '70, le pinne corte furono introdotte per il nuoto competitivo, consentendo agli atleti di allenare la cadenza della gambata e la forza delle gambe senza alterare eccessivamente la tecnica natatoria. Negli anni '80 e '90, le aziende leader del settore, come Speedo e Arena, svilupparono modelli sempre più performanti, basandosi su studi biomeccanici per ottimizzare la resistenza e la velocità in acqua.

Un cambiamento significativo si ebbe con l'introduzione del design ergonomico e delle pinne con angolazioni specifiche per migliorare la propulsione. Questo portò alla creazione di pinne specializzate per differenti stili di nuoto e allenamenti mirati. Con l'aumento dell'interesse per la biomeccanica, le pinne da allenamento iniziarono a essere progettate per massimizzare lo sviluppo muscolare e il controllo del movimento.



## 4.4 – Principali innovazioni nel tempo

---

**L**e innovazioni più rilevanti nella storia delle pinne da nuoto includono:

**1. Introduzione di materiali avanzati:** Il passaggio dalla gomma naturale al silicone ha permesso una maggiore durata e comfort, riducendo il rischio di irritazioni cutanee.

**2. Sviluppo delle pinne corte:** Fondamentali per l'allenamento, migliorano la velocità di esecuzione della gambata e la potenza muscolare.

**3. Design con angolazione ottimizzata:** Le pinne moderne presentano inclinazioni studiate per migliorare la propulsione senza affaticare eccessivamente i muscoli.

**4. Bordi laterali rinforzati:** L'inserimento di rinforzi laterali permette un migliore controllo della stabilità e un'efficace canalizzazione del flusso d'acqua.

**5. Uso di tecnologie di simulazione e stampa 3D:** Gli ultimi anni hanno visto un crescente utilizzo di software di modellazione e test in galleria del vento per perfezionare le prestazioni idrodinamiche.

L'evoluzione delle pinne da nuoto ha seguito il progresso tecnologico e scientifico, con un'attenzione sempre maggiore verso la personalizzazione e l'adattabilità alle esigenze specifiche degli atleti. Oggi, le pinne rappresentano uno strumento fondamentale per il miglioramento delle prestazioni nel nuoto agonistico, con continue ricerche per perfezionarne ulteriormente design e materiali.

## 4.5 – Anatomia e funzionamento delle pinne

---

Le pinne da nuoto sono composte da elementi specifici che influenzano la loro funzionalità e l'impatto sulla nuotata dell'atleta.

Ogni componente svolge un ruolo fondamentale nella distribuzione delle forze e nella generazione della propulsione in acqua.

La pala è la parte estesa della pinna e rappresenta l'elemento principale responsabile della propulsione. La sua rigidità e flessibilità determinano il livello di resistenza opposta all'acqua e la conseguente efficacia della spinta. Le pale più rigide consentono una maggiore trasmissione di potenza, ma affaticano più rapidamente i muscoli delle gambe, mentre le pale più morbide offrono una resistenza minore, rendendo più fluido e continuo il movimento. La scarpetta è la sezione in cui viene alloggiato il piede dell'atleta. Il design della scarpetta è determinante per garantire comfort, stabilità ed efficienza nella trasmissione dell'energia. Un'aderenza ottimale riduce lo spreco di forza e migliora il controllo del movimento, mentre una scarpetta poco ergonomica può causare attriti e disagi durante l'allenamento o la competizione. I bordi laterali delle pinne svolgono una funzione

di stabilizzazione e direzionalità. Questi elementi strutturali influenzano il flusso dell'acqua intorno alla pala e determinano il grado di dispersione della forza impressa dall'atleta. Alcune pinne moderne presentano rinforzi laterali progettati per ottimizzare l'idrodinamica e minimizzare le turbolenze indesiderate. L'angolazione della pala rispetto al piede è un altro aspetto cruciale nel design delle pinne. Un'inclinazione studiata permette di ridurre la fatica muscolare e di massimizzare la spinta in avanti. Le pinne tradizionali presentano un angolo neutro, mentre le versioni più avanzate utilizzano angolazioni specifiche per migliorare l'efficacia della gambata in funzione dello stile di nuoto praticato.

La pala è la parte estesa della pinna e rappresenta l'elemento principale responsabile della propulsione. La sua rigidità e flessibilità determinano il livello di resistenza opposta all'acqua e la conseguente efficacia della spinta.

Le pale più rigide consentono una maggiore trasmissione di potenza, ma affaticano più rapidamente i muscoli delle gambe, mentre le pale più morbide offrono una resistenza minore, rendendo più fluido e continuo il movimento.

La scarpetta è la sezione in cui viene alloggiato il piede dell'atleta. Il design della scarpetta è determinante per garantire comfort, stabilità ed efficienza nella trasmissione dell'energia.

Un'aderenza ottimale riduce lo spreco di forza e migliora il controllo del movimento, mentre una scarpetta poco ergonomica può causare attriti e disagi durante l'allenamento o la competizione.

I bordi laterali delle pinne svolgono una funzione di stabilizzazione e direzionalità. Questi elementi strutturali influenzano il flusso dell'acqua intorno alla pala e determinano il grado di dispersione della forza impressa dall'atleta.

Alcune pinne moderne presentano rinforzi laterali progettati per ottimizzare l'idrodinamica e minimizzare le turbolenze indesiderate. L'angolazione della pala rispetto al piede è un altro aspetto cruciale nel design delle pinne. Un'inclinazione studiata permette di ridurre la fatica muscolare e di massimizzare la spinta in avanti. Le pinne tradizionali presentano un angolo neutro, mentre le versioni più avanzate utilizzano angolazioni specifiche per migliorare l'efficacia della gambata in funzione dello stile di nuoto praticato.

## Effetti biomeccanici e idrodinamici sull'atleta

L'uso delle pinne agonistiche modifica sensibilmente la dinamica della nuotata, poiché altera il modo in cui i muscoli delle gambe vengono sollecitati e influenza la resistenza idrodinamica del corpo in acqua. Uno degli effetti principali dell'utilizzo delle pinne è il miglioramento





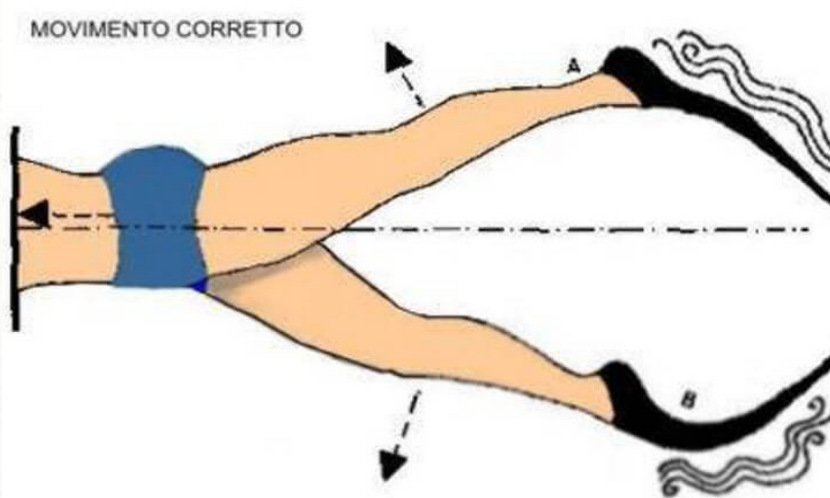
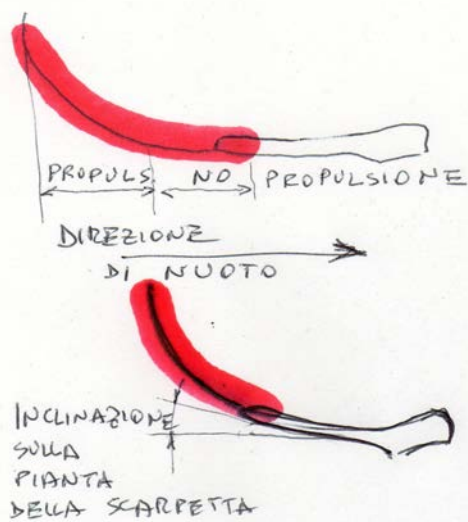
della propulsione, dovuto all'aumento della superficie di spinta offerta dalla pala. Questo comporta una riduzione dello sforzo necessario per mantenere velocità elevate, permettendo agli atleti di focalizzarsi sulla tecnica e sulla respirazione.

Dal punto di vista muscolare, le pinne corte tendono a enfatizzare l'attivazione della muscolatura del polpaccio e del quadricipite, poiché richiedono una frequenza di battuta maggiore. Questo tipo di pinne viene spesso utilizzato negli allenamenti mirati allo sviluppo della forza esplosiva e della coordinazione.

Le pinne lunghe, invece, stimolano maggiormente i muscoli posteriori della coscia e i glutei, consentendo una spinta più ampia e potente, ma con una frequenza di battuta inferiore.

L'utilizzo prolungato delle pinne lunghe porta a un maggiore sviluppo della resistenza muscolare, poiché richiedono un impegno più intenso per ogni movimento.

L'interazione tra pinne e acqua è determinata anche dalla distribuzione delle forze e dalla capacità di canalizzazione del flusso idrodinamico.



Alcuni modelli incorporano scanalature o aperture sulla pala per ottimizzare la fluidità del movimento ed evitare eccessivi accumuli di resistenza negativa. Un aspetto da considerare è il potenziale stress articolare che l'uso delle pinne può comportare. Se non progettate correttamente, le pinne possono aumentare la sollecitazione su caviglie, ginocchia e anche, specialmente in atleti che non hanno una buona mobilità articolare. Per questo motivo, la scelta della tipologia di pinne deve essere basata sulle esigenze individuali e sugli obiettivi di allenamento.

## Differenze funzionali tra pinne corte e lunghe

Le pinne corte e lunghe sono concepite per rispondere a necessità diverse in termini di allenamento e prestazioni.

Le pinne corte sono generalmente utilizzate negli esercizi mirati alla velocità e alla tecnica. Consentono una maggiore cadenza della gambata e favoriscono una spinta più continua e controllata. Per questo motivo, sono spesso impiegate nei programmi di allenamento per il potenziamento delle gambe e per migliorare la coordinazione tra battuta di gambe e movimenti delle braccia.

Le pinne lunghe, invece, sono progettate per ottimizzare la spinta e la resistenza. Grazie alla maggiore superficie della pala, consentono un movimento più potente, ma richiedono una cadenza inferiore rispetto alle pinne corte.

Questi modelli sono particolarmente indicati per gli atleti che necessitano di aumentare la forza e la capacità polmonare, poiché favoriscono un maggiore impegno aerobico e anaerobico. Un ulteriore fattore distintivo è l'impatto sulla tecnica di nuoto.

Le pinne corte tendono a mantenere un assetto corporeo più naturale e simile a quello della nuotata senza attrezzi, mentre le pinne lunghe possono alterare la meccanica del movimento, rendendo necessaria una maggiore attenzione nell'adattamento della postura e della frequenza della gambata.

L'evoluzione del design delle pinne ha permesso di affinare sempre più questi aspetti, con soluzioni ibride che cercano di combinare i vantaggi di entrambi i modelli. Alcune pinne di ultima generazione adottano una struttura semi-rigida e un'inclinazione della pala studiata per offrire un equilibrio tra spinta e frequenza ottimale, adattandosi alle diverse esigenze degli atleti.

## Differenze nelle punte di pala delle pinne

Le punte delle pinne sono progettate in vari modi per ottimizzare diversi aspetti della nuotata.

Le principali differenze nel design delle punte delle pinne includono:

### Punta Curva

**Caratteristiche:** La punta curva ha una forma che segue una linea morbida, che consente al piede di muoversi con maggiore fluidità durante la gambata.

**Benefici:** Riduce la resistenza dell'acqua e consente un movimento più naturale del piede. È particolarmente utile per migliorare la tecnica della gambata senza esagerare con la potenza.

**Quando sceglierla:** Ideale per allenamenti tecnici e per nuotatori che vogliono migliorare la fluidità del movimento in acqua, senza compromettere troppo la velocità.

### Punta Allungata

**Caratteristiche:** La punta allungata consente di aumentare la superficie di spinta, permettendo una maggiore velocità e potenza durante l'allenamento.

**Benefici:** Permette un miglior controllo della velocità e della spinta. È particolarmente utile nelle distanze brevi, come nello stile libero sprint, dove la potenza è fondamentale.

**Quando sceglierla:** Quando l'obiettivo è migliorare la velocità massima, aumentando la spinta durante la gambata.

### Punta a V o Riflessa

**Caratteristiche:** La punta a "V" permette un migliore direzionamento della spinta, favorendo l'efficienza della gambata in fase di propulsione.

**Benefici:** Migliora il controllo e la direzione della spinta, riducendo la resistenza dell'acqua.

**Quando sceglierla:** Perfetta per allenamenti avanzati dove l'efficienza della gambata è fondamentale, in particolare per i nuotatori che cercano precisione nel movimento.





## Analisi dei fattori di idrodinamicità e di propulsione nelle pinne da nuoto

Il mercato attuale delle pinne da nuoto si concentra principalmente su fattori come la resistenza, il comfort e l'idrodinamicità.

Esistono pinne progettate per ottimizzare la potenza, la tecnica o il comfort. Il design delle pinne da nuoto è influenzato da diversi fattori idrodinamici che determinano l'efficienza dell'atleta in acqua. Questi fattori sono cruciali non solo per ottimizzare le prestazioni, ma anche per ridurre l'affaticamento e migliorare la tecnica della gambata.

La propulsione, che è la spinta generata dalle pinne in acqua, è strettamente legata all'idrodinamicità della pinna stessa, ovvero alla capacità di muoversi attraverso l'acqua con la minor resistenza possibile. Analizzare questi fattori permette di comprendere come ogni variabile influenzi la performance.

## 4.6 – Fattori di idrodinamicità

---

**L'**idrodinamicità di una pinna dipende dalla sua capacità di ridurre la resistenza durante il movimento in acqua e di ottimizzare l'efficienza energetica. I principali fattori idrodinamici da considerare sono: forma della pala, materiali, geometria e la resistenza dell'acqua.

### Forma della pala

La forma della pala della pinna è uno degli aspetti più importanti per l'idrodinamicità. La geometria della pala influisce sulla distribuzione della resistenza e sulla spinta in acqua. Le caratteristiche principali che determinano la forma ottimale sono:

- 1. Lunghezza della pala:** Più lunga è la pala, maggiore sarà la superficie di propulsione. Tuttavia, una pala troppo lunga può risultare difficile da gestire per alcuni atleti, soprattutto nei movimenti veloci, poiché aumenta la resistenza idrodinamica. Le pinne lunghe sono quindi più adatte per allenamenti di resistenza.
- 2. Superficie della pala:** Una superficie maggiore genera una maggiore resistenza all'acqua, ma allo stesso tempo fornisce una spinta maggiore. La sfida sta nel trovare il giusto equilibrio per una spinta efficiente senza compromettere la velocità.
- 3. Angolazione della pala:** L'angolo di inclinazione della pala rispetto alla caviglia e al piede è cruciale per determinare la direzione della forza generata dalla pinna. Un angolo troppo acuto può aumentare la resistenza, mentre un angolo troppo ampio riduce la spinta. L'angolo ottimale dipende dal tipo di allenamento e dalla tecnica di nuoto.

### Materiali

I materiali utilizzati per la costruzione delle pinne influenzano fortemente l'idrodinamicità. Materiali diversi offrono diverse proprietà meccaniche che alterano il comportamento in acqua:

- 1. Silicone e gomma:** Offrono una buona elasticità, che consente una flessibilità utile durante la fase di spinta della gambata, ma non sono sempre sufficientemente rigidi per generare una propulsione massimizzata in velocità.
- 2. Fibra di carbonio:** Un materiale estremamente rigido e leggero, la fibra di carbonio consente una spinta molto efficiente riducendo al minimo la resistenza. Tuttavia, pinne in fibra di carbonio possono risultare meno confortevoli per l'atleta, in quanto la rigidità riduce l'adattabilità al piede.

## Geometria

La geometria (curvatura della pala e la sua distribuzione di spinta) è fondamentale per ottimizzare la performance. Una pala che ha una forma troppo piatta o troppo concava può causare una resistenza eccessiva. In generale, pinne con una leggera curvatura o a forma di V migliorano l'efficienza della spinta.

## Resistenza del fluido e profilo idrodinamico

L'efficienza idrodinamica di una pinna è legata alla sua capacità di ridurre la resistenza che incontra quando viene spinta attraverso l'acqua. Questo si ottiene ottimizzando il profilo idrodinamico della pinna, minimizzando i vortici e le turbolenze che si formano intorno ad essa. Pinne con un profilo slanciato e un bordo d'attacco affilato generano meno resistenza rispetto a quelle con bordi più piatti e smussati.

## 4.7 – Fattori di propulsione

---

**L**a forza di propulsione è determinata dalla combinazione di variabili come la superficie della pala, la velocità dell'acqua che scorre sulla pinna, e la forza esercitata dalla gambata. Pinne con una superficie maggiore generano più spinta, ma richiedono anche maggiore energia per essere mosse in acqua. Le pinne lunghe, ad esempio, tendono a essere più adatte per un allenamento di resistenza e per migliorare la tecnica della gambata, mentre le pinne corte sono più adatte a sforzi veloci e intensi.

## Angolo di spinta

L'angolo di spinta è definito dall'orientamento della pinna rispetto al movimento del piede e alla direzione del flusso d'acqua. Un angolo di spinta più elevato (ad esempio, con una pinna inclinata verso il basso) genera una forza maggiore in avanti, ma può anche aumentare la resistenza. Un angolo di spinta più basso può ridurre la resistenza, ma la propulsione risultante sarà inferiore.

## Velocità dell'acqua e flessibilità della pinna

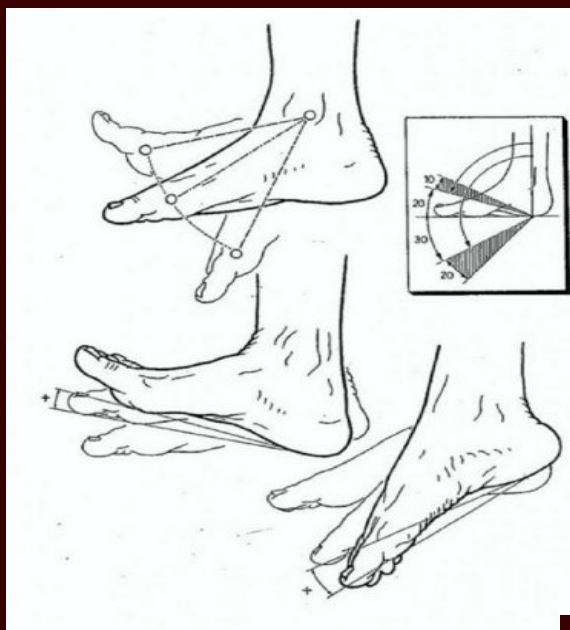
La velocità dell'acqua che scorre sulla pinna è direttamente influenzata dalla flessibilità e dalla rigidità della pinna stessa. Pinne più rigide generano una spinta maggiore durante la fase di "pushing", ma possono essere più difficili da gestire quando si cerca una transizione veloce tra



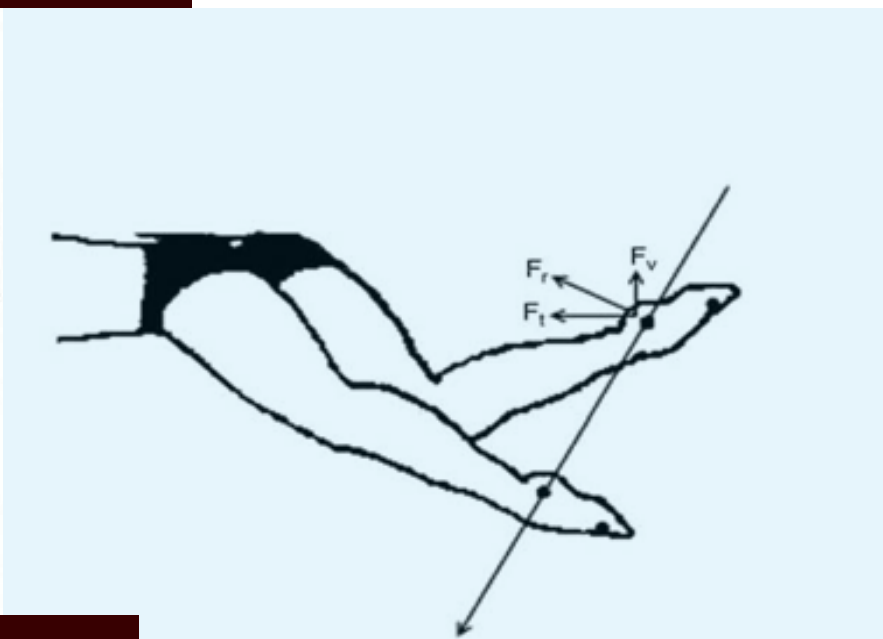
le fasi della gambata. La flessibilità, al contrario, permette una spinta più progressiva e meno aggressiva, che può essere vantaggiosa per migliorare l'efficienza della gambata in allenamento.

## Tecniche di nuoto e interazione con la pinna

La tecnica di nuoto e la sua interazione con la pinna sono determinanti nella generazione di propulsione. Una gambata ben coordinata consente di sfruttare al meglio la spinta generata dalla pinna, mentre movimenti mal eseguiti potrebbero ridurre l'efficacia della propulsione. Le pinne, quindi, non solo devono essere progettate per massimizzare la spinta, ma devono anche essere adattabili alle diverse tecniche di nuoto, come il nuoto a stile libero, il dorso, la farfalla e la rana.



**Movimento e inclinazione della caviglia durante la nuotata con la pinna**



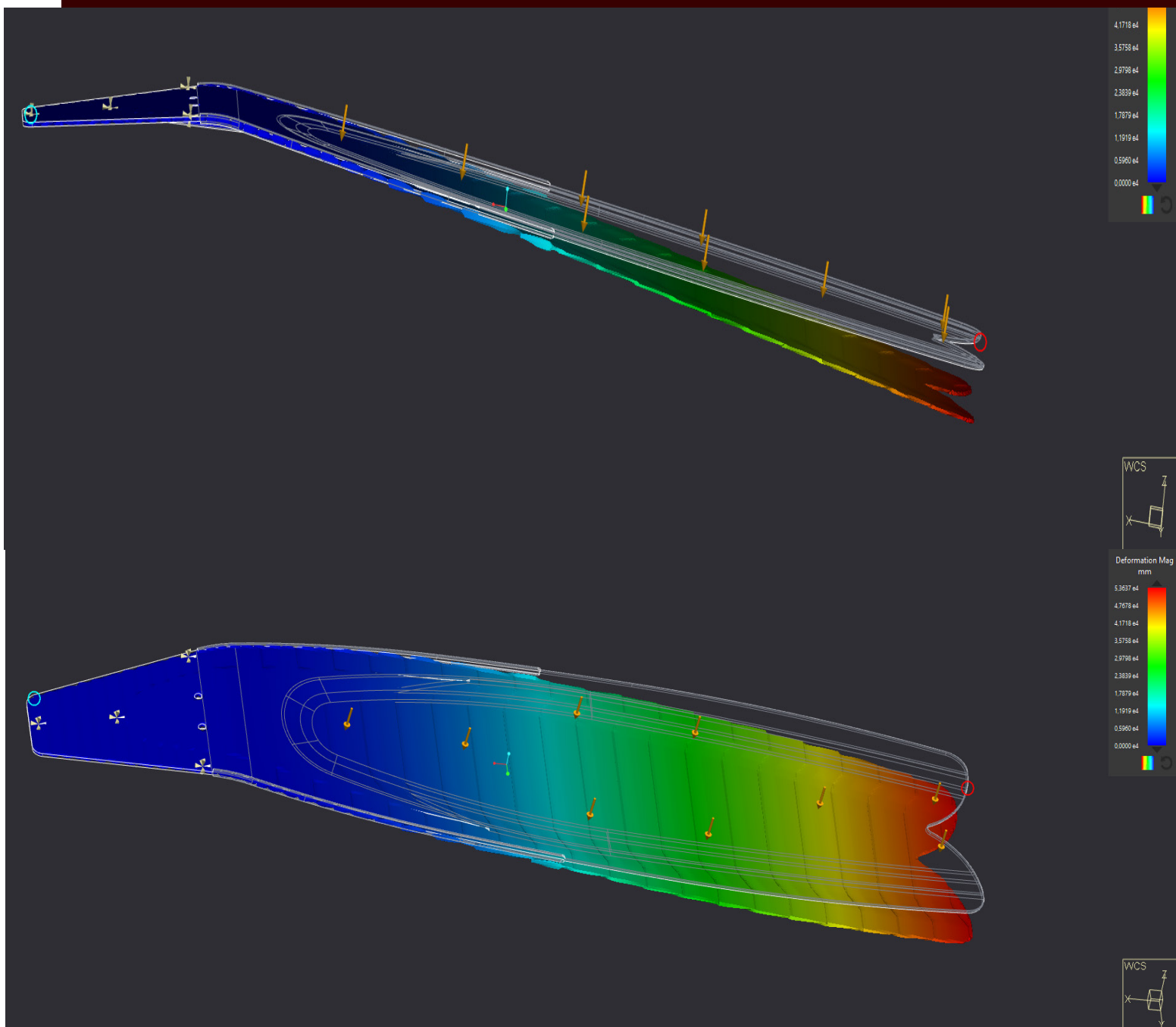
**Vettori di forza nella battuta della gambata**

La propulsione subacquea rappresenta uno degli aspetti fondamentali dell'idrodinamica applicata al movimento umano in ambiente acquatico. Nell'articolo **"La propulsione subacquea nell'uomo"** (Fontana & Natoli, SIMSI), gli autori analizzano in modo approfondito i meccanismi fisici e biomeccanici che consentono all'uomo di generare spinta sott'acqua, con particolare riferimento al nuoto pinnato e alle discipline subacquee.

Dal punto di vista fisico, la propulsione deriva dal principio di azione e reazione descritto dalla terza legge di Newton: ogni spostamento d'acqua nella direzione opposta al moto produce una forza uguale e contraria che spinge il corpo in avanti. Tale forza, detta forza propulsiva, è il risultato dell'interazione tra le superfici del corpo (o delle pinne) e il fluido circostante, e può essere scomposta in due componenti principali: la forza di portanza (lift) e la forza di resistenza (drag). La forza di portanza è generata da superfici mobili inclinate rispetto al flusso d'acqua, come accade per le ali di un pesce o per la pala di una pinna durante la fase attiva della gambata. Essa sfrutta la differenza di pressione tra le due facce della pala per creare una spinta direzionale, risultando così il meccanismo più efficiente nella propulsione subacquea.

La forza di resistenza, invece, si origina dallo spostamento diretto di massa d'acqua in senso opposto al movimento del corpo; sebbene contribuisca alla spinta, essa comporta una maggiore dissipazione energetica e quindi un rendimento inferiore rispetto alla portanza.

Durante la fase di spinta, la pala si deforma progressivamente accumulando energia elastica, che viene poi restituita nella fase di recupero, generando un effetto di **"molla idrodinamica"**. Questo comportamento riduce la discontinuità della spinta e favorisce un flusso d'acqua più regolare, migliorando così la stabilità e la continuità della propulsione. Dal punto di vista biomeccanico, la dinamica del nuoto pinnato mostra forti analogie con il movimento delle code dei pesci o delle pinne caudali dei cetacei. In entrambi i casi, la spinta è prodotta da un moto ondulatorio che si propaga lungo l'asse del corpo fino alle estremità più flessibili, dove la deformazione del materiale amplifica la portanza e riduce le perdite di energia. Questo principio di efficienza naturale rappresenta un riferimento diretto per la progettazione di pinne moderne e biomimetiche, che mirano a riprodurre il comportamento dinamico delle strutture naturali per massimizzare la spinta e minimizzare la resistenza. In conclusione, l'articolo di Fontana e Natoli fornisce un quadro chiaro e approfondito dei fenomeni fisici alla base della propulsione subacquea, mettendo in evidenza come l'interazione tra forma, flessibilità e dinamica del movimento sia cruciale per ottimizzare le prestazioni del nuotatore. Tale analisi costituisce un importante riferimento per la progettazione di dispositivi tecnologici e pinne da nuoto ad alte prestazioni, in cui la distribuzione elastica dei materiali e il comportamento idrodinamico della pala vengono calibrati in funzione della massima efficienza propulsiva.



**I due disegni tecnici delle pale nude delle pinne evidenziano i colori diversi per mostrare quali parti della pala si flettono di più o di meno. Questa progettazione serve a ottimizzare la spinta in acqua, rendendo il movimento più efficiente e potente**

L'immagine rappresenta una mappa delle deformazioni della pala durante il movimento in acqua, tipicamente ottenuta da una simulazione FEM (Finite Element Method)

La scala di colori (blu - verde - giallo - rosso) indica l'entità dello spostamento o della deformazione della pala:

1. Blu = zone rigide o con minima deformazione (vicino al piede);
2. Verde/Giallo = zone di flessione intermedia;
3. Rosso = massima deformazione (in punta)

La pala è fissata al tallone e flette verso la punta durante la spinta:

L'andamento graduale dei colori mostra come la pala si comporti come una leva elastica: più rigida alla base e più flessibile in punta. Questo comportamento è fondamentale per la propulsione efficiente, perché permette di accumulare energia elastica durante la flessione e restituirla nella fase di rilascio.



## 4.8 – Materiali

---

**L**a scelta dei materiali è un aspetto cruciale nella progettazione delle pinne per nuoto agonistico, poiché incide direttamente sulla loro flessibilità, resistenza e prestazioni in acqua.

I materiali principali utilizzati per la realizzazione delle pinne sono polimeri sintetici e gomme naturali, ognuno con specifiche proprietà meccaniche e idrodinamiche.

Il **silicone** è uno dei materiali più diffusi, apprezzato per la sua elasticità e resistenza all'usura. La sua capacità di mantenere una flessibilità costante nel tempo lo rende ideale per pinne ad alte prestazioni, garantendo un'ottima trasmissione della forza senza deformarsi eccessivamente. Inoltre, il silicone è ipoallergenico, il che lo rende adatto per un utilizzo prolungato senza rischio di irritazioni.

La **gomma naturale** è utilizzata principalmente nelle pinne destinate ad allenamenti intensivi o nel freediving. Questo materiale presenta un'elevata resistenza meccanica e offre una risposta elastica superiore rispetto ai polimeri sintetici. Tuttavia, può risultare più pesante rispetto ad altre alternative, influenzando il comfort e l'affaticamento muscolare.

I materiali compositi, come le mescole di polimeri rinforzati con fibre, sono sempre più utilizzati nei modelli avanzati. Questi materiali offrono un compromesso tra leggerezza, rigidità e durata, permettendo di ottimizzare la distribuzione delle forze durante la spinta in acqua. Alcuni produttori sperimentano anche l'uso di materiali a memoria di forma, che si adattano dinamicamente alle sollecitazioni dell'acqua per migliorare l'efficienza propulsiva.

## 4.9 – Tecniche di produzione e stampaggio

**L**e tecnologie di produzione delle pinne hanno subito un'evoluzione significativa, passando da processi tradizionali a metodi avanzati che garantiscono maggiore precisione e personalizzazione del prodotto.

Il processo di stampaggio ad iniezione è tra i più utilizzati per la produzione di pinne in polimeri e silicone. Questo metodo consente di realizzare pinne con forme complesse e con spessori variabili per ottimizzare la resistenza e la flessibilità in punti specifici.

Lo stampaggio a doppia iniezione permette inoltre di combinare materiali diversi all'interno della stessa pinna, migliorando le prestazioni generali. Un'altra tecnica innovativa è il termoformatura di materiali compositi, utilizzata in pinne di fascia alta. Questo processo consente di stratificare diversi materiali, regolando rigidità e resistenza idrodinamica.

La termoformatura permette inoltre di realizzare pinne con superfici aerodinamiche ottimizzate per ridurre le turbolenze e migliorare la fluidità del movimento in acqua.

Negli ultimi anni, sta emergendo anche l'uso della stampa 3D per la prototipazione e la produzione su misura di pinne personalizzate. Grazie alla modellazione CAD e ai software di simulazione fluidodinamica, è possibile creare design altamente performanti adattati alle caratteristiche specifiche dell'atleta.



05



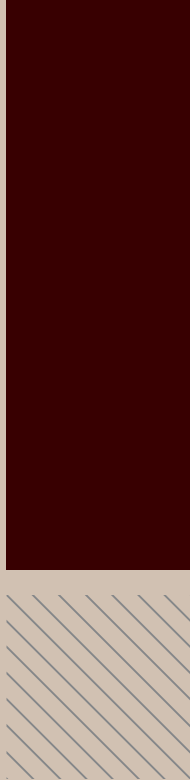
C A P I T O L O C I N Q U E

**PINNE**

**VS**

**ZAMPE PALMATE**





## 5.1 – Premessa dell'analisi comparativa

**I**l confronto tra zampe palmate e pinne da nuoto offre un'occasione significativa per analizzare come i principi morfologici e funzionali della natura possano orientare la progettazione di dispositivi destinati alla locomozione acquatica. L'obiettivo è comprendere in che modo le soluzioni evolutive osservate negli organismi animali possano essere reinterpretate nel design di pinne più efficienti e aderenti ai principi della biomimesi. Le zampe palmate rappresentano il risultato di un lungo processo di adattamento, in cui la presenza di una membrana flessibile tra le dita consente di ampliare la superficie di spinta e di migliorare la propulsione senza aumentare lo sforzo energetico.

*Al contrario, le pinne da nuoto sono frutto dell'ingegno umano e dell'evoluzione tecnologica: oggetti sviluppati per incrementare la velocità e la stabilità in acqua, ma spesso progettati secondo criteri meccanici più che biologici. Mettere a confronto questi due sistemi significa indagare le analogie e le differenze tra evoluzione naturale e innovazione tecnica, valutando come i principi biologici – flessibilità, adattabilità, efficienza idrodinamica – possano essere tradotti in soluzioni progettuali. Il confronto non si limita a un parallelo formale, ma si propone come strumento per trasferire conoscenze biologiche in ambito ingegneristico e di design. In questa prospettiva, l'analisi comparativa tra zampa palmata e pinna da nuoto costituisce la base teorica per lo sviluppo di una pinna biomimetica agonistica, capace di unire la funzionalità della natura con l'innovazione tecnologica, in un equilibrio tra forma, materiale e prestazione.*

## 5.2 – Aspetti morfologici e strutturali

**L**a struttura delle zampe palmate e delle pinne da nuoto consente di individuare i principi geometrici e funzionali che regolano l'interazione tra forma, materiale e movimento in ambiente acquatico. Entrambi i sistemi sono concepiti per incrementare la superficie di spinta e migliorare l'efficienza idrodinamica, ma lo fanno attraverso strategie costruttive profondamente differenti: naturale ed evolutiva nel caso delle zampe palmate, artificiale e progettuale in quello delle pinne.

Le zampe palmate presentano una struttura complessa, costituita da un'ossatura articolata che sostiene la membrana interdigitale, un tessuto flessibile e resistente capace di deformarsi dinamicamente durante la fase di spinta e di recupero. La combinazione tra rigidità scheletrica e elasticità tissutale permette una modulazione costante della superficie utile, adattandola alle diverse fasi del movimento. Tale sistema consente di ridurre la resistenza in fase di ritorno e di massimizzare la spinta in fase propulsiva, garantendo così un movimento fluido ed energeticamente efficiente.

Le pinne da nuoto, al contrario, riproducono in forma semplificata lo stesso principio di aumento della superficie di spinta, ma attraverso una pala monolitica o semi-flessibile, generalmente realizzata in silicone, gomma termoplastica o materiali compositi. A differenza della zampa palmata, la pinna non possiede articolazioni né una variazione strutturale continua tra parti rigide e flessibili: la transizione è netta e definita dal design. Questa distinzione limita la capacità di adattamento dinamico della pala, ma consente una trasmissione diretta della forza dal piede all'acqua, aumentando la spinta a discapito del controllo fine del movimento.

Dal punto di vista geometrico, la forma delle zampe palmate si caratterizza per una superficie irregolare e asimmetrica, determinata dalla disposizione naturale delle dita e dalle variazioni anatomiche tra le specie. Le pinne da nuoto, invece, tendono a privilegiare simmetria e linearità, con profili pensati per garantire stabilità direzionale e un flusso regolare. Tuttavia, le pinne di ultima generazione iniziano a introdurre concetti derivati dal mondo biologico, come la differenziazione dello spessore, la curvatura progressiva e le nervature flessibili che imitano l'adattamento morfologico della membrana palmata.



Sul piano dei materiali, la differenza è sostanziale: le strutture biologiche sono costituite da tessuti molli, elastina e collagene, capaci di variare comportamento meccanico in funzione dello sforzo, mentre i materiali sintetici utilizzati nelle pinne hanno proprietà meccaniche fisse e prevedibili. Ciò comporta che la zampa palmata reagisca in modo reattivo e autoregolante, mentre la pinna risponde in modo passivo all'azione del piede.

| PARAMETRO                     | ZAMPA PALMATA                                 | PINNA DA NUOTO                               |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| STRUTTURA                     | Scheletro articolato con dita mobili          | Pala semirigida                              |
| ELEMENTO PROPULSIVO           | Membrana interdigitale elastica e deformabile | Superficie compatta e deformabile            |
| TRANSIZIONE RIGIDO-FLESSIBILE | Graduale e continua                           | Netta e definita                             |
| FLESSIBILITÀ DINAMICA         | Adattiva e reattiva durante il movimento      | Passiva, dipende dal materiale               |
| FORMA GEOMETRICA              | Asimmetrica e variabile                       | Simmetrica e regolare                        |
| COMPORTAMENTO IDRODINAMICO    | Deformazione controllata, flusso adattivo     | Spinta lineare e direzionale                 |
| MATERIALE                     | Tessuti biologici (collagene e elastina)      | Materiali sintetici                          |
| EFFICIENZA ENERGETICA         | Alta, con minimo dispendio                    | Elevata spinta con maggiore sforzo muscolare |

## 5.3 – Aspetti funzionali e biomeccanici

**L'**analisi funzionale e biomeccanica delle zampe palmate e delle pinne da nuoto evidenzia come entrambi i sistemi siano progettati per ottimizzare la propulsione in acqua, riducendo la resistenza e migliorando l'efficienza energetica. Pur condividendo lo stesso obiettivo, le modalità attraverso cui ciò avviene risultano profondamente diverse:

1. nel caso delle zampe palmate, il movimento nasce da un controllo muscolare attivo e coordinato,
2. nel caso delle pinne, la propulsione deriva da un'estensione artificiale dell'arto umano, che amplifica la superficie di spinta ma limita la capacità di adattamento dinamico.

Le zampe palmate operano come dispositivi biomeccanici naturali altamente integrati. Durante la fase propulsiva, l'apertura delle dita tende a distendere la membrana interdigitale, che si comporta come una pala flessibile capace di deformarsi per massimizzare la spinta. Nella fase di recupero, le dita si richiudono riducendo la superficie esposta, così da limitare la resistenza idrodinamica. Questa alternanza tra estensione e chiusura garantisce un movimento efficiente, continuo e fluido, in cui la forza muscolare è distribuita in modo ottimale tra le articolazioni. La deformazione elastica della membrana permette inoltre un parziale recupero dell'energia meccanica, riducendo l'affaticamento e migliorando la stabilità del nuoto.

Le pinne da nuoto, invece, sfruttano un principio di funzionamento differente. La pala, solidale al piede, agisce come un prolungamento rigido o semi-flessibile dell'arto. Durante la battuta verso il basso, la pala oppone resistenza all'acqua generando una spinta diretta all'indietro, mentre nella fase di ritorno la flessibilità del materiale riduce parzialmente la resistenza. Tuttavia, l'assenza di articolazioni e di un controllo attivo del profilo limita la capacità della pinna di adattarsi ai flussi idrodinamici, rendendo la propulsione più dipendente dalla forza muscolare dell'utilizzatore.

Di conseguenza, l'efficienza biomeccanica complessiva è elevata in termini di potenza, ma inferiore in termini di adattabilità e risparmio energetico. Dal punto di vista idrodinamico, le zampe palmate operano in un regime reattivo e sensoriale, grazie alla presenza di nervi e recettori che permettono un feedback immediato tra movimento e flusso d'acqua. Le pinne, invece, funzionano in modo passivo, rispondendo ai movimenti del piede senza percepire direttamente la resistenza del fluido. Questo aspetto sottolinea una delle principali differenze biomeccaniche: la zampa palmata è un sistema sensorizzato e adattivo, mentre la pinna è un sistema meccanico privo di autoregolazione.

Un'altra distinzione riguarda la trasmissione della forza. Nella zampa palmata, la forza generata dai muscoli viene distribuita in modo progressivo lungo lo scheletro fino alla membrana, che funge da superficie propulsiva modulabile. La pinna, invece, trasferisce la forza in modo più diretto e concentrato: il piede agisce come punto di leva

e la pala come elemento amplificatore. Ciò garantisce una maggiore spinta istantanea, ma comporta anche una maggiore rigidità funzionale, che può ridurre il controllo fine del movimento.

## 5.4 – Aspetti funzionali e biomeccanici

**I**l comportamento e le prestazioni delle zampe palmate e delle pinne da nuoto permettono di comprendere come le caratteristiche morfologiche e biomeccaniche si traducano in efficienza, velocità e adattabilità in acqua.

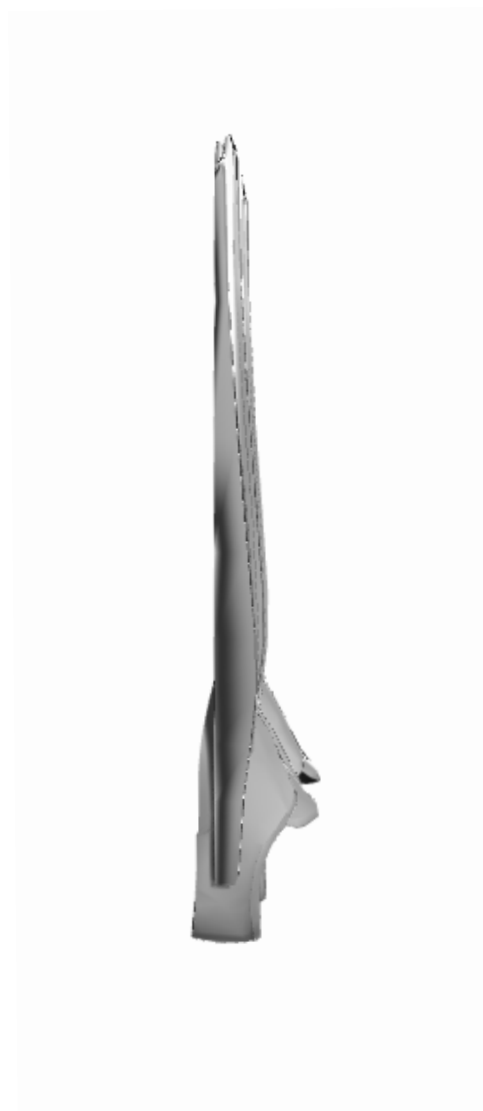
Questo confronto considera non solo la forma e la struttura, ma anche il modo in cui ciascun sistema interagisce dinamicamente con il fluido durante il movimento.

Le zampe palmate mostrano un comportamento altamente adattativo. Animali acquatici come anatre, cormorani o rane modulano la frequenza e l'ampiezza dei battiti delle zampe in base alla resistenza dell'acqua e al tipo di movimento richiesto. Durante la fase propulsiva, la membrana interdigitale si distende per aumentare la superficie di spinta, mentre nella fase di recupero le dita si chiudono per ridurre la resistenza. Questo meccanismo consente un movimento fluido e continuo, ottimizzando la resa energetica e permettendo lunghe percorrenze senza affaticamento. Inoltre, la capacità di adattarsi rapidamente ai cambi di direzione o alle correnti è particolarmente elevata grazie al controllo muscolare e alla deformazione elastica della membrana.

Le pinne da nuoto, invece, operano in modo diverso. La pala, fissata al piede, estende la superficie di contatto con l'acqua e aumenta la spinta lineare. Tuttavia, la mancanza di articolazioni e la rigidità relativamente uniforme limitano l'adattabilità dinamica: la pala non può modulare la superficie attiva in risposta alle variazioni di flusso.

Perciò, le pinne consentono maggiore potenza per singolo battito, ma richiedono uno sforzo muscolare costante e riducono la precisione nei movimenti di cambiamento di direzione o di manovre complesse. Un altro elemento distintivo riguarda la frequenza dei battiti.

Gli animali regolano in modo naturale il numero e l'intensità dei colpi per ottimizzare l'efficienza e minimizzare il consumo energetico. Con le pinne, invece, la frequenza è più vincolata dalla forza e dalla resistenza dell'atleta, poiché la rigidità della pala impedisce una modulazione naturale della superficie di spinta. Di conseguenza, pur aumentando la velocità, le pinne possono determinare un maggiore affaticamento su lunghe distanze. Per quanto riguarda la stabilità, le zampe palmate garantiscono un controllo fine del corpo in acqua, grazie alla deformazione regolata della membrana e al feedback sensoriale. Le pinne, invece, trasferiscono la spinta in maniera più lineare, favorendo la velocità in linea retta ma riducendo la capacità di adattamento in situazioni complesse.







**Modelli 3D di pinna e zampe palmate di un germano reale a confronto**

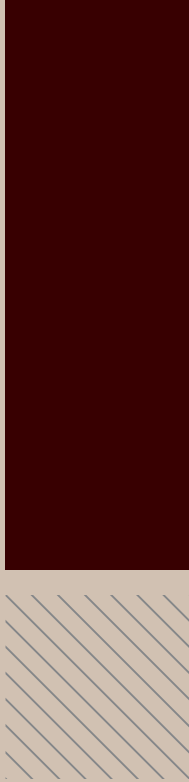
06

C A P I T O L O S E I

# **RICERCA DI MERCATO**







## 6.1 Ricerca di mercato

---

**L**a presente ricerca di mercato ha lo scopo di analizzare il contesto competitivo delle pinne corte per il nuoto e dei dispositivi wearable, concentrandosi su prodotti affini e concorrenti.

L'obiettivo è comprendere le caratteristiche tecniche, estetiche e funzionali delle alternative disponibili sul mercato, oltre a individuare le normative di riferimento per garantire la conformità del prodotto.

L'analisi di mercato è fondamentale per valutare i punti di forza e di debolezza dei prodotti. Attraverso il confronto delle caratteristiche tecniche, dei materiali e del design, è possibile comprendere il posizionamento del prodotto e individuare eventuali margini di miglioramento.

Gli strumenti utilizzati per questa ricerca comprendono analisi di schede tecniche fornite dai produttori, recensioni online di utenti e atleti professionisti, comparazione prezzi tramite e-commerce specializzati e normative di prodotto applicabili. Inoltre, l'analisi dei trend di mercato aiuta a identificare le esigenze e le preferenze degli utenti, fornendo una base solida per eventuali miglioramenti progettuali e strategie di marketing.

## 5.2 Pinne da nuoto agonistico

---

### Finis Edge

Le Finis Edge sono pinne corte progettate per nuotatori che desiderano migliorare la loro tecnica e potenziare la forza delle gambe. Realizzate in silicone al 100%, utilizzano la tecnologia brevettata Smart Fin™ per rafforzare l'abitudine alla corretta battuta di gambe a velocità elevate, aumentando la resistenza cardiovascolare e attivando i gruppi muscolari chiave per ottimizzare la propulsione delle gambe.

#### Specifiche tecniche

**Materiale:** Silicone

**Colore:** Giallo

**Forma:** Lama corta con struttura idrodinamica

**Massa:** ~650g

**Prezzo:** Circa 70€

Si tratta di un prodotto sviluppato dalla casa americana FINIS Inc., fondata in California nel 1993 da John Mix e Pablo Morales. Il modello Edge è stato ufficialmente presentato nel 2016, dopo una lunga fase di ricerca e sperimentazione condotta all'interno del FINIS Stroke Lab, laboratorio aziendale dedicato allo sviluppo di attrezzature per l'allenamento tecnico e biomeccanico del nuotatore. Il progetto è stato curato dal designer David Beittel e dal consulente scientifico Dr. Marty Hull, esperto nella Smart Fin™ Technology, metodologia che integra principi idrodinamici e biomeccanici per migliorare l'efficacia del calcio subacqueo. Con questo modello, si è voluto creare una pinna corta, specificamente destinata ad allenamenti di potenza e velocità, capace di attivare i principali gruppi muscolari coinvolti nella propulsione e di indurre una tecnica di nuotata corretta, basata su un movimento che parte dall'anca e non dal ginocchio.

#### Materiali e struttura

L'intera pinna si realizza in 100 % silicone, materiale scelto per la sua durabilità, elasticità e capacità di adattarsi progressivamente alla forma del piede nel tempo. Il design della scarpetta, monopezzo, si distingue per la configurazione open toe & open heel, che consente maggiore libertà articolare della caviglia e una calzata più confortevole. La parte superiore del piede presenta una leggera inclinazione che asseconda la naturale estensione del collo del piede, mentre il bordo posteriore si adatta al tallone senza generare punti di pressione. La calzata risulta precisa e aderente; per tale motivo si consiglia, in caso di piede largo o intermedio tra due taglie, di scegliere una misura superiore. La pala adotta un angolo proprietario (proprietary



blade angle), concepito per prolungare la linea naturale del piede e per trasformare la pinna in una sua estensione diretta. Il profilo, non piatto ma inclinato, favorisce la corretta postura durante il calcio e migliora l'allineamento idrodinamico con la direzione del moto. L'angolo in gradi, risulta inclinata di circa 25-30 ° rispetto al piano della suola, con un punto di flessione localizzato tra la zona metatarsale e l'attacco delle bordature laterali (side rails), elementi che rappresentano la firma estetica e funzionale del modello.

### **Le bordature laterali e la funzione propulsiva**

Le bordature laterali, o side rails, svolgono una funzione sia strutturale sia idrodinamica. Dal punto di vista meccanico, esse irrigidiscono la pala, impedendo torsioni eccessive e assicurando che la forza applicata dal piede si traduca in una spinta lineare e controllata. Sul piano fluidodinamico, tali bordi guidano il flusso d'acqua lungo la superficie, riducendo le dispersioni laterali e contribuendo alla stabilità del movimento.

A questi elementi si affiancano le aperture e prese d'aria (vents), che hanno lo scopo di modulare il flusso d'acqua e di diminuire la resistenza passiva nella fase di recupero del calcio. Secondo la documentazione ufficiale FINIS e le descrizioni fornite, queste aperture permettono alla pala di catturare acqua sia nel down-kick che nell'up-kick, generando un effetto propulsivo bilanciato e favorendo l'attivazione muscolare di glutei, quadricipiti e ischiocrurali.

## Aspetti biomeccanici e idrodinamici

Dal punto di vista biomeccanico, si intende fornire al nuotatore uno strumento utile per educare la tecnica del calcio. L'obiettivo principale è quello di spostare la generazione della spinta dall'articolazione del ginocchio a quella dell'anca, promuovendo un gesto più ampio, fluido e potente. L'insieme di pala angolata e le bordature laterali crea un sistema di leva capace di massimizzare la superficie di contatto con l'acqua e di distribuire la pressione in modo graduale lungo l'intera pala, riducendo turbolenze e migliorando la stabilità direzionale. Le vents (fori) concorrono a ridurre la resistenza nella fase di risalita e a mantenere la portanza utile, favorendo una propulsione bidirezionale che agisce sia durante la discesa sia durante la risalita del piede. Questo principio, definito dal produttore come Smart Fin™ Technology, rappresenta un'evoluzione rispetto alle pinne tradizionali, che operano principalmente nella fase discendente del calcio. Sul piano fluidodinamico, la pala corta e leggermente rigida nella zona centrale consente un rilascio rapido del flusso in coda, generando una scia vorticale regolare e riducendo l'instabilità laterale. La combinazione tra rigidità strutturale, angolo e rails laterali produce un effetto di canalizzazione del flusso, che ottimizza la trasmissione dell'energia muscolare in spinta propulsiva.





## Arena Powerfin Pro

Le Arena Powerfin Pro sono pinne corte progettate per il nuoto agonistico e l'allenamento della forza delle gambe. Presentano una lama inclinata e aperture sul lato per migliorare la propulsione e il controllo dell'acqua.

Le Arena Powerfin Pro offrono un'ottima rigidità e una trasmissione efficace della potenza. L'inclinazione della lama consente un movimento più naturale e incrementa la spinta. Tuttavia, potrebbero risultare più faticose rispetto a pinne con un design più flessibile.

### Specifiche tecniche

**Massa:** 800 g

**Colore:** Multicolore

**Materiale:** Silicone

**Design:** Lama corta, inclinata con aperture

**Prezzo:** Circa 50€

**Applicazioni:** Allenamento agonistico, potenziamento



## NABAIJI 500 SILIFINS

Le Silifins 500 sono pinne corte progettate per un utilizzo più intensivo e per nuotatori di livello intermedio. La pala corta e più squadrata offre una spinta superiore a quella delle Easyfin, pur mantenendo un buon compromesso tra frequenza di battuta e resistenza. Il materiale è 100% silicone, più costoso e resistente rispetto al SEBS, con una migliore elasticità di ritorno e maggiore durata contro il cloro e l'usura.

Grazie al silicone, queste pinne restituiscono più energia a ogni gambata: la pala si deforma meno sotto carico e trasferisce meglio la forza propulsiva all'acqua. Ciò si traduce in una maggiore velocità assoluta, soprattutto nelle serie veloci e negli sprint. Tuttavia, la maggiore resistenza della pala le rende più affaticanti e richiede una tecnica di gambata più potente e controllata. Sono quindi indicate per nuotatori che vogliono sviluppare forza muscolare, velocità e resistenza.

### Specifiche tecniche

**Massa:** leggermente più pesante (silicone più denso e compatto)

**Materiale:** 100% Silicone

**Prezzo:** 20€

**Applicazioni tipiche:** Nuotatori intermedi, allenamento muscolare e di resistenza, serie veloci e sprint, uso frequente in piscina (maggiore durata)

Rigide e reattive, maggiore spinta = più velocità effettiva ma più fatica.





## NABAIJI EASYFIN

Le pinne Easyfin blu sono un modello base di pinne corte pensate per il nuoto ricreativo e l'avviamento all'allenamento in piscina. La pala è corta e tonda, con una rigidità molto morbida che le rende facili da utilizzare anche per chi ha poca esperienza. Il materiale utilizzato è lo SEBS (Stirene-Etilene-Butadiene-Stirene), un elastomero termoplastico economico, leggero e flessibile. Questa composizione le rende comode e meno affaticanti, ma meno reattive nella restituzione di energia rispetto a materiali più performanti come il silicone. Dal punto di vista idrodinamico, la punta arrotondata della pala riduce la resistenza, facilitando una frequenza di gambata elevata: il nuotatore può aumentare la cadenza delle battute senza eccessivo sforzo. Tuttavia, la spinta per singola gambata è limitata, quindi la velocità assoluta rimane inferiore rispetto a pinne più rigide e performanti. Sono adatte a principianti o a chi vuole allenare il sistema cardiovascolare senza sovraccaricare troppo i muscoli.

### Specifiche tecniche

**Massa:** leggera

**Materiale:** materiale plastico SEBS (Stirene-Etilene-Butadiene-Stirene)

**Prezzo:** 12,99 €

**Applicazioni tipiche:** Principianti, allenamenti leggeri, miglioramento cardiovascolare, alta frequenza di gambata con bassa resistenza

**Taglie:** Varie misure disponibili.

Frequenza alta = percezione di velocità ma minore spinta assoluta.



## Speedo Biofuse Training

Le Speedo Biofuse Training Fin sono progettate per migliorare la tecnica di nuoto e aumentare la forza delle gambe. La tecnologia Biofuse® offre comfort e flessibilità, mentre la pala corta aiuta a sviluppare una battuta di gambe più potente e una maggiore resistenza. Utilizzano la tecnologia Biofuse®, che offre un equilibrio tra rigidità e flessibilità per un movimento più naturale

### Specifiche tecniche

**Massa:** 1 kg

**Materiale:** Silicone

**Prezzo:** Circa 30- 40€

**Applicazioni tipiche:** Allenamento generale, fitness acquatico

**Materiale:** Combinazione di materiali per rigidità e flessibilità ottimali , misto rigido/morbido: le zone più rigide aumentano la propulsione, mentre quelle morbide migliorano il comfort.

La pala corta aiuta a mantenere un movimento veloce, simile a quello di una nuotata senza pinne, senza stravolgere il ritmo naturale della gambata.

**Design:** riduce lo sforzo sui piedi e sulle caviglie, evitando tensioni eccessive. Aiuta a sviluppare una battuta di gambe più efficace: essendo più corte di altre pinne, obbligano a un movimento più rapido e controllato.

**Benefici principali:** Aumento della forza e della resistenza delle gambe. Miglioramento della tecnica della gambata grazie alla resistenza dell'acqua.

Rafforzamento dei muscoli del core: l'uso prolungato aiuta a stabilizzare il tronco.

**A chi sono rivolte:** Perfette per nuotatori di tutti i livelli, soprattutto per chi vuole migliorare la tecnica e la velocità della battuta di gambe senza aggiungere troppo carico muscolare, usate anche a rana per il miglioramento del movimento delle gambe.

**Taglie:** Varie misure disponibili.





## Radbug Bodyboard 500

Le Radbug Bodyboard 500 sono progettate specificamente per il bodyboard, offrendo un'eccellente combinazione di potenza, comfort e controllo. Grazie al loro design asimmetrico e alla pala inclinata, queste pinne permettono una propulsione efficace, aiutando i bodyboarder a raggiungere rapidamente l'onda e migliorare la manovrabilità in acqua.

### Specifiche tecniche

**Materiale:** Realizzate in gomma naturale, combinano rigidità e flessibilità per una spinta ottimale senza sacrificare il comfort.

**Zona rigida:** La pala rinforzata migliora la propulsione e garantisce un'ottima reattività.

**Zona morbida:** La scarpetta flessibile riduce l'attrito e offre una calzata più comoda.

La forma asimmetrica e inclinata consente una spinta potente con il minimo sforzo, riducendo l'affaticamento muscolare.

**Chiusura con strappo (Velcro)** e materiali di supporto: Il sistema di chiusura con velcro assicura una perfetta aderenza al piede, evitando movimenti indesiderati durante l'uso.

Rinforzo in neoprene intorno alla chiusura, che aumenta il comfort e riduce il rischio di abrasioni sulla pelle.

Il leash integrato garantisce che la pinna non venga persa in caso di onde forti o movimenti bruschi.

**Efficienza nella propulsione:** La lunghezza della pala è ottimizzata per massimizzare la velocità senza compromettere il controllo.

**Benefici principali:** Maggiore potenza nella spinta per facilitare il take-off sulle onde. Comfort migliorato, grazie alla scarpetta in gomma naturale morbida. Stabilità e sicurezza, grazie alla chiusura con strappo e al leash.

**A chi sono rivolte:** sono ideali per bodyboarder di tutti i livelli, dagli amatori agli esperti. Perfette per chi cerca un equilibrio tra potenza, controllo e comfort, sono particolarmente indicate per acque agitate e onde medio-grandi.

**Taglie:** Varie misure disponibili.

**Prezzo:** Circa 30€.



## Arena learn to Swim

Le Pinne Nuoto Arena Learn To Swim sono progettate per aiutare i principianti, in particolare i nuotatori più giovani, a sviluppare una corretta tecnica della gambata. La loro struttura semirigida fornisce il giusto equilibrio tra supporto e flessibilità, facilitando l'apprendimento senza affaticare eccessivamente le gambe. La scarpetta traforata garantisce un ottimo drenaggio dell'acqua, mentre la chiusura in velcro permette una calzata regolabile e sicura.

### Specifiche tecniche

**Materiale:** Le pinne sono semirigide, combinando una pala con la giusta resistenza per generare propulsione con una scarpetta più morbida per il comfort.

**Scarpetta a rete traforata:** Il design con fori permette un rapido drenaggio dell'acqua, riducendo la resistenza e migliorando la vestibilità in acqua. **Chiusura con strappo (velcro):** Il sistema di regolazione in velcro facilita l'adattamento della pinna al piede, evitando scivolamenti e offrendo maggiore sicurezza. Questo le rende perfette per i bambini e i principianti che necessitano di una calzata stabile. **Suola antiscivolo:** La base della pinna è progettata con un materiale antiscivolo per aumentare la sicurezza durante l'uso fuori dall'acqua, ad esempio sui bordi piscina.

**Propulsione e controllo:** Grazie alla loro struttura, queste pinne favoriscono il miglioramento della tecnica senza creare un carico eccessivo sui muscoli delle gambe.

**Benefici principali:** Aiutano l'apprendimento della battuta di gambe corretta. Offrono supporto ai nuotatori più piccoli e ai principianti. La scarpetta a rete garantisce comfort e drenaggio dell'acqua. La chiusura in velcro assicura una regolazione semplice e veloce. La sua suola antiscivolo migliora la sicurezza a bordo vasca.

Le Arena Learn To Swim Fins sono progettate per nuotatori principianti e amatori, ideali per chi sta imparando a nuotare o vuole perfezionare la tecnica della battuta di gambe senza eccessivo sforzo muscolare. Sono adatte sia per bambini che per adulti.

Taglie: Varie misure disponibili.





## 5.3 Dispositivi wearable

---

### Garmin Swim 2

Il Garmin Swim 2 è uno smartwatch avanzato progettato specificamente per il nuoto, sia in piscina che in acque libere. Dotato di GPS integrato e sensore ottico per il monitoraggio della frequenza cardiaca sott'acqua, rappresenta una soluzione ideale per i nuotatori che desiderano analizzare le proprie prestazioni in dettaglio.

#### Specifiche tecniche

Costo: Circa 250 euro.

Massa: 36 grammi.

Estetica: Design sportivo con cassa di 42 x 42 x 11,4 mm, display da 1,04 pollici.

Colori: Nero, bianco.

Forme: Forma rotonda con display circolare.

Normative di riferimento: Impermeabilità 5 ATM (fino a 50 metri di profondità).

Sicurezza: Resistente all'acqua e con sensore di frequenza cardiaca ottico.

Materiale: Cinturino in silicone morbido e confortevole per lunghe sessioni di allenamento.

Display MIP (Memory-In-Pixel) sempre visibile anche sott'acqua.

Monitoraggio continuo della frequenza cardiaca anche in acqua.

Calcolo automatico del SWOLF per misurare l'efficienza del nuoto.

Compatibilità con app Garmin Connect per analizzare e migliorare le prestazioni.

GPS integrato per il nuoto in acque libere.

A chi è rivolto: Perfetto per nuotatori agonisti e triatleti, ma anche per chi pratica nuoto per fitness e benessere e vuole un monitoraggio avanzato delle proprie prestazioni.

Taglie: Taglia unica regolabile.



## Sensori integrati

### 1. Accelerometro

Funzione: Registra i movimenti del nuotatore per rilevare il numero di vasche, lo stile di nuoto e il conteggio delle bracciate.

Applicazioni principali: Conteggio automatico delle vasche (identifica il cambio di direzione alla fine della vasca).

Riconoscimento dello stile di nuoto (crawl, dorso, rana, delfino).

Calcolo del punteggio SWOLF (combinazione del numero di bracciate e tempo per completare una vasca).

### 2. Sensore GPS

Funzione: Attivo solo in acque libere, traccia la distanza percorsa, il ritmo e il percorso.

Applicazioni principali: Monitoraggio della distanza e velocità in acque aperte. Registrazione della traccia su mappa tramite app Garmin Connect. Dati di navigazione per l'analisi post-allenamento.

### 3. Sensore Ottico per la Frequenza Cardiaca (Garmin Elevate™)

Funzione: Misura la frequenza cardiaca direttamente dal polso.

Applicazioni principali: Monitoraggio della frequenza cardiaca sott'acqua, senza bisogno di una fascia toracica.

Calcolo della zona cardiaca durante l'allenamento per ottimizzare l'intensità.

Rilevamento dello sforzo e del consumo calorico.

### 4. Giroscopio

Funzione: Rileva i cambiamenti di orientamento e rotazione del dispositivo, migliorando la precisione del conteggio delle bracciate e delle vasche.

Applicazioni principali: Migliora la rilevazione della virata per un conteggio più preciso delle vasche.

Aiuta a distinguere i diversi stili di nuoto.

### 5. Bussola

Magnetica Funzione: Migliora il rilevamento della direzione durante il nuoto in acque libere. Applicazioni principali: Fornisce dati sulla direzione del nuotatore in combinazione con il GPS. Utile per mantenere la rotta in acque aperte.



## 6. Sensore Barometrico (Altimetro Barometrico)

Funzione: Rileva variazioni di pressione per stimare i cambiamenti di quota o di profondità.

Applicazioni principali: Non confermato ufficialmente da Garmin, ma potrebbe essere usato per migliorare il riconoscimento della posizione in immersione.

## 7. Sensore di Temperatura

Funzione: Misura la temperatura dell'acqua durante il nuoto in acque libere.

Applicazioni principali: Può fornire dati sulla temperatura ambientale dell'acqua durante le sessioni di allenamento all'aperto.

Conteggio delle vasche automatico (accelerometro + giroscopio).

Identificazione dello stile di nuoto (accelerometro + giroscopio).

Punteggio SWOLF (frequenza bracciate + tempo vasca).

Monitoraggio continuo della frequenza cardiaca (sensore ottico).

Registrazione del percorso e distanza in acque libere (GPS + bussola). Analisi della tecnica di nuoto (frequenza bracciate, tempo, efficienza).

## Xmetrics Pro

Xmetrics Pro è un dispositivo wearable avanzato progettato per il monitoraggio delle prestazioni dei nuotatori durante l'allenamento. È particolarmente utile per gli atleti che vogliono analizzare in tempo reale le metriche relative alla loro tecnica di nuoto, come la frequenza delle gambate, la cadenza e l'efficienza del movimento.

Il dispositivo è pensato per essere utilizzato in piscina e permette di raccogliere dati utili per migliorare la performance.

### Specifiche tecniche

**Materiale:** è realizzato con materiali resistenti e durevoli, tra cui plastico rinforzato per garantire resistenza all'acqua e urti.

La cintura elastica è progettata per adattarsi comodamente alla parte superiore del corpo del nuotatore, garantendo stabilità e comfort durante l'attività in acqua.

**Monitoraggio della tecnica di nuoto,** con un'analisi delle bracciate per determinare l'efficienza del movimento e migliorare la sincronizzazione tra le bracciate e le gambate.

**Chiusura e design ergonomico:** si aggancia saldamente tramite una cintura regolabile che può essere indossata attorno al busto. La cintura elastica è progettata per non limitare i movimenti del nuotatore durante l'allenamento, mantenendo il dispositivo sicuro e confortevole. La chiusura è regolabile tramite un sistema di velcro che consente una personalizzazione della vestibilità, migliorando la stabilità del dispositivo durante l'attività.

Il dispositivo offre un feedback audio e vibrazionale per avvisare il nuotatore quando è necessario fare delle correzioni nella tecnica.

**Analisi tecnica:** Il dispositivo fornisce un'analisi approfondita della tecnica di nuoto, permettendo di correggere eventuali errori o migliorare l'efficienza dei movimenti.

**Incremento delle performance:** La raccolta di dati dettagliati aiuta il nuotatore a comprendere meglio la propria tecnica e a sviluppare una gambata e bracciata più potenti ed efficienti.

**A chi è rivolto:** è destinato a nuotatori di livello intermedio e avanzato che desiderano monitorare in tempo reale le proprie performance e migliorare la tecnica. È ideale anche per atleti di nuoto competitivo che necessitano di un dispositivo preciso e facile da usare durante le sessioni di allenamento.

**Taglie:** Il dispositivo è disponibile in un'unica taglia, grazie alla sua adattabilità attraverso la cintura regolabile.

## Sensori principali

Accelerometro: per monitorare la cadenza e la distanza percorsa per bracciata.

Sensore di frequenza cardiaca: per monitorare i battiti in tempo reale. Sensore di accelerazione 3D: misura l'efficacia della bracciata e il movimento complessivo.

Sensore di movimento della testa: rileva l'angolo di inclinazione e la posizione durante la nuotata.



## Digitsole Smart Insoles

Le Digitsole Smart Insoles sono solette intelligenti progettate per tracciare diversi parametri, come la temperatura del piede, la postura e la distanza percorsa. Utilizzando sensori avanzati, queste solette sono in grado di monitorare i movimenti in tempo reale, fornendo un feedback utile per migliorare le prestazioni atletiche e il benessere generale.

### Specifiche fisiche

**Materiale:** Realizzate con materiali leggeri e resistenti, dotate di sensori integrati per misurare la pressione, la temperatura e i passi.

**Tecnologia:** Sensori piezoelettrici per rilevare la pressione e monitorare i movimenti.

**Connettività:** Si collegano via Bluetooth all'app mobile per visualizzare i dati.

**Caratteristiche aggiuntive:** Le solette hanno una batteria ricaricabile che dura fino a 10 giorni e sono anche impermeabili.

**Benefici principali:** Monitoraggio della postura e dell'allineamento del piede. Miglioramento delle prestazioni grazie alla raccolta di dati precisi durante l'attività. Aiuto nella prevenzione degli infortuni grazie al monitoraggio del piede.

### Caratteristiche principali

**Costo:** Circa 200-300 euro

**Massa:** < 200 g

**Estetica e colori:** Design minimalista, nero/grigio

**Forme:** Anatomiche e adattabili a diverse calzature

**Normative:** Certificazioni CE, conformità alla Direttiva Bassa Tensione e alla Direttiva sulla sicurezza generale dei prodotti

**Sicurezza:** Materiali ignifughi, spegnimento automatico in caso di surriscaldamento

**Distribuzione pesi:** Uniforme grazie alla tecnologia di sensori multipli

**Momenti d'inerzia:** Ottimizzati per garantire comfort e stabilità

**Costo:** Circa 200 euro





## Kinematix Tuning Insoles

Le Kinematix Tuning Insoles sono progettate per migliorare le prestazioni e ridurre il rischio di infortuni negli atleti. Queste solette utilizzano sensori di pressione per misurare il movimento del piede durante le attività sportive, offrendo feedback in tempo reale per ottimizzare la tecnica e migliorare il comfort.

Specifiche fisiche:

Materiale: Realizzate con materiale morbido e resistente, queste solette offrono un buon supporto senza compromettere il comfort.

Tecnologia: Sensori di pressione integrati per monitorare i movimenti del piede e l'intensità dei passi.

Connettività: Connessione con l'app mobile Kinematix, che fornisce una panoramica dettagliata dei movimenti.

Caratteristiche aggiuntive: L'app monitora la postura e l'efficienza dei movimenti, aiutando a prevenire lesioni.

Benefici principali: Monitoraggio della pressione per migliorare la postura.

Ottimizzazione delle performance fisiche e della tecnica di corsa o camminata.

Riduzione del rischio di infortuni grazie al feedback costante.

Le Kinematix Tuning Insoles monitorano l'attività fisica e forniscono dati sulla postura e la biomeccanica del piede, particolarmente orientate verso il miglioramento delle prestazioni nella corsa e nel ciclismo.

Descrizione dettagliata

Dotate di sensori di movimento e pressione, offrono feedback in tempo reale tramite un'app mobile.

La batteria dura circa 6 ore e il design è ergonomico e adattabile a vari tipi di calzature sportive. Queste solette rappresentano una soluzione versatile e avanzata, anche se la necessità di una connessione continua all'app potrebbe essere un limite in alcune situazioni.

Tabella riepilogativa

Massa 190 g

Prezzo 220 euro

Materiali Polimeri flessibili

Batteria 6 ore di autonomia

Sensori Multipli Normative CE Sì

# tune



## Nurv Run Smart Insoles

Le Nurvv Run Smart Insoles sono progettate per migliorare le prestazioni nella corsa e ridurre il rischio di infortuni.

Queste solette intelligenti utilizzano sensori di pressione e accelerometri per analizzare la tecnica di corsa in tempo reale, fornendo feedback dettagliato per ottimizzare postura, passo e impatto del piede.

### Specifiche tecniche

**Materiale:** Realizzate con materiali leggeri e resistenti, garantiscono comfort e supporto senza compromettere la flessibilità.

**Tecnologia:** Dotate di 32 sensori di pressione integrati per monitorare l'appoggio del piede, la cadenza, la lunghezza del passo e l'equilibrio.

**Connettività:** Collegamento Bluetooth con l'app Nurvv Run, che fornisce dati approfonditi sulla biomeccanica della corsa.

### Caratteristiche aggiuntive

L'app offre un'analisi dettagliata del movimento e suggerimenti personalizzati per migliorare la tecnica e prevenire infortuni.

Monitoraggio della pressione plantare per migliorare la postura e l'efficienza della corsa.

Feedback in tempo reale per ottimizzare il passo e ridurre l'impatto sulle articolazioni.

Analisi avanzata per aiutare i runner a migliorare le prestazioni e prevenire lesioni.

### Dettagli

Le Nurvv Run Smart Insoles forniscono un'analisi avanzata della biomeccanica della corsa grazie a sensori di pressione e movimento distribuiti lungo la pianta del piede. Il sistema misura parametri fondamentali come pronazione, impatto del piede e bilanciamento, offrendo suggerimenti in tempo reale tramite l'app mobile. La batteria offre un'autonomia di circa 5 ore, e il design ergonomico consente di adattare facilmente a diverse tipologie di scarpe da corsa. Tuttavia, la necessità di una connessione continua con lo smartphone potrebbe rappresentare una limitazione per alcuni utenti.

### Tabella riepilogativa

Massa 200 g

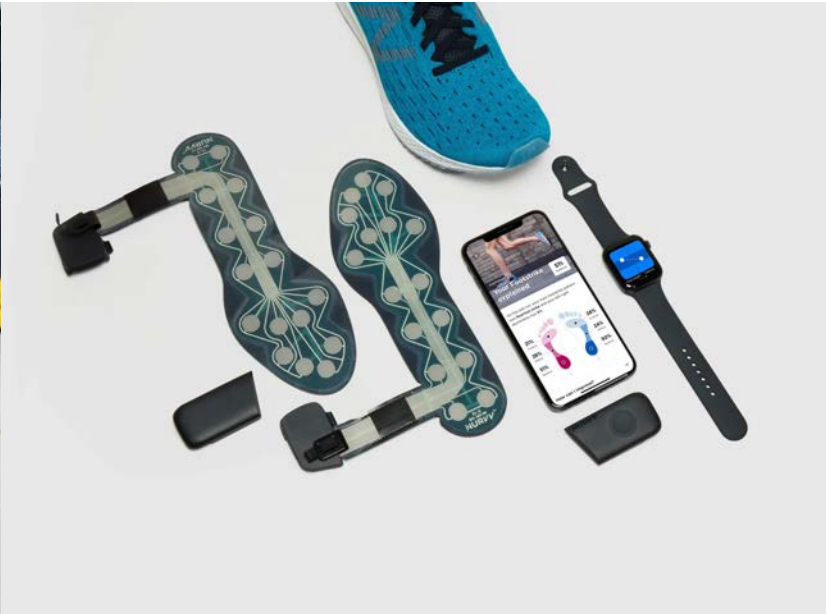
Prezzo 250 euro

Batteria 5 ore di autonomia

Sensori Multipli (pressione, accelerometri)

Normative CE Sì





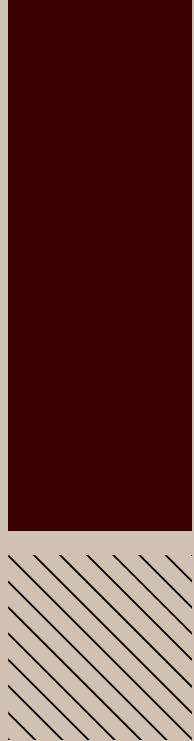
O7

C A P I T O L O S E T T E

# RICERCA DI ANTERIORITÀ







## 7.1 Ricerche di mercato svolte

---

**N**el percorso di sviluppo del progetto si è ritenuto necessario analizzare lo stato dell'arte attraverso una ricerca di mercato approfondita, utile a comprendere sia l'evoluzione storica delle pinne da nuoto sia le soluzioni tecnologiche più recenti.

Si è osservato come Churchill, ispirandosi alle pratiche dei giovani tahitiani, abbia introdotto un modello innovativo di pinna in gomma vulcanizzata, successivamente adottato anche dalla Marina Militare statunitense e britannica durante la Seconda guerra mondiale. Questo passaggio storico ha segnato l'inizio di un percorso che ha portato alla sperimentazione di materiali e forme sempre più performanti.

Parallelamente, si sono presi in esame diversi brevetti: dai sistemi di fissaggio a fascia per pinne, che garantiscono maggiore sicurezza e facilità di manutenzione, fino a dispositivi indossabili per il monitoraggio delle prestazioni natatorie, basati su sensori e GPS, sviluppati per ottenere misurazioni più precise anche in condizioni acquatiche. Infine, particolare attenzione si è posta sulle solette intelligenti, capaci di rilevare pressione plantare, postura ed equilibrio tramite sensori integrati e trasmissione wireless. Queste tecnologie dimostrano l'importanza dei dispositivi smart indossabili nello sport e rappresentano un riferimento utile per individuare soluzioni innovative applicabili al progetto.

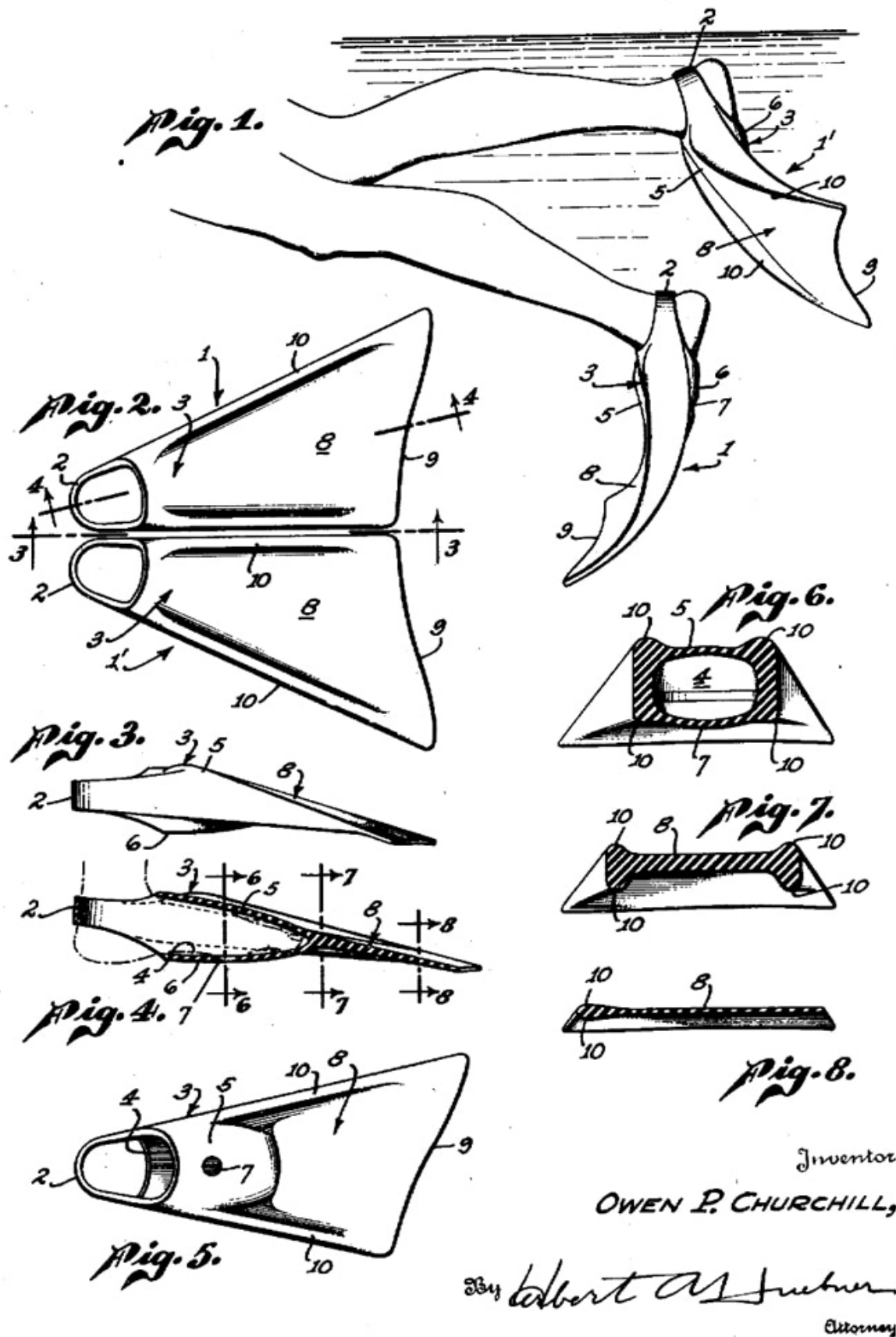
June 8, 1943.

O. P. CHURCHILL

2,321,009

SWIM-FIN

Filed Sept. 27, 1940



## 7.2 Pinne per nuoto agonistico

---

### Brevetto 1

**Inventore:** Churchill

**Anno:** 1940

**Abstract:** Si è ispirato ai giovani tahitiani che usavano pinne da nuoto fatte a mano. Utilizzavano fasce di metallo a forma di coda di pesce e fasce di gomma morbida. Churchill utilizzò la gomma vulcanizzata e ne migliorò la forma. Alla fine, grazie ai soldi ricavati dalla sua invenzione, all'epoca brevettata ma oggi di uso comune, riuscì a coltivare la sua passione per la vela professionistica.

Churchill inviò le sue pinne alla Marina Militare degli Stati Uniti, che le acquistò per la loro squadra di demolizione subacquea (UDT). Le pinne Churchill furono in seguito impiegate dall'UDT americano e dal Combined Operations Pilotage Parties (COPP) britannico durante tutte le prime operazioni di sminamento subacqueo, consentendo lo sbarco in Normandia nel 1944.

La Marina sperimentò vari design e materiali, per poi optare infine per un modello aerodinamico realizzato in gomma e tessuto.

D'altro canto, dopo la fine della Seconda guerra mondiale, Corlieu dovette lottare per anni in tribunale, accusando altri di aver violato i suoi brevetti.

[54] BAND MOUNTING APPARATUS FOR A DIVING FIN  
[76] Inventor: Seiji Hattori, 5-18, Hadori 4-chome, Fujisawa-shi, Kanagawa, Japan

[21] Appl. No.: 60,852

[22] Filed: Jun. 12, 1987

[30] Foreign Application Priority Data  
Nov. 12, 1986 [JP] Japan 61-173691

[51] Int. Cl.<sup>4</sup> A63B 31/11  
[52] U.S. Cl. 441/64; 24/170;  
24/191; 24/193

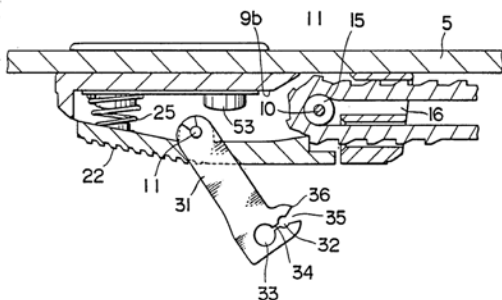
[58] Field of Search 24/168, 170, 191, 193

[56] References Cited  
U.S. PATENT DOCUMENTS  
4,102,343 7/1978 Schneider 24/191  
4,669,155 6/1987 Chen 24/170  
FOREIGN PATENT DOCUMENTS  
1182862 6/1959 France 441/64

Primary Examiner—Sherman D. Basinger  
Attorney, Agent, or Firm—Cushman, Darby & Cushman

[57] ABSTRACT  
A band mounting for a diving fin is provided to fix a foot on a diving fin body. The construction of the mounting enables one to draw freely on an end of the band in its fastening direction while enabling a user to firmly lock the end of the band in its loosening direction.

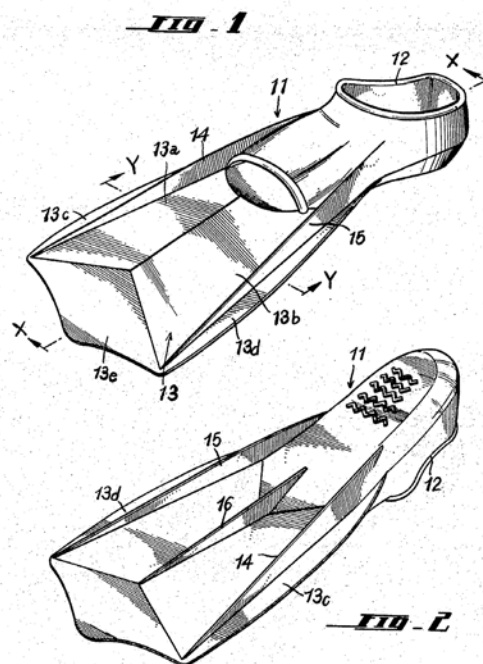
4 Claims, 5 Drawing Sheets



PATENTED MAY 14 1974

3,810,269

SHEET 1 OF 3



PATENTED MAY 14 1974

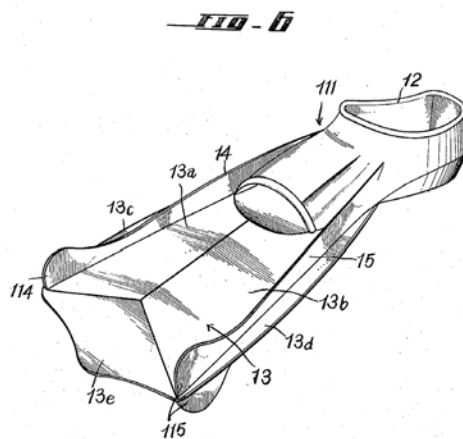
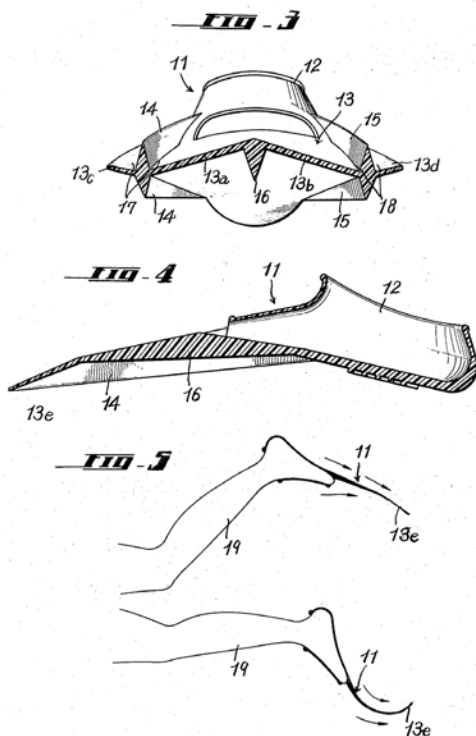
3,810,269

SHEET 3 OF 3

PATENTED MAY 14 1974

3,810,269

SHEET 2 OF 3



## Brevetto 2

**Inventore:** Tabata, Kazuo (Sumido-ku, Tokyo, JA)  
Togasaka, Masanari (Minami Saitama-gun, Saitama, JA)

**Anno:** 1974

**Abstract:** Si è ispirato ai giovani tahitiani che usavano pinne da nuoto fatte a mano. Utilizzavano fasce di metallo a forma di coda di pesce e fasce di gomma morbida. Churchill utilizzò la gomma vulcanizzata e ne migliorò la forma. Alla fine, grazie ai soldi ricavati dalla sua invenzione, all'epoca brevettata ma oggi di uso comune, riuscì a coltivare la sua passione per la vela professionistica.

Churchill inviò le sue pinne alla Marina Militare degli Stati Uniti, che le acquistò per la loro squadra di demolizione subacquea (UDT). Le pinne Churchill furono in seguito impiegate dall'UDT americano e dal Combined Operations Pilotage Parties (COPP) britannico durante tutte le prime operazioni di sminamento subacqueo, consentendo lo sbarco in Normandia nel 1944.

La Marina sperimentò vari design e materiali, per poi optare infine per un modello aerodinamico realizzato in gomma e tessuto.

D'altro canto, dopo la fine della Seconda guerra mondiale, Corlieu dovette lottare per anni in tribunale, accusando altri di aver violato i suoi brevetti.



United States Patent [19] Patent Number: 4,795,384  
Hattori [45] Date of Patent: Jan. 3, 1989

[54] BAND MOUNTING APPARATUS FOR A DIVING FIN

[76] Inventor: Seiji Hattori, 5-18, Hadori 4-chome, Fujisawa-shi, Kanagawa, Japan

[21] Appl. No.: 60,852

[22] Filed: Jun. 12, 1987

[30] Foreign Application Priority Data  
Nov. 12, 1986 [JP] Japan 61-173691

[51] Int. Cl.<sup>4</sup> A63B 31/11

[52] U.S. Cl. 441/64; 24/170; 24/191; 24/193

[58] Field of Search 441/61-64; 24/168, 170, 191, 193

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

4,102,343 7/1978 Schneider 24/191  
4,669,155 6/1987 Chen 24/170

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

1182862 6/1959 France 441/64

Primary Examiner—Sherman D. Basinger  
Attorney, Agent, or Firm—Cushman, Darby & Cushman

[57] ABSTRACT

A band mounting for a diving fin is provided to fix a foot on a diving fin body. The construction of the mounting enables one to draw freely on an end of the band in its fastening direction while enabling a user to firmly lock the end of the band in its loosening direction.

4 Claims, 5 Drawing Sheets

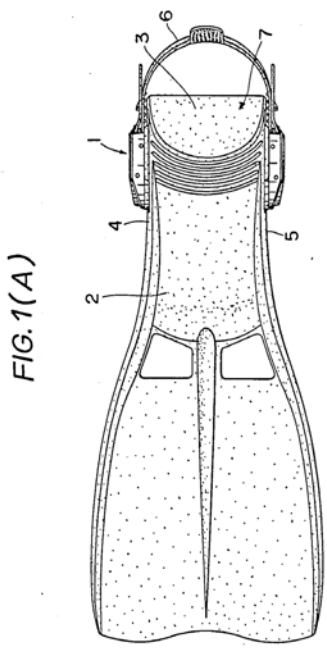


FIG. 1(A)

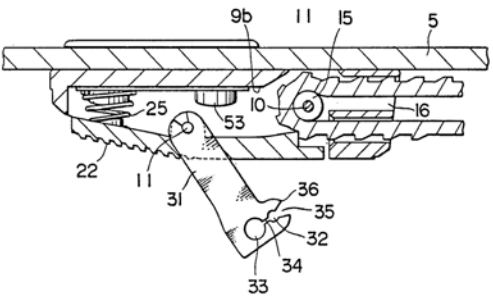


FIG. 1(B)

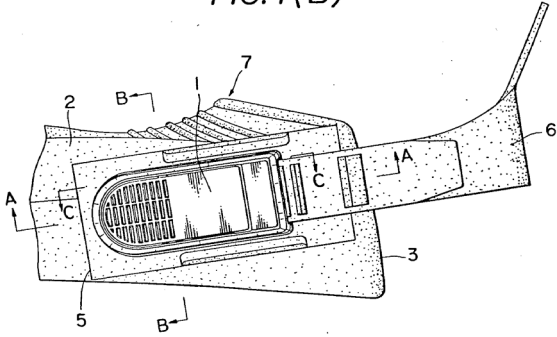
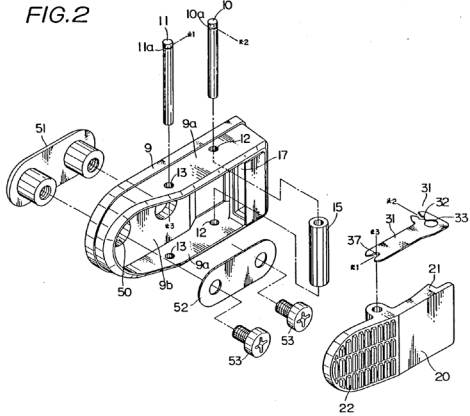


FIG. 2



U.S. Patent Jan. 3, 1989 Sheet 5 of 5 4,795,384

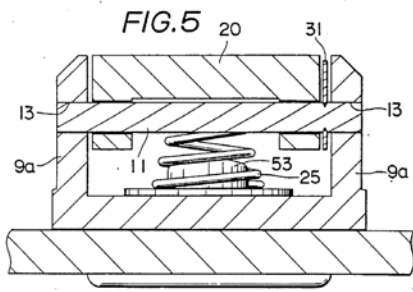


FIG. 6

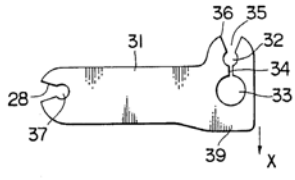
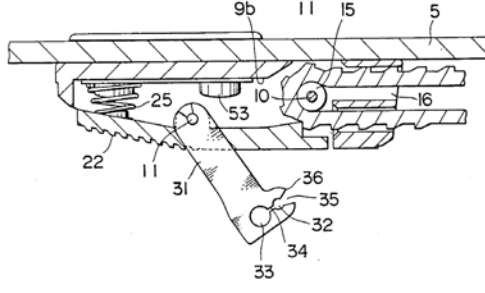


FIG. 7



## Brevetto 3

**Inventori:** T Hattori, Seiji (Fujisawa-shi, Kanagawa, JP)

**Anno:** 1989

Abstract: Il brevetto descrive un innovativo sistema di fissaggio a fascia per pinne da immersione, che consente un bloccaggio sicuro del piede e una rapida sostituzione della fascia senza l'uso di utensili.

Il dispositivo include:

1. Un telaio principale che supporta la struttura di fissaggio.
2. Una fascia regolabile per assicurare il piede alla pinna.
3. Due perni rotanti, uno dei quali presenta una scanalatura per il bloccaggio.
4. Un meccanismo di bloccaggio che impedisce lo scivolamento involontario della fascia.
5. Una piastra di arresto che mantiene i perni in posizione e può essere facilmente rimossa per la sostituzione della fascia.

Questo sistema migliora la stabilità e la sicurezza della pinna durante l'uso subacqueo, semplificando allo stesso tempo la manutenzione e la sostituzione della fascia.

(54) **SWIM AND SCUBA FIN**

(71) Applicant: **FINIS INC.**, Livermore, CA (US)

(72) Inventors: **John Mix**, Brentwood, CA (US); **David Beittel**, San Leandro, CA (US); **Marty Hull**, Port Angeles, CA (US)

(73) Assignee: **FINIS INC.**, Livermore, CA (US)

(\*\*) Term: **15 Years**

(21) Appl. No.: **29/505,538**

(22) Filed: **Dec. 14, 2015**

(51) **LOC (10) Cl.** ..... **21-06**

(52) **U.S. Cl.** ..... **D21/806**  
USPC ..... **D21/806**

(58) **Field of Classification Search**

USPC ..... D21/801, 803, 804, 806, 807; 441/55, 441/56, 58, 60, 61

CPC ... A63B 31/10; A63B 31/11; A63B 2031/112; A63B 2031/115

See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

**U.S. PATENT DOCUMENTS**

D423,623 S \* 4/2000 Evans ..... D21/806  
D449,667 S \* 10/2001 Evans ..... D21/806

D553,218 S \* 10/2007 Keegan ..... D21/806  
D561,862 S \* 2/2008 Moyal ..... D21/804  
D561,863 S \* 2/2008 Moyal ..... D21/804  
D594,077 S \* 6/2009 Vassallo ..... D21/806  
D613,807 S \* 4/2010 Vassallo ..... D21/804  
D613,808 S \* 4/2010 Vassallo ..... D21/806  
D646,740 S \* 10/2011 Portas ..... D21/806

\* cited by examiner

*Primary Examiner* — Zenia Bennett

(74) *Attorney, Agent, or Firm* — James A. Gavney, Jr.;  
JAG Patent Services

(57) **CLAIM**

We claim the ornamental design for a swim and scuba fin, as shown and described.

**DESCRIPTION**

FIG. 1 is a view of a swim and scuba fin showing my new design;

FIG. 2 is a top view of the swim and scuba fin thereof;

FIG. 3 is a bottom view of the swim and scuba fin thereof;

FIG. 4 is a front view of the swim and scuba fin thereof;

FIG. 5 is a back view of the swim and scuba fin thereof;

FIG. 6 is a right side view of the swim and scuba fin thereof;

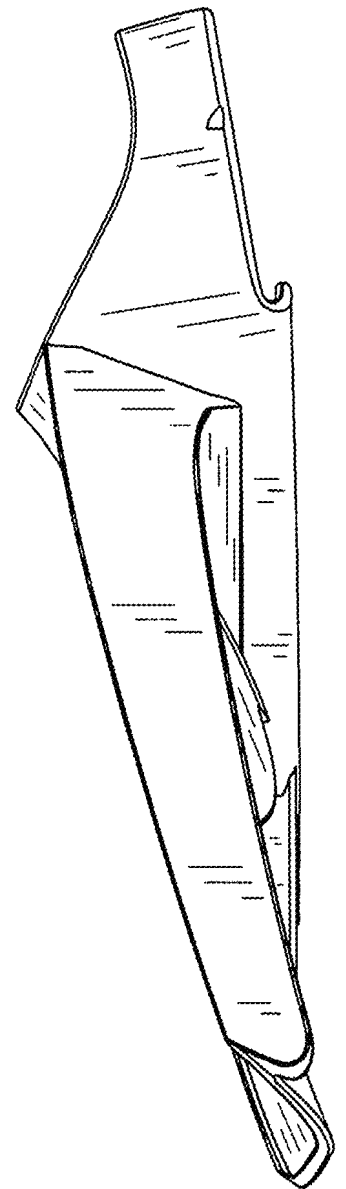
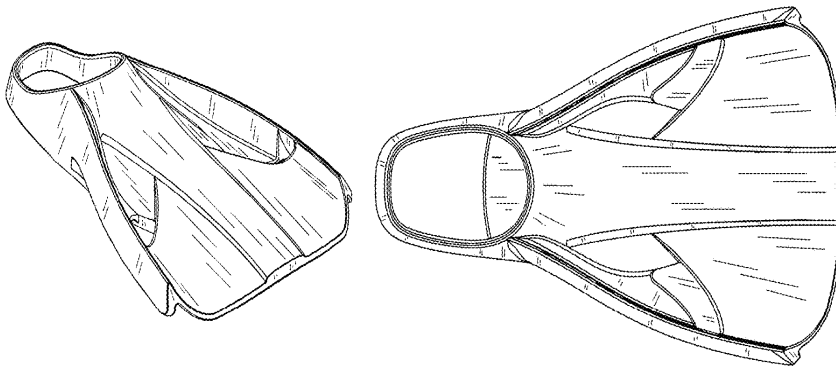
and,

FIG. 7 is a left side view of the swim and scuba fin.

The broken lines depicting the decorative elements in FIG. 3 are for illustrative purposes only and form no part of the claimed design.

**1 Claim, 4 Drawing Sheets**

**FIG. 7**



**U.S. Patent**

**Sep. 5, 2017**

**Sheet 1 of 4**

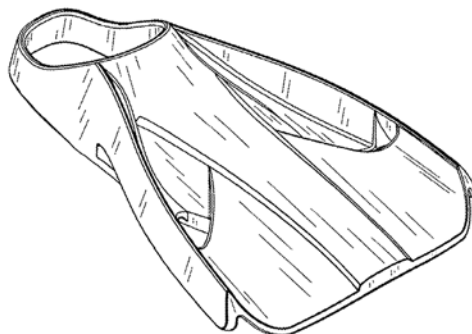
**US D796,615 S**

**U.S. Patent**

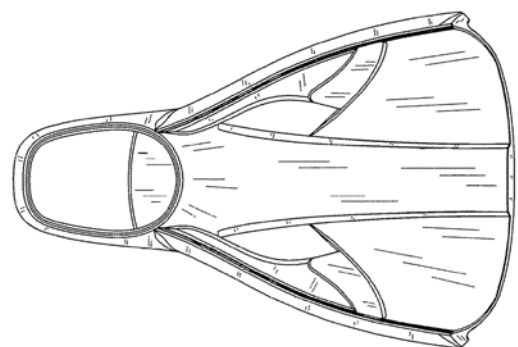
**Sep. 5, 2017**

**Sheet 2 of 4**

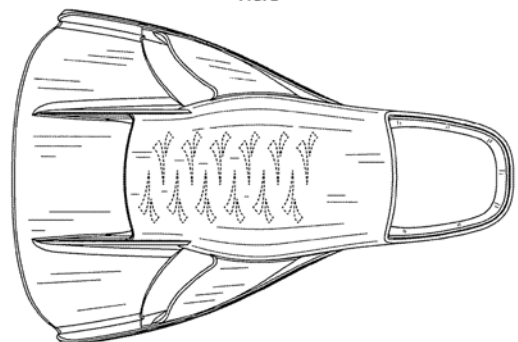
**US D796,615 S**



**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**

## Brevetto 4

**Inventori:** John Mix – fondatore e CEO di FINIS David Beittel Marty Hull

**Anno:** 2015

Abstract: Il brevetto statunitense US D796,615 S, intitolato “Swim and Scuba Fin”, rappresenta la registrazione ufficiale del design ornamentale della pinna prodotta da FINIS Inc., nota azienda californiana specializzata in attrezzature per il nuoto agonistico. Il brevetto, depositato il 14 dicembre 2015 e concesso il 5 settembre 2017, è frutto del lavoro di John Mix – fondatore dell’azienda – insieme a David Beittel e Marty Hull, e tutela la forma distintiva e il linguaggio formale della pinna comunemente riconosciuta come FINIS Edge Fin. Trattandosi di un design patent, il documento non descrive principi costruttivi o soluzioni tecniche, ma protegge esclusivamente l’aspetto estetico del prodotto, ossia le linee, le proporzioni e i dettagli visivi che caratterizzano la pinna. La rivendicazione principale è unica e recita: “We claim the ornamental design for a swim and scuba fin, as shown and described”, ossia “si rivendica il design ornamentale di una pinna da nuoto e immersione, come mostrato e descritto”. Le sette tavole illustrative (Figg. 1-7) che accompagnano il brevetto mostrano la pinna nelle sue viste principali: prospettica, superiore, inferiore, frontale, posteriore e laterali. Attraverso queste rappresentazioni si definiscono con precisione le caratteristiche estetiche che rendono il modello riconoscibile. Dalla vista superiore e da quella laterale emerge in particolare la curvatura anatomica che unisce il piede alla pala, con un’inclinazione di circa 10-15°, pensata per rispettare la biomeccanica naturale della caviglia durante la spinta. La pala corta e rastremata, tagliata diagonalmente verso l’esterno, costituisce un elemento distintivo del design FINIS e richiama una forma dinamica e aggressiva, in grado di suggerire movimento anche da ferma. L’analisi delle figure mostra inoltre la presenza di costolature longitudinali e bordi ispessiti che, pur avendo anche una funzione strutturale nella realtà del prodotto, vengono qui registrati come elementi formali. Questi rilievi accentuano il senso di direzionalità e di scorrimento del flusso d’acqua, contribuendo a un’estetica tecnica e prestazionale. La scarpetta integrata nel corpo della pinna, priva di separazione visiva netta tra la zona del piede e la pala, sottolinea l’idea di un oggetto monolitico e coerente nelle proporzioni, dove la transizione tra le parti è fluida e continua.



US008638229B2

U.S. Patent

Jan. 28, 2014

Sheet 1 of 5

US 8,638,229 B2

(12) **United States Patent**  
**Downey et al.**

(10) **Patent No.:** US 8,638,229 B2  
(45) **Date of Patent:** Jan. 28, 2014

(54) **SWIM WATCH**

(56)

**References Cited****U.S. PATENT DOCUMENTS**

(75) **Inventors:** David J. Downey, Louisburg, KS (US);  
Kristin M. Massoth, Prairie Village, KS  
(US)

(73) **Assignee:** Garmin Switzerland GmbH (CH)

(\*) **Notice:** Subject to any disclaimer, the term of this  
patent is extended or adjusted under 35  
U.S.C. 154(b) by 425 days.

(21) **Appl. No.:** 13/022,847

(22) **Filed:** Feb. 8, 2011

(65) **Prior Publication Data**

US 2011/0128824 A1 Jun. 2, 2011

**Related U.S. Application Data**

(63) Continuation-in-part of application No. 12/129,399,  
filed on May 29, 2008, now Pat. No. 7,889,085.

(51) **Int. Cl.**  
*G08B 23/00* (2006.01)  
*G04B 47/00* (2006.01)

(52) **U.S. CL.**  
USPC ..... 340/573.1; 340/850; 340/539.13;  
368/10; 368/108; 701/468

(58) **Field of Classification Search**  
USPC ..... 340/573.1, 850, 573.6, 693.5, 539.13;  
368/108, 109, 10, 14; 701/213, 25,  
701/207, 468, 500; 702/182

See application file for complete search history.

|                 |         |                   |            |
|-----------------|---------|-------------------|------------|
| 5,685,722 A     | 11/1997 | Taha              | 434/254    |
| 5,871,406 A     | 2/1999  | Worrell           | 473/221    |
| 6,002,982 A     | 12/1999 | Fry               | 701/213    |
| 6,144,620 A     | 11/2000 | dePoortere        | 368/108    |
| 6,837,827 B1    | 1/2005  | Lee et al.        | 482/8      |
| 6,853,955 B1    | 2/2005  | Burrell et al.    | 702/182    |
| 6,991,364 B2*   | 1/2006  | Yang              | 368/281    |
| 7,057,551 B1*   | 6/2006  | Vogt              | 342/357.57 |
| 7,310,063 B1    | 12/2007 | Brown             | 342/357.06 |
| 7,467,060 B2    | 12/2008 | Kulach et al.     | 702/141    |
| 2008/0018532 A1 | 1/2008  | Mackintosh et al. | 342/357.12 |
| 2008/0046179 A1 | 2/2008  | Mackintosh et al. | 701/213    |

**OTHER PUBLICATIONS**

European Search Report from European Patent Application No. EP  
0900693, dated Mar. 1, 2010.

\* cited by examiner

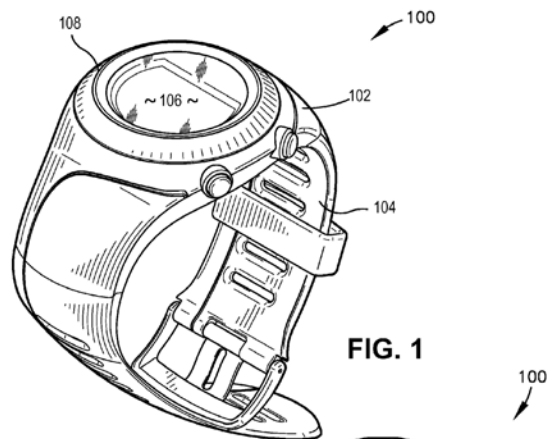
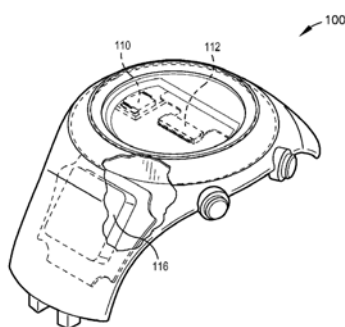
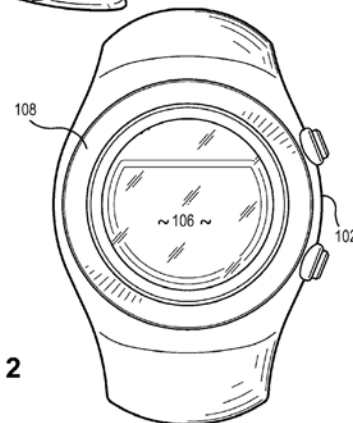
Primary Examiner—Anh V La

(74) **Attorney, Agent, or Firm**—Samuel M. Korte;  
Mohammad M. Ali

**ABSTRACT**

(57) A watch device for use by a swimmer while swimming in a body of water. The watch device may generally comprise a housing, a location determining component disposed within the housing and operable to receive one or more satellite signals to determine a current geographic location of the housing, and a processing system. The processing system may synchronize the location determining component with the swimmer's arm movement so that the location determining component can determine the current geographic location of the housing.

17 Claims, 5 Drawing Sheets

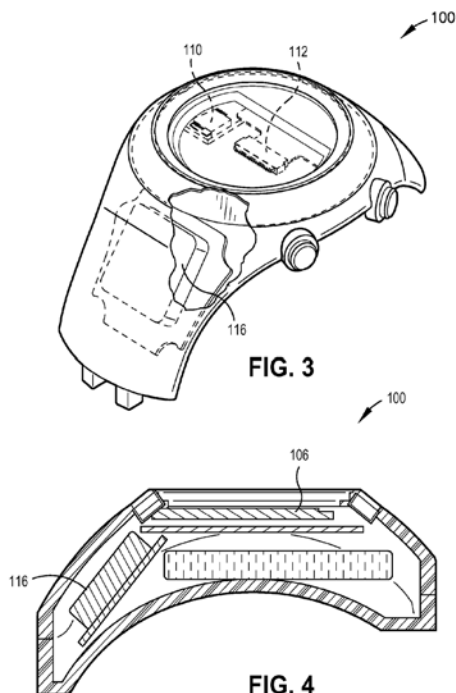
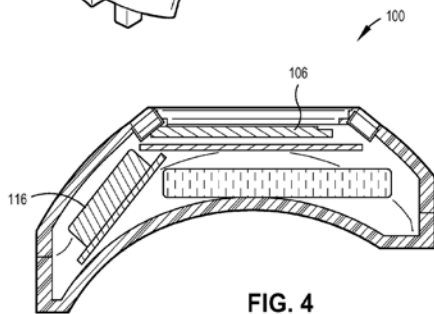
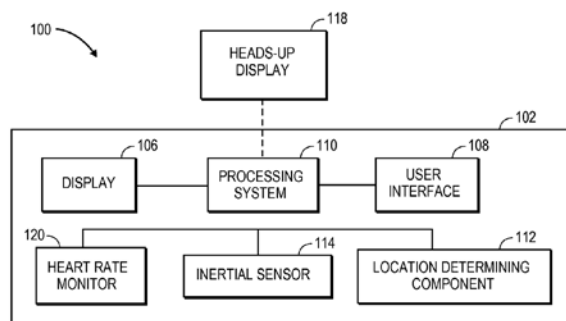
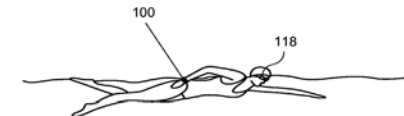
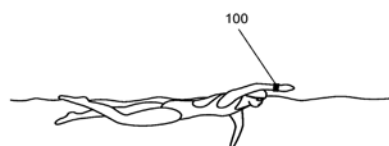
**FIG. 1****FIG. 2**

U.S. Patent

Jan. 28, 2014

Sheet 2 of 5

US 8,638,229 B2

**FIG. 3****FIG. 4****FIG. 5****FIG. 6****FIG. 7****FIG. 8**



## 7.3 Dispositivi wearable

---

### Brevetto 1

**Inventore:** David J. DowneyKristin  
M. Massoth

**Anno:** 2014

**Abstract:** Il presente brevetto riguarda un dispositivo indossabile progettato per essere utilizzato da un nuotatore durante l'attività in acqua. Il dispositivo comprende un alloggiamento impermeabile, un modulo per la determinazione della posizione e un sistema di elaborazione. Il modulo di posizionamento, collocato all'interno dell'alloggiamento, è in grado di ricevere segnali satellitari e determinare la posizione geografica del nuotatore. Il sistema di elaborazione è programmato per sincronizzare il rilevamento della posizione con il movimento del braccio del nuotatore, consentendo una misurazione più precisa della posizione durante l'attività natatoria. Questa domanda di brevetto è una continuazione parziale della domanda statunitense "Swim Watch", numero di serie 12/129,399, depositata il 29 maggio 2008, la cui intera documentazione è qui incorporata per riferimento. Sfondo dell'Invenzione L'invenzione proposta è finalizzata a migliorare il monitoraggio delle prestazioni di un nuotatore attraverso un dispositivo tecnologico avanzato. In particolare, il sistema permette di generare dati accurati sulla posizione dell'atleta mentre nuota. Attualmente, molti dispositivi fitness basati su GPS, come la linea Garmin® Forerunner®, vengono utilizzati per tracciare le prestazioni sportive, fornendo dati dettagliati sulla posizione e sull'allenamento. Tuttavia, una limitazione significativa di questi strumenti è l'incapacità del segnale GPS di penetrare efficacemente nell'acqua, riducendone l'utilità per il monitoraggio del nuoto. Riepilogo dell'Invenzione L'invenzione descritta introduce un dispositivo indossabile per il monitoraggio delle prestazioni di un nuotatore. Il sistema comprende: Un alloggiamento impermeabile, progettato per resistere all'acqua e contenere i componenti elettronici; Un modulo di posizionamento, in grado di ricevere segnali di localizzazione e determinare la posizione geografica del nuotatore; Un sistema di elaborazione, che sincronizza il rilevamento della posizione con il movimento del braccio del nuotatore, migliorando la precisione del tracciamento.



(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 208481352 U  
(45)授权公告日 2019.02.12

(21)申请号 201820029691.1  
(22)申请日 2018.01.09  
(73)专利权人 深圳市溢创技术顾问有限公司  
地址 518000 广东省深圳市南山区科技园  
南区高新南一道TCL大厦B座1101-A室  
(72)发明人 不公告发明人  
(51)Int. Cl.  
A61B 5/103(2006.01)  
(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)实用新型名称  
一种监测足弓的智能鞋垫

(57)摘要

本实用新型公开了一种监测足弓的智能鞋垫，包括：鞋垫模块上设有多个压力采集点；鞋垫模块用于使用者穿戴并且进行相关压力数据信息采集；主控芯片模块通过线路电性连接于鞋垫模块；主控芯片模块用于对鞋垫模块所采集的信息进行处理并且传输；终端与主控芯片模块通过无线连接；终端对主控芯片模块所发送的采集信息进行操作控制。本实用新型通过足弓处对压力采集点的踩踏压力可以检测使用者是否为扁平足，并且通过终端的RGB颜色色谱显示可以帮助使用者矫正扁平足。

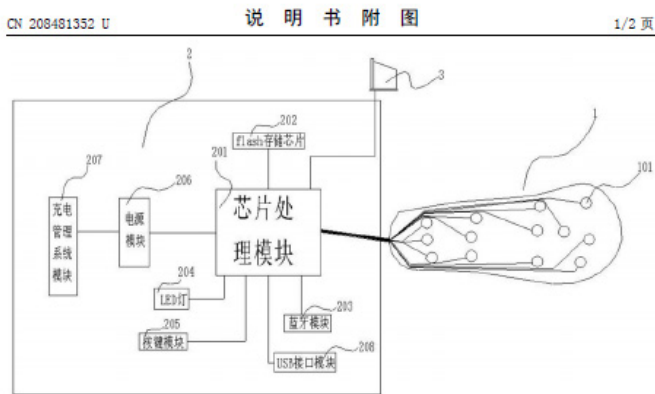
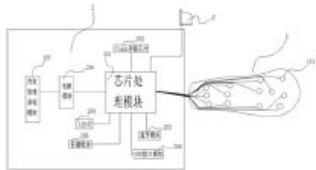


图1

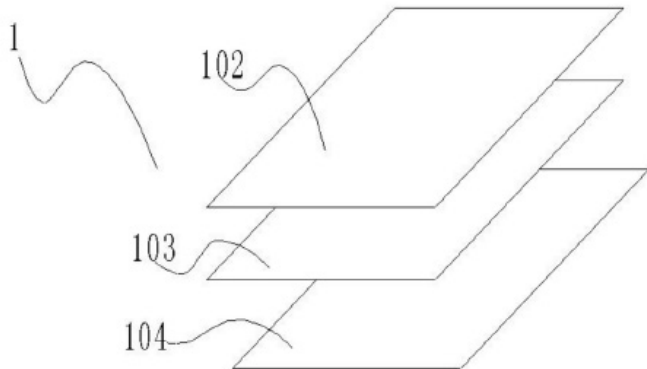


图2

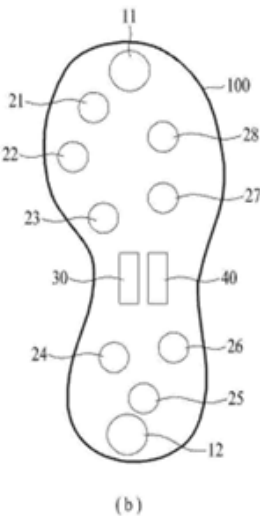
CN 208481352 U

说明书附图

2/16 页



(a)



(b)

图2

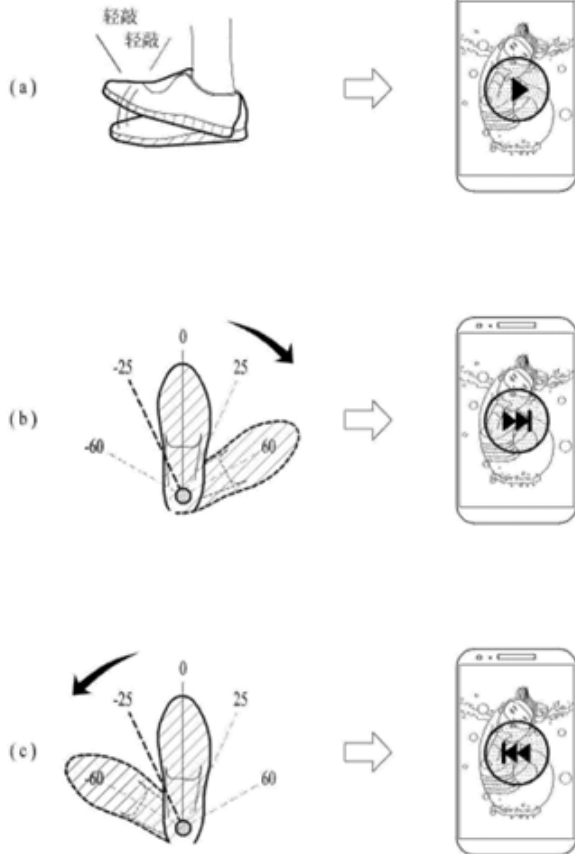


图10

## Brevetto 2

Inventore: Shenzhen Chong Chong Co

Anno: 2018

**Abstract:** Questo brevetto descrive un tipo innovativo di solette intelligenti progettate per monitorare l'arco plantare dell'utente.

La tecnologia impiegata in queste solette permette di rilevare e analizzare la distribuzione della pressione esercitata dal piede durante la camminata o la corsa.

Le solette sono dotate di sensori di pressione distribuiti in più punti strategici (tra cui suola, tallone e arco plantare) che acquisiscono dati in tempo reale sulla pressione esercitata dal piede. Questi dati vengono elaborati da un modulo di controllo centrale (chip di controllo master), il quale è collegato elettricamente ai sensori e gestisce la raccolta, l'elaborazione e la trasmissione delle informazioni.

La comunicazione tra il modulo di controllo e il dispositivo utente avviene tramite connessione wireless Bluetooth, permettendo la trasmissione dei dati a un terminale (come uno smartphone). Il terminale è in grado di visualizzare i dati raccolti sotto forma di cromatogramma a colori RGB, dove ogni colore corrisponde a un diverso livello di pressione esercitata sul piede. Questo sistema consente di valutare se l'arco plantare dell'utente è normale o presenta anomalie, come il piede piatto.

**Monitoraggio in tempo reale:** le solette registrano i valori di pressione in diversi momenti della camminata o della corsa.

**Archiviazione e connessione senza fili:** il modulo Bluetooth consente il trasferimento dei dati senza necessità di connessioni fisiche, mentre una memoria flash integrata permette di archiviare le informazioni raccolte per un'analisi successiva. **Indicazioni luminose LED:** le solette sono equipaggiate con LED che forniscono un'indicazione visiva dello stato del dispositivo. **Materiali e struttura** Le solette sono costituite da più strati conduttivi, tra cui: Un primo strato protettivo conduttivo (realizzato in FPC - Flexible Printed Circuit) Uno strato di membrana conduttiva per garantire la rilevazione della pressione Un secondo strato protettivo conduttivo per protezione e durabilità



(51) Clasificación Internacional de Patentes:  
A61F 5/14 (2006.01) A43B 17/00 (2006.01)  
G01L 1/00 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:  
PCT/ES20 16/0703 19

(22) Fecha de presentación internacional:  
27 de abril de 2016 (27.04.2016)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:  
U201530533 8 de mayo de 2015 (08.05.2015) ES

(72) Inventor: e  
(71) Solicitante : GUTIERREZ PEREZ, Paula Manuela  
[ES/ES]; Passatge Salvador Espriu n° 9, 1º 2ª, 08850 Corro  
D'avall - Les Franqueses del Vallès (Barcelona) (ES).

(74) Mandatario: ESPIELL VOLART, Eduardo Mª; C/Pau  
Clarís n° 77, 2º 1ª, 08010 Barcelona (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,  
para toda clase de protección nacional admisible): AE,  
AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN,

BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ,  
DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE,  
GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE,  
KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,  
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,  
NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS,  
RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY,  
TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,  
ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,  
para toda clase de protección regional admisible):  
ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW,  
SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ,  
BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG,  
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,  
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,  
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

— con reivindicaciones modificadas (Art. 19(1))

(54) Title: INTELLIGENT INSOLE FOR TRAINING POSTURES WHEN WALKING

(54) Título : PLANTILLA INTELIGENTE PARA EDUCAR POSTURAS AL CAMINAR

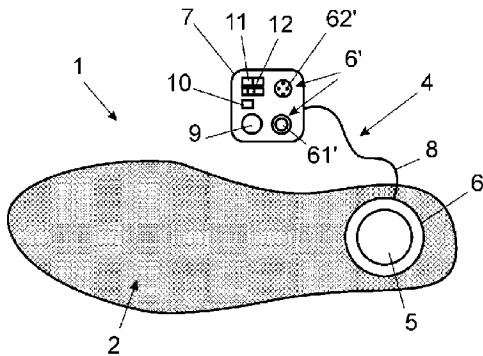


FIG. 1

(57) Abstract: The invention comprises an electronic device (4) supplied with power via a battery, having one or more pressure sensors (5) inserted in the portion corresponding to the heel of the insole of the part (2), and connected to one or more alerting means (6, 6') which, via the corresponding electronics, and when it is detected that the required pressure is not being exerted on said sensor or sensors (5), activates one of said alerting means (6) of the sensorial or vibrating type, and notification means via a light alert (6') or sound alert (62'), same preferably being protected by a covering (7). In this covering (7) there is a battery (9) for supplying the electronic device (4) with power, which incorporates a solar-recharging battery and an interrupter (10) for the starting thereof, as well as a timer (11) for controlling the operating time. The electronic device (4), together with all its components, are incorporated in the part (2) in the same process for the manufacturing thereof.

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]

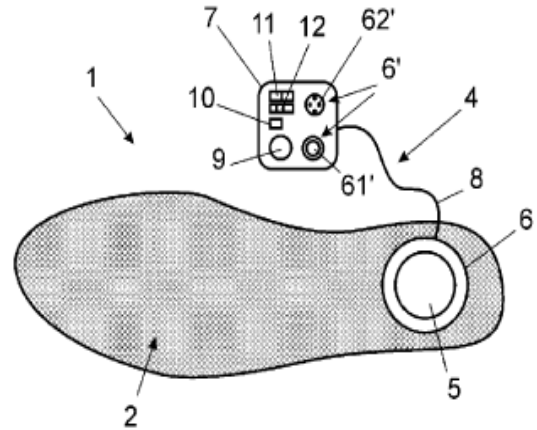


FIG. 1

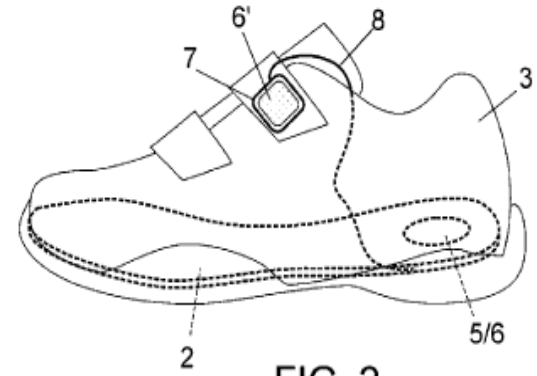


FIG. 2

## Brevetto 3

Inventore: Gutierrez Perez, Paula Manuela

Anno: 2016

Abstract: Il brevetto WO2016181002A1 descrive una soletta intelligente progettata per migliorare la postura durante la camminata. Il dispositivo integra sensori di pressione nella zona del tallone che rilevano se il piede non esercita la corretta pressione. Se viene rilevata una postura errata, si attivano sistemi di avviso, tra cui vibrazioni, segnali luminosi o sonori, per correggere il modo in cui l'utente cammina.

L'elettronica del sistema è alimentata da una batteria ricaricabile e include un pannello solare per la ricarica, un interruttore per l'attivazione e un timer per regolare il tempo di funzionamento. I componenti elettronici sono integrati direttamente nella soletta durante il processo di produzione. L'obiettivo è fornire un metodo pratico per correggere difetti posturali nella camminata, in particolare per bambini con abitudini errate, senza dover ricorrere a ortesi ingombranti.



(54) **FOOTWEAR HAVING SENSOR SYSTEM**

(75) **Inventors:** **Allan M. Schrock**, Portland, OR (US);  
**Matthew A. Nurse**, Lake Oswego, OR (US);  
**Jeffrey C. Pisciotto**, Oregon City, OR (US);  
**Michael S. Amos**, Beaverton, OR (US);  
**Andrew A. Owings**, Portland, OR (US);  
**James C. Meschter**, Portland, OR (US)

(73) **Assignee:** **Nike, Inc.**, Beaverton, OR (US)

(\*) **Notice:** Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 686 days.

(21) **Appl. No.:** **12/483,824**

(22) **Filed:** **Jun. 12, 2009**

(65) **Prior Publication Data**  
US 2010/0063778 A1 Mar. 11, 2010

**Related U.S. Application Data**  
(60) Provisional application No. 61/061,427, filed on Jun. 13, 2008, provisional application No. 61/138,048, filed on Dec. 16, 2008.

(51) **Int. Cl.**  
**G06F 11/30** (2006.01)  
(52) **U.S. Cl.**  
USPC ..... **702/188**  
(58) **Field of Classification Search**  
USPC ..... 702/188, 41, 139, 160, 182, 187  
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**  
**U.S. PATENT DOCUMENTS**

4,518,267 A 5/1985 Hepp  
4,578,769 A 3/1986 Frederick

4,745,930 A 5/1988 Confer  
4,866,412 A \* 9/1989 Rzepczynski ..... 338/114  
4,991,317 A 2/1991 Lasko  
5,047,952 A 9/1991 Kramer et al.  
5,150,536 A 9/1992 Strong  
5,373,651 A 12/1994 Wood  
5,422,521 A 6/1995 Nee et al.  
5,444,462 A 8/1995 Wambach  
5,471,405 A \* 11/1995 Marsh ..... 702/41  
5,636,146 A 6/1997 Flentov et al.  
5,636,378 A 6/1997 Griffith  
5,638,300 A 6/1997 Johnson  
5,644,858 A 7/1997 Bemis  
5,702,323 A 12/1997 Poulton

**FOREIGN PATENT DOCUMENTS**

CN 200994779 12/2007  
EP 1707065 10/2006

**OTHER PUBLICATIONS**

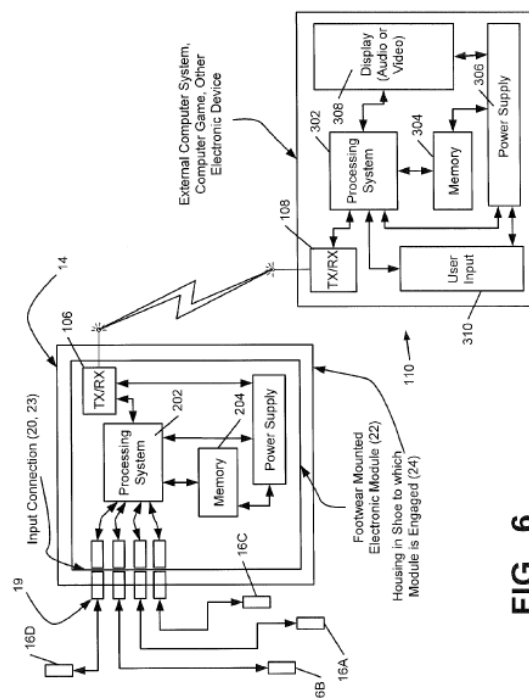
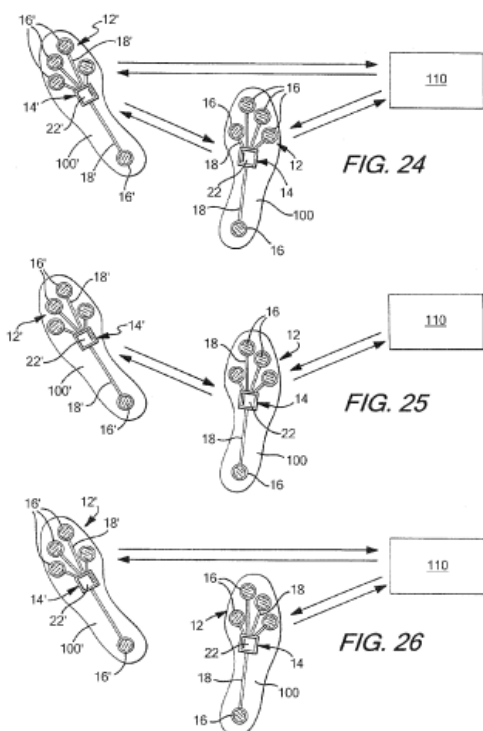
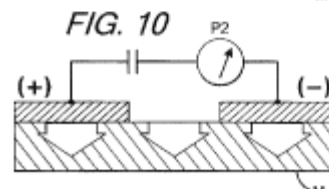
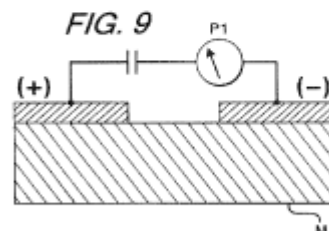
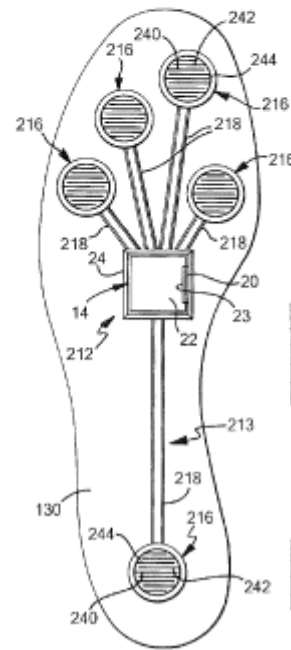
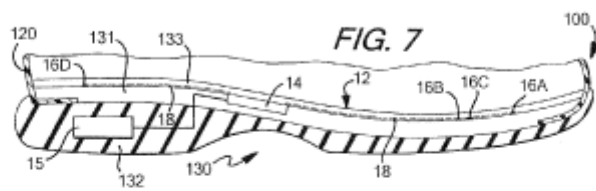
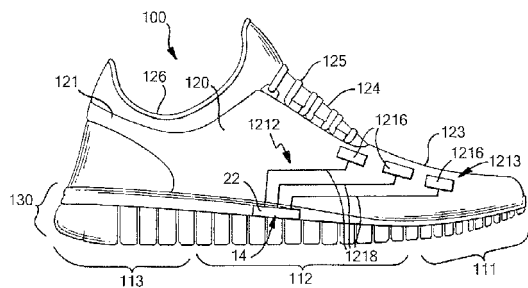
International Search Report and Written Opinion for for PCT Application No. PCT/2009/047246 mailed Dec. 11, 2009.

**Primary Examiner** Mohamed Charoui  
(74) **Attorney, Agent, or Firm** Banner & Witcoff, Ltd.

(57) **ABSTRACT**

A shoe has a sensor system operably connected to a communication port. Performance data is collected by the system and can be transferred for further use via the communication port. The shoe may contain an electronic module configured to gather data from the sensors. The module may also transmit the data to an external device for further processing. The collected data can be further processed for a variety of different uses or applications.

**21 Claims, 16 Drawing Sheets**



**FIG. 6**

## Brevetto 4

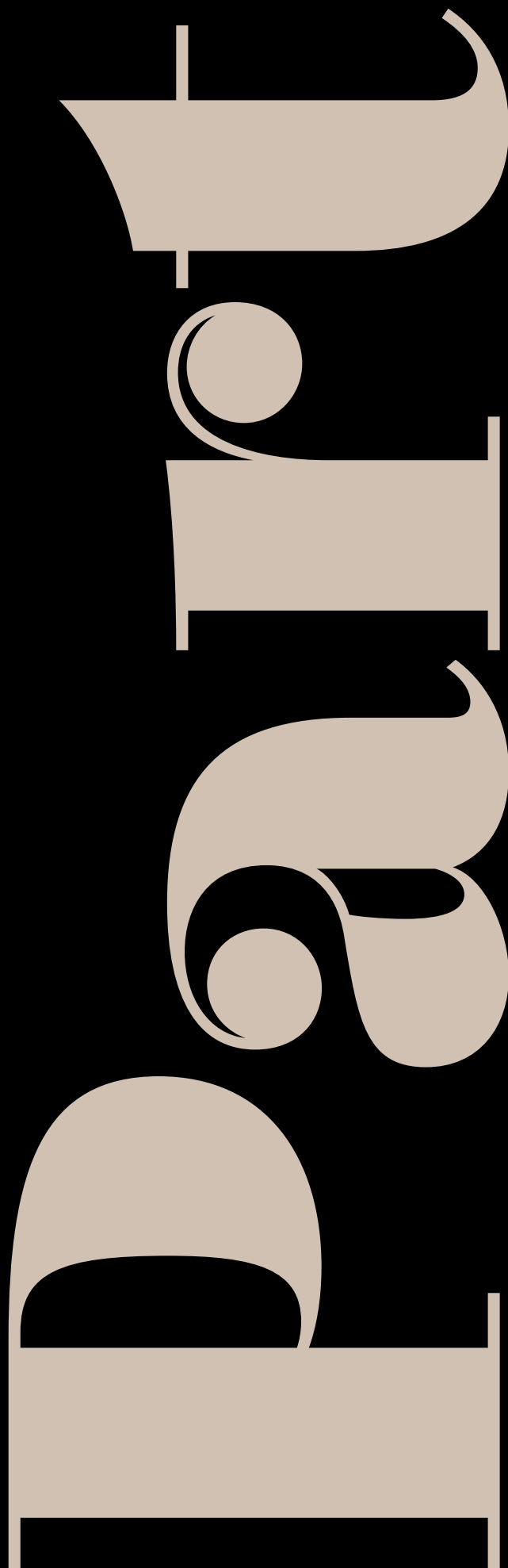
Inventore: Nike, Inc

Anno: 2014

Abstract: Il brevetto US8676541B2 descrive una scarpa con sistema di sensori in grado di raccogliere dati sulle prestazioni dell'utente. Il sistema include una serie di sensori di forza integrati nella suola, progettati per rilevare le forze esercitate dal piede durante il movimento. I dati raccolti possono essere trasmessi tramite una porta di comunicazione universale a un modulo elettronico interno o a un dispositivo esterno per ulteriori elaborazioni.

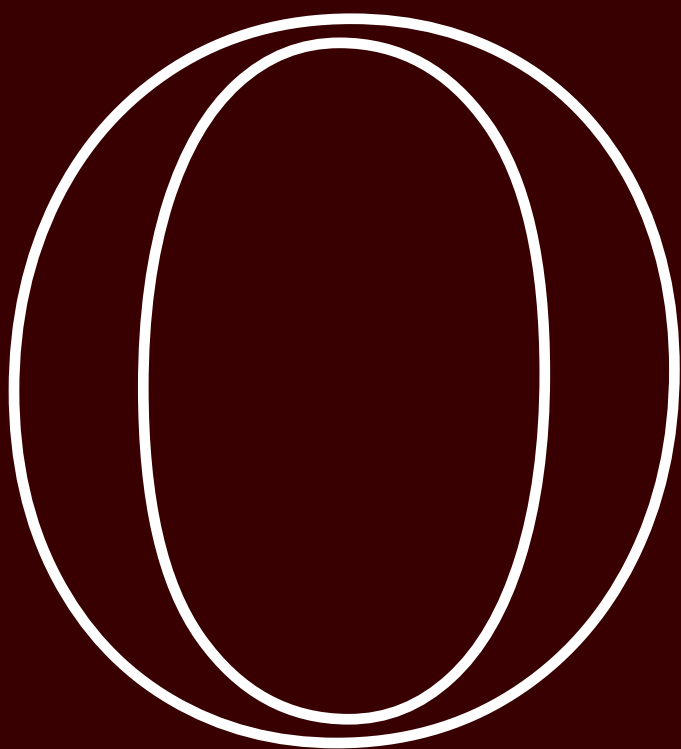
Il sistema di sensori è configurato per misurare parametri come: Pressione esercitata in diverse aree del piede (avampiede, metatarso, tallone) Movimenti laterali e distribuzione del peso Forza d'impatto e schemi di appoggio del piede Il modulo elettronico può essere rimosso e sostituito con altri moduli per applicazioni diverse, tra cui il monitoraggio delle prestazioni atletiche, l'integrazione con dispositivi di gioco, l'analisi del cammino e la valutazione dell'equilibrio. Il brevetto è assegnato a Nike, Inc., suggerendo un'applicazione nel settore sportivo e del fitness.

PROPOSTA





PROGETTUALE

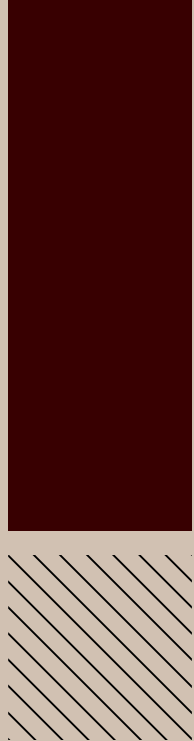




C A P I T O L O T T O

# CONCEPT





## 8.1 Introduzione

---

**N**el contesto delle ricerche condotte e dello stato dell'arte esposto nei capitoli precedenti, è emersa la necessità di individuare un approccio progettuale capace di integrare i principi della biomimesi, le conoscenze acquisite sulle zampe palmate e l'analisi delle pinne da nuoto agonistico attualmente presenti sul mercato. Attraverso lo studio approfondito dei meccanismi di propulsione naturale osservabili in diverse specie animali e l'analisi comparata delle attrezzature sportive esistenti, si è potuto evidenziare come l'attuale panorama tecnologico presenti ancora margini significativi di miglioramento. In particolare, si è notato che le pinne agonistiche oggi disponibili, sebbene ottimizzate per garantire potenza propulsiva e allenamento mirato, non sono in grado di fornire un supporto tecnologico avanzato nella raccolta e nell'analisi dei dati prestazionali.

Parallelamente, le ricerche di mercato hanno mostrato come la maggior parte dei dispositivi di monitoraggio sportivo per il nuoto sia costituita da strumenti esterni o separati, non integrati direttamente nell'attrezzatura tecnica dell'atleta.

Sulla base delle considerazioni emerse, si è individuata l'opportunità di sviluppare un dispositivo innovativo che integri prestazioni idrodinamiche avanzate e soluzioni tecnologiche digitali, assumendo come principale riferimento le strategie adattative proprie delle zampe palmate. L'efficienza dimostrata da tali strutture nella propulsione acquatica ha orientato la definizione dei criteri progettuali, indirizzando le scelte verso configurazioni capaci di incrementare la spinta e ridurre al minimo la resistenza.

## 8.2 Definizione e descrizione del concept

**I**l progetto si colloca all'interno del più ampio scenario dell'innovazione tecnologica applicata all'attrezzatura sportiva, con un focus specifico sul nuoto agonistico.

Le pinne da piscina rappresentano uno strumento essenziale sia per l'allenamento tecnico sia per il potenziamento muscolare, ma le versioni tradizionali non permettono un monitoraggio oggettivo delle prestazioni.

Con l'obiettivo di superare tali limiti, si è definito un concept di pinna intelligente in grado di integrare sensori e componenti elettronici direttamente nella struttura della pinna inalterata la funzionalità primaria del prodotto.

La pinna sarà capace di raccogliere e trasmettere in tempo reale dati per il nuotatore importanti. L'intero sistema si propone come una piattaforma tecnologica completa, costituita da pinne smart (destra e sinistra), da una base di ricarica wireless e da un'applicazione dedicata per la visualizzazione e l'analisi dei dati. L'attenzione posta su ergonomia, comfort e scelta dei materiali innovativi garantirà che la funzione tecnologica non comprometta la vestibilità e le prestazioni idrodinamiche.

### Riferimenti morfologici alle zampe palmate

Per definire le proporzioni e la forma della pinna, si fa riferimento ai dati morfologici raccolti sulle principali specie animali dotate di zampe palmate.

L'analisi riguarda parametri quali lunghezza, larghezza, forma e spessore della membrana interdigitale, considerati fondamentali per replicare l'efficienza propulsiva osservata in natura.

Si osserva, ad esempio, che nella rana la membrana interdigitale può raggiungere una larghezza pari al 150-180% della lunghezza del piede, mantenendo uno spessore inferiore ai 2 mm. Questa configurazione consente di aumentare la superficie palmare disponibile per la spinta senza ridurre la flessibilità necessaria alla fase di recupero della gambata.

Negli uccelli acquatici, come cormorani e anatre, si rileva un rapporto lunghezza/larghezza della membrana compreso tra il 120% e il 160% della base podale, con spessori di 1-3 mm. Tali proporzioni consentono un rapido adattamento della superficie palmare alle diverse fasi del movimento in acqua, garantendo un equilibrio ottimale tra spinta e resistenza idrodinamica.

Dal confronto emerge un principio comune: si massimizza la superficie palmare mantenendo un minimo spessore, in modo da coniugare propulsione e flessibilità. Questo principio guida la definizione concettuale della pala della pinna, orientando le scelte dimensiona-

li e proporzionali del dispositivo. La forma della pala, leggermente appiattita e progressivamente assottigliata verso il bordo, riprende il comportamento biomeccanico delle zampe palmate, permettendo alla pinna di generare una spinta efficace senza compromettere la libertà di movimento dell'atleta.

## Caratteristiche distintive

Il concept così definito presenta alcune caratteristiche che lo distinguono dalle pinne tradizionali:

1. Si definisce la forma e le proporzioni della pala direttamente dai modelli naturali, ottimizzandole per una spinta massimale in acqua.
2. Si integra fin dall'inizio la tecnologia dei sensori come parte della struttura della pinna, evitando l'introduzione di elementi esterni che possano interferire con la nuotata.
3. Si consente la personalizzazione delle dimensioni e del profilo della pala in base alle caratteristiche fisiche dell'atleta, prendendo come riferimento proporzioni biologiche verificabili.

## Funzionalità principali

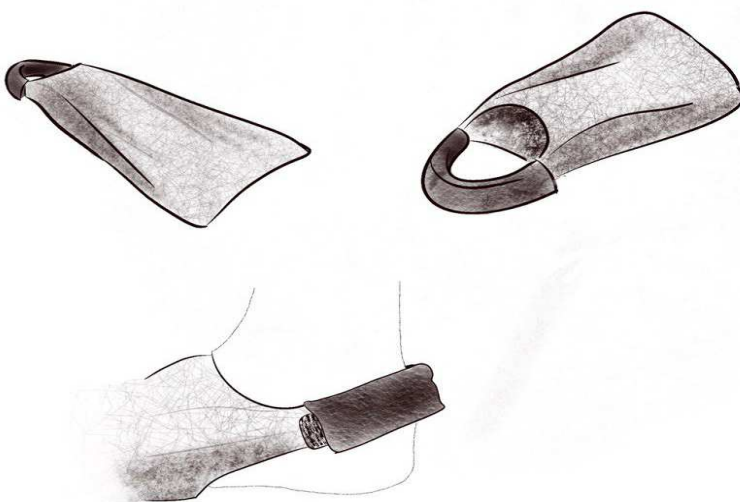
Si definiscono le funzionalità che caratterizzano la pinna:

1. Misurazione della forza applicata durante la gambata;
2. Rilevazione della velocità e dell'accelerazione in acqua;
3. Conteggio del numero di gambate e calcolo della distanza percorsa;
4. Calcolo della potenza di propulsione generata;
5. Trasmissione wireless dei dati verso dispositivi esterni, come app dedicate;
6. Visualizzazione in tempo reale dei parametri e archiviazione dello storico delle sessioni di allenamento.

Si evidenzia come la combinazione di queste funzionalità rappresenti un avanzamento rispetto alle pinne tradizionali, fornendo dati oggettivi che consentono un'analisi completa della performance dell'atleta.



# Pinna



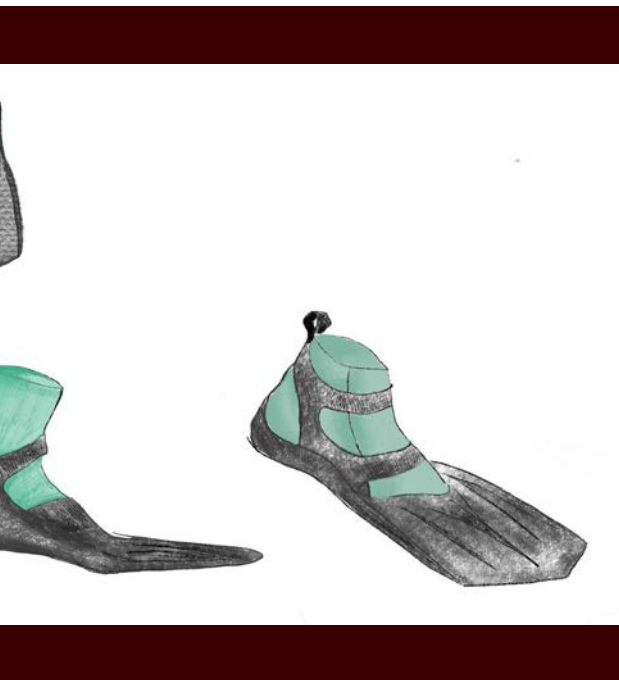
### Concept 1

Misurare le prestazioni dell'atleta, rilevando:

- Forza applicata sulla pinna durante la gambata.
- Velocità di movimento della pinna in acqua.
- Numero di gambate effettuate.
- Distanza percorsa in metri/chilometri.
- Potenza di propulsione generata.
- Monitorare e registrare i dati durante l'allenamento.
- Visualizzare i dati in tempo reale tramite un'app.
- Memorizzare lo storico delle sessioni per l'analisi delle performance.
- Chiusura e apertura in velcro

### Concept 2

Il secondo concept è una pinna da nuoto a forma di scarpetta a calzino. L'obiettivo è garantire massima propulsione e ottimali performance durante la gambata. La scarpetta è aderente al piede in modo da non scivolare via. Questo design elimina il rischio di sfregamento. Adattabilità: creando una pinna che si adatta a una gamba di qualsiasi misura. Migliore trazione: la pinna è completamente aderente al piede.



2

Il Concept 2 prevede la progettazione di una pinna agonistica caratterizzata da una scarpa in silicone e una pala in silicone.

Il principale di questa configurazione è garantire il massimo comfort, adattabilità e prestazioni per l'atleta, riducendo il rischio di abrasioni e migliorando la trasmissione della forza durante la spinta.

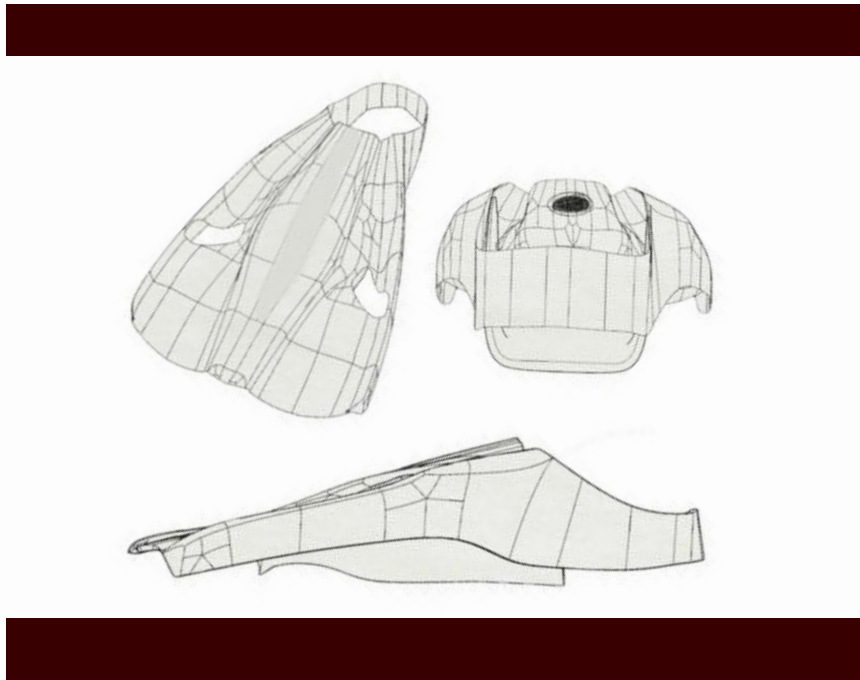
La scarpa sarà progettata con una struttura morbida, simile a un calzino, per avvolgere il piede in modo ergonomico.

Il design offre numerosi vantaggi:

- Eliminazione della necessità di cinturini o fibbie, riducendo il rischio di legamenti e irritazioni.

- Adattamento a diverse conformazioni del piede, garantendo una calzatura personalizzata.

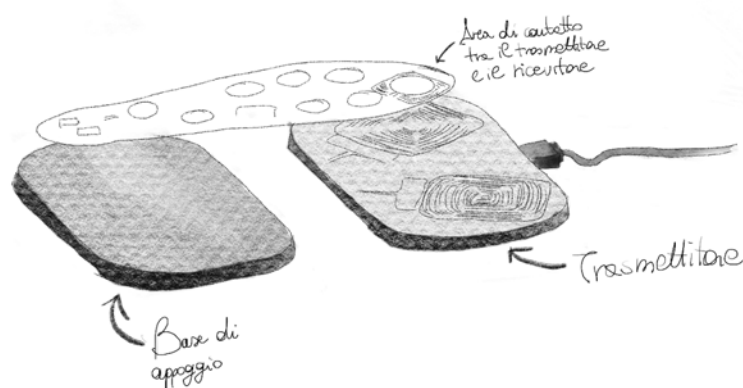
- Migliore trasferimento della forza, poiché il piede è interamente avvolto dal materiale senza punti di contatto rigidi.



## Concept 3

Il terzo e ultimo concept prende come riferimento il modello della pinna Finis Edge, utilizzandolo come caso studio per svilupparne una versione evoluta, intelligente e tecnologica. L'obiettivo è ri-progettare la pinna integrando al suo interno una serie di sensori dedicati al monitoraggio dei parametri tecnici dell'atleta, affiancati da un dispositivo rimovibile che ospita ulteriori componenti elettronici e sensoriali. Questa configurazione permette di raccogliere dati in tempo reale, migliorare l'esperienza d'uso e fornire strumenti avanzati per l'analisi delle prestazioni.

# Ricarica



### Concept 1

Si prevede una base rigida dedicata esclusivamente alla ricarica wireless, progettata per contenere e allineare correttamente le pinne durante il processo di ricarica. Funzionamento: La base contiene due alloggiamenti, uno per la pinna sinistra e uno per la destra, dotati di trasmettitori wireless secondo lo standard Qi. Le pinne vengono posizionate sopra gli alloggiamenti e si ricaricano automaticamente, senza contatti elettrici esposti. Indicatori LED segnalano lo stato di carica di ciascuna pinna. Vantaggi: Sicurezza elevata grazie all'assenza di contatti elettrici esposti; Facilità di utilizzo: basta posizionare le pinne nella posizione corretta; Riduzione del rischio di infiltrazioni d'acqua; Integrazione semplice nella postazione di allenamento o a casa. Limiti: Strumento dedicato esclusivamente alla ricarica; Ingombro relativamente maggiore rispetto a soluzioni multifunzionali; Necessità di allineamento preciso tra pinna e trasmettitore.

### Concept

Si può concepire una rete utilizzando la ricarica cablo inserite all'interno dei connettori che si collega a un alimentatore, tendendo la ricarica a rete favorisce un'utile anche. Ingombro relativo di ricaricare la protezione della rete cavo alla soluzione maggiore alloggiamenti; Si alla ricarica gettazione c



2

Prendere una sacca da piscina simile a quelle utilizzate dagli atleti, che integri un sistema di ventilazione. Funzionamento: Le pinne vengono inserite all'interno della sacca, dove sono posizionati dei ventilatori resistenti all'acqua; La sacca si collega a un alimentatore esterno tramite cavo, permettendo la ricarica simultanea delle pinne; La struttura della sacca favorisce la ventilazione e l'asciugatura delle pinne, rendendola adatta per l'uso quotidiano in piscina. Vantaggi: Facile da usare e trasportabilità elevata; Possibilità di ricaricare più dispositivi contemporaneamente; Protezione delle pinne e ventilazione naturale; Collegamento a un alimentatore esterno permette ricarica più rapida rispetto a un sistema wireless. Limiti: Presenza di cavi, con l'attenzione necessaria per evitare danneggiamenti; Il sistema è meno "pulito" e discreto rispetto a un sistema wireless; Maggiore complessità nella progettazione dei connettori resistenti all'acqua.

## Concept 3

Per il terzo concept viene proposta una base di ricarica dedicata, progettata come complemento funzionale al dispositivo estraibile integrato nella pinna. Poiché il modulo elettronico è removibile, la ricarica avviene tramite un sistema wireless, garantendo un aggancio stabile, sicuro e immediato. La base di ricarica riprende il principio utilizzato nei dock di ricarica

(esempio quelli usati per gli smartwatch), in particolare quelli dotati di sistema a posizionamento magnetico: un piattello circolare dalle dimensioni compatte, con una superficie leggermente concava che facilita l'allineamento automatico del dispositivo. I magneti interni guidano l'inserimento e assicurano il contatto ottimale per la ricarica induttiva, evitando errori di posizionamento e permettendo l'uso anche con mani bagnate, come tipico in ambiente sportivo.

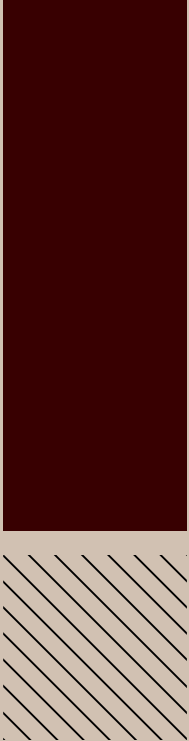
09



C A P I T O L O N O V E

# IDEA PROGETTUALE DEFINITIVA





## 9.1 Introduzione

---

**I**l presente progetto si propone di sviluppare una pinna intelligente, integrando avanzate tecnologie sensoriali ed elettroniche, con l'obiettivo di migliorare l'esperienza d'uso e ottimizzare le prestazioni degli atleti agonistici. L'idea nasce dalla necessità di coniugare la funzionalità di una pinna da nuoto con il monitoraggio in tempo reale delle performance attraverso sensori. Il sistema si compone di tre elementi principali: la pinna stessa, un dispositivo removibile che ospita componenti e sensori e una base di ricarica wireless. L'approccio progettuale si concentra su un design funzionale, utilizzando materiali come il silicone, che offre non solo resistenza e flessibilità ma anche un'ottima protezione per i componenti sensibili. Ogni elemento del sistema è stato pensato per lavorare in sinergia, garantendo non solo prestazioni elevate, ma anche una fruibilità ottimale in ambiente acquatico, in cui le condizioni di utilizzo sono particolarmente esigenti. In questo capitolo, si approfondiranno le caratteristiche del progetto, dalla struttura e integrazione dei sensori nella pinna, alla disposizione dei componenti elettronici nel dispositivo removibile, fino alla progettazione della base di ricarica. Saranno inoltre analizzate le soluzioni tecniche e i materiali scelti per garantire la massima efficienza e durata del sistema, senza compromettere il comfort e la praticità per l'utente.

### Contenuto del KIT

Si prevede che la pinna sia fornita come set completo, comprendente:

1. Pinna sinistra e destra;
2. Base di ricarica wireless compatibile con standard Qi;
3. App dedicata per il monitoraggio dei dati;
4. Manuale di istruzioni per l'uso e la manutenzione.

## 9.2 Definizione e descrizione della pinna

**I**l progetto di questa pinna prende ispirazione dal modello Finis Edge, ma lo trasforma, introducendo tecnologie avanzate per monitorare e ottimizzare le prestazioni degli atleti. L'integrazione dei sensori e dei dispositivi elettronici è progettata non solo per raccogliere dati, ma per fornire un'esperienza d'uso intelligente, che possa essere utilizzata per analizzare la tecnica del nuotatore e ottimizzare le prestazioni. L'evoluzione del percorso di ricerca e la definizione dei requisiti funzionali hanno condotto alla stesura dell'idea progettuale definitiva. Il concept finale, si distacca dalle soluzioni tradizionali proponendo un'architettura ibrida composta da due macro-sistemi interconnessi: una struttura principale in silicone monoblocco e un dispositivo tecnologico removibile, che funge da cervello del sistema.

### Materiale della pinna

La pinna sarà realizzata interamente in silicone grazie alla sua elasticità e impermeabilità, caratteristiche fondamentali in un ambiente acquatico. Il silicone permette una stratificazione ottimale per integrare i sensori e le componenti elettroniche senza compromettere la flessibilità della pinna, assicurando nel contempo una buona risposta idrodinamica. Inoltre, il silicone garantisce una migliore durata rispetto ad altri materiali plastici tradizionali, particolarmente resistente ai danni causati da forze esterne come urti o abrasioni.

I siliconi (o polisilossani) sono polimeri basati su una catena inorganica silicio-ossigeno e gruppi funzionali organici (R) legati agli atomi di silicio.

Le gomme siliconiche sono masse polimeriche formulate che con l'aggiunta di opportuno catalizzatore o agente di vulcanizzazione possono essere vulcanizzate sia ad alta temperatura sia a temperatura ambiente per ottenere oggetti di forma definita, con tutte le caratteristiche di una gomma. Esse sono chiamate HTV (High Temperature Vulcanizing) se vulcanizzano ad alta temperatura, e RTV (Room Temperature Vulcanizing) se vulcanizzano a temperatura ambiente. Sono invece chiamate LSR Liquid Silicone Rubber le gomme sili-



coniche liquide che sono particolarmente adatte, per la loro bassa viscosità, a essere iniettate in uno stampo e sono in genere costituite da due componenti da miscelare al momento della trasformazione. Il tempo di vulcanizzazione di questi prodotti varia in funzione del tipo di catalizzatore o di agente di vulcanizzazione e della temperatura di processo.

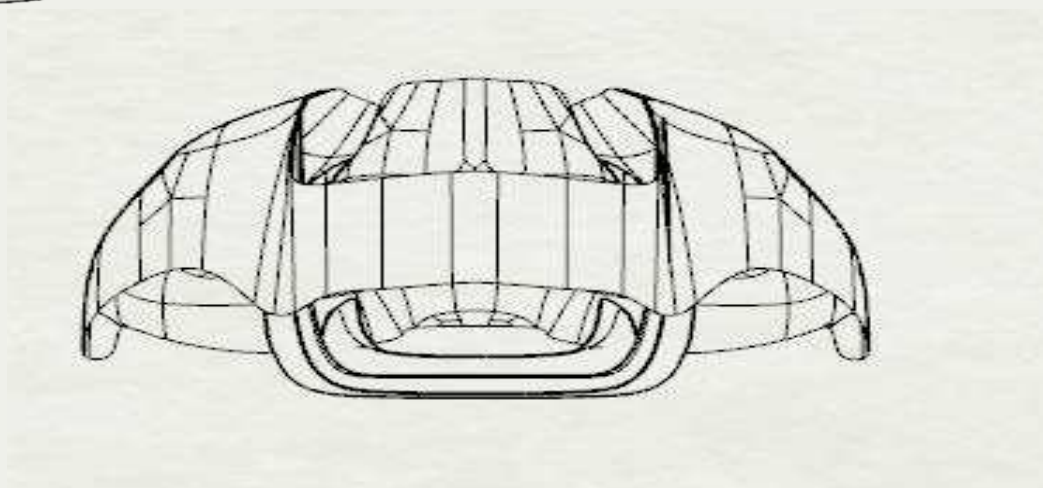
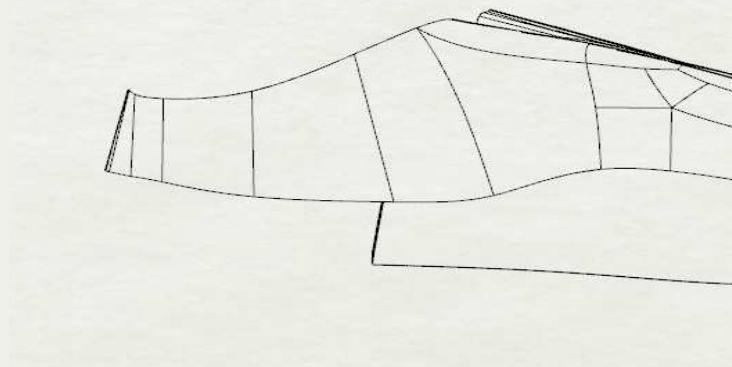
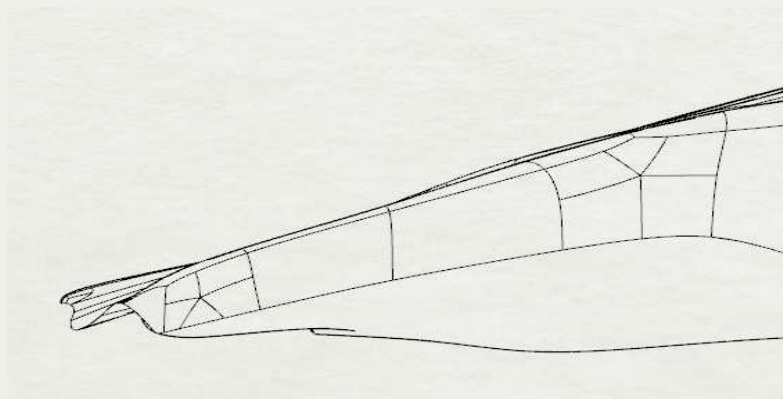
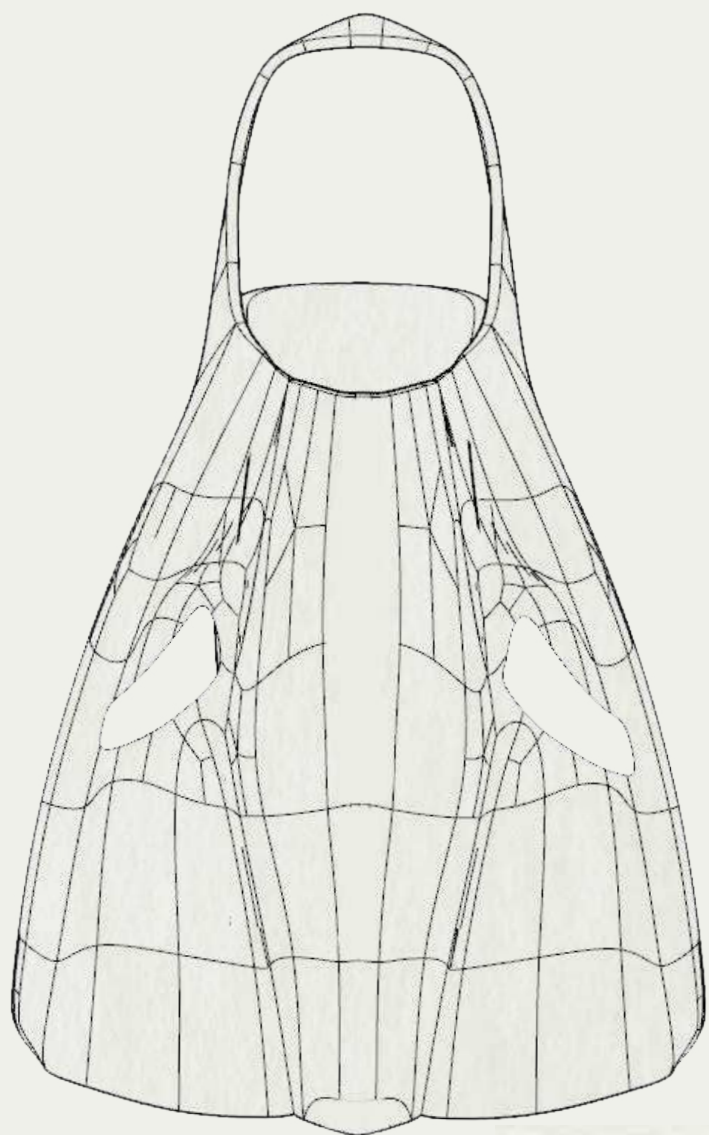
## Materiale del dispositivo rimovibile

Per il guscio del dispositivo rimovibile è stato selezionato l'ABS (Acrilnitrile Butadiene Stirene; è un polimero termoplastico molto versatile, noto per la sua resistenza agli urti e alla rottura, che lo rende ideale per applicazioni in cui sono richieste resistenza e durabilità.

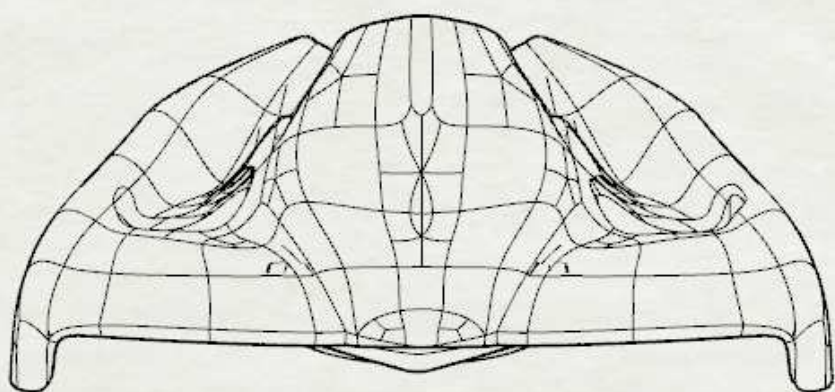
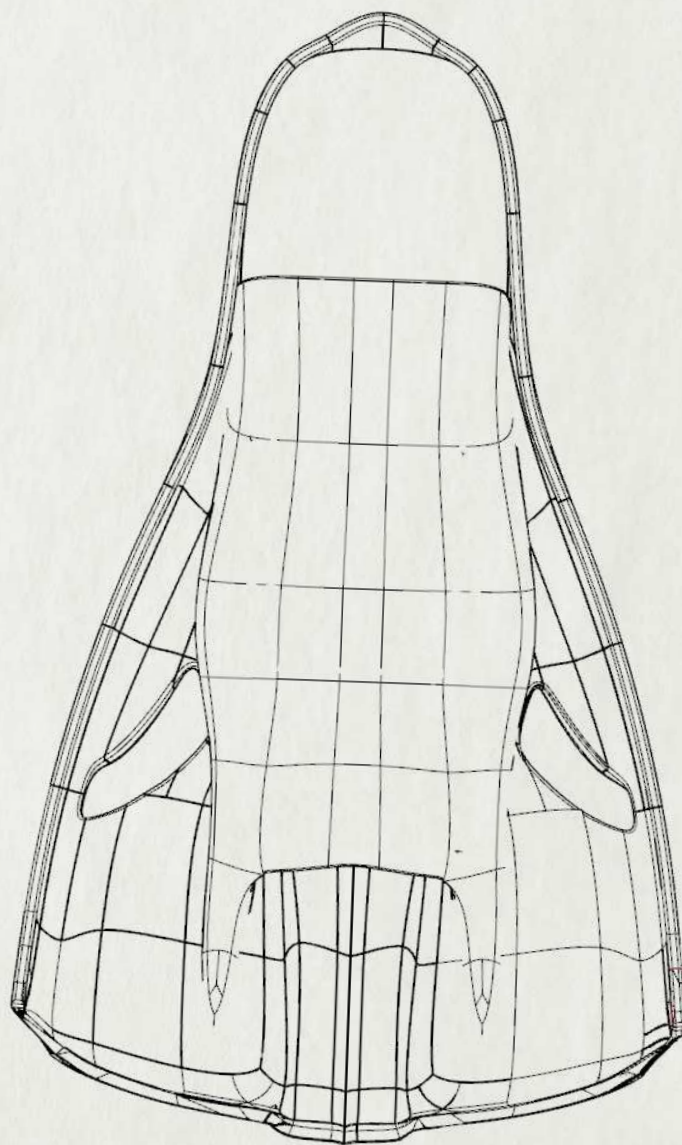
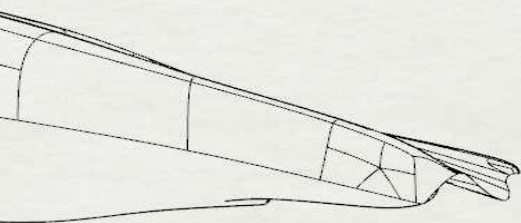
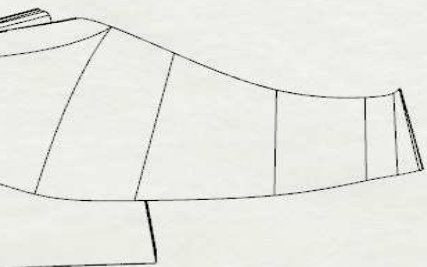
Viene utilizzato in numerosi settori, tra cui automobilistico, elettronico e giocattoli, grazie anche alla sua facilità di lavorazione, come la stampa 3D. L'ABS offre un buon equilibrio tra prestazioni e costo, ma presenta alcune limitazioni, come la sensibilità ai raggi UV e la ridotta resistenza alle alte temperature. È anche riciclabile, sebbene il processo richieda attenzione per mantenere le sue qualità meccaniche. È scelto per la sua resistenza agli urti, facilità di lavorazione e buona stabilità in ambienti normali, ma può non essere adatto per condizioni estreme di temperatura o esposizione ai raggi solari.

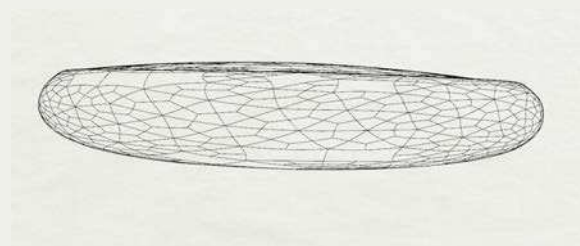
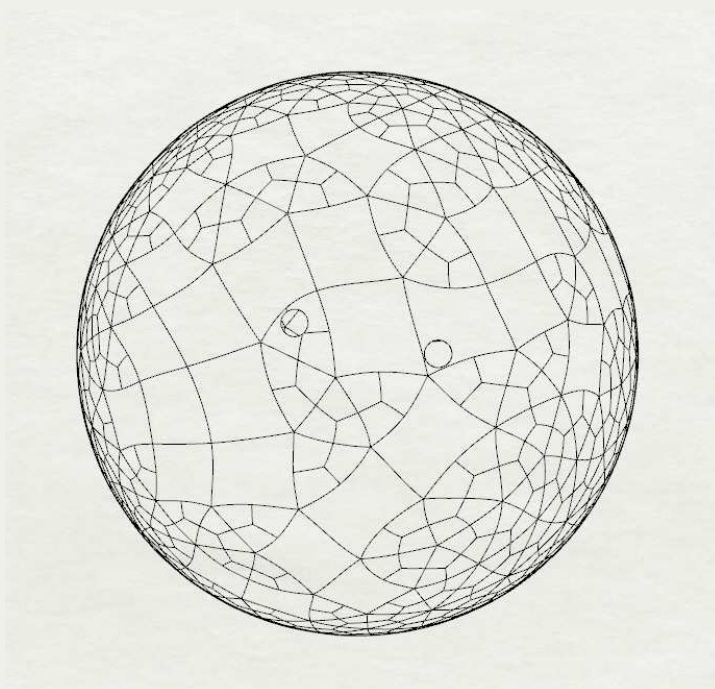
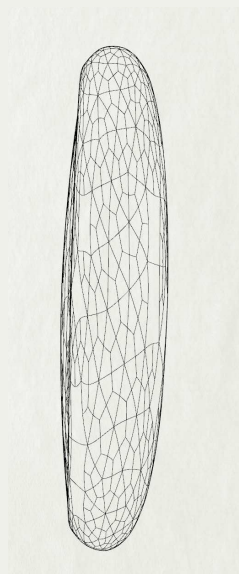
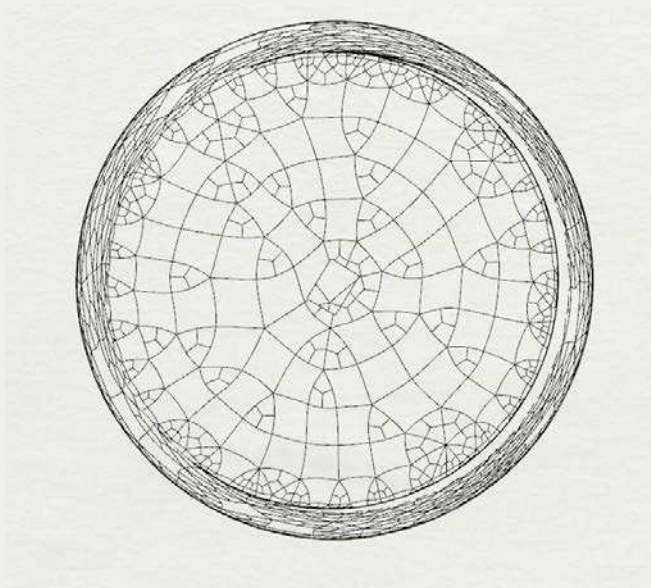
È stato scelto per la necessità di proteggere la delicata componentistica elettronica (microcontrollore, batteria, IMU) al suo interno dagli impatti accidentali. Il guscio è progettato per essere a tenuta stagna (certificazione IP68), con un sistema di incastro che si accoppia saldamente alla sede ricavata sul collo del piede in silicone.



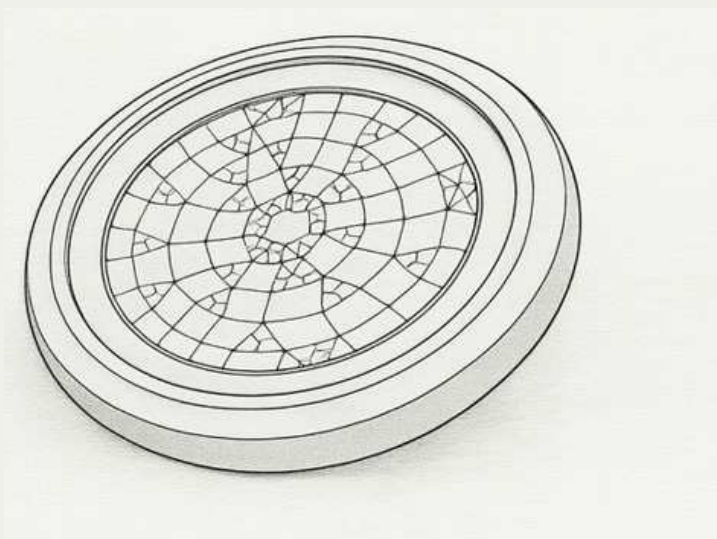


Pinna da nuoto





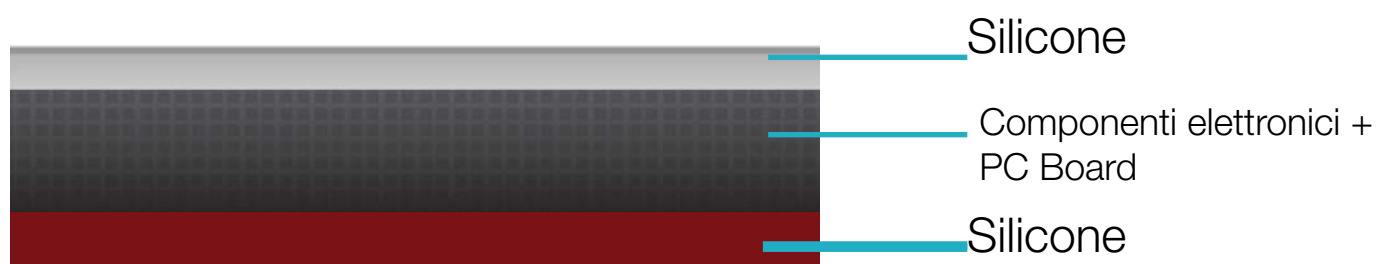
Dispositivo rimovibile



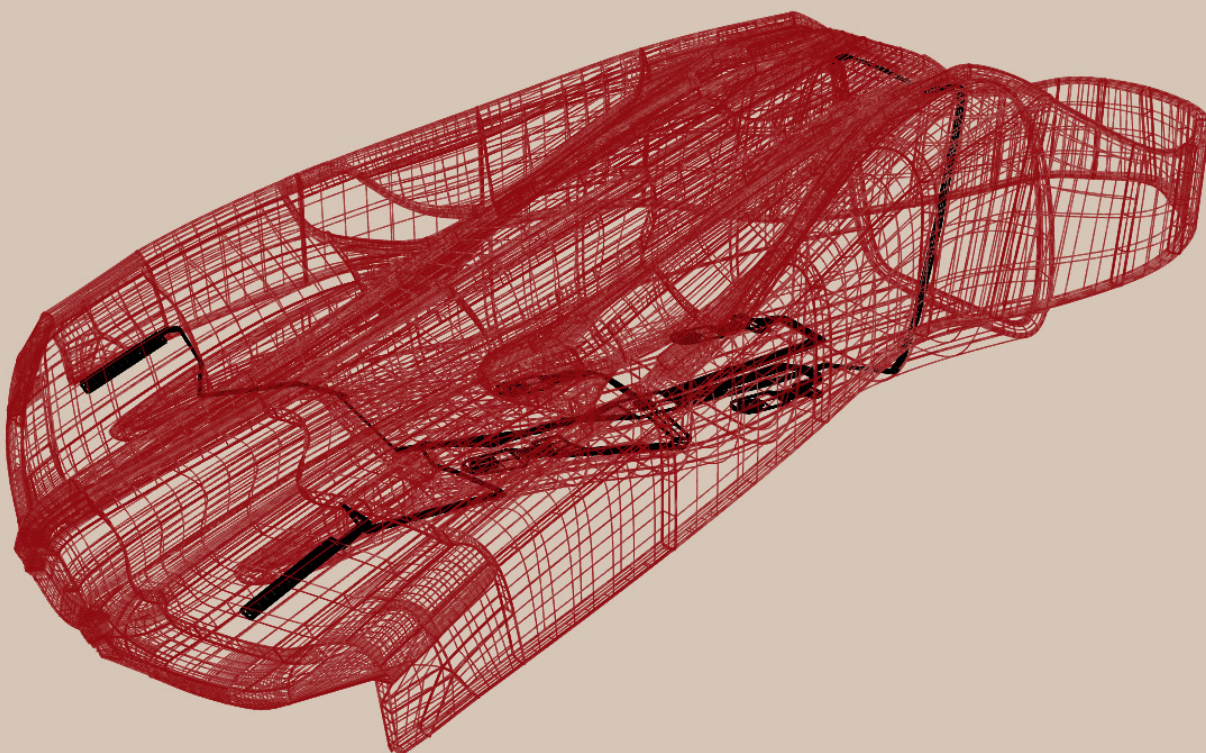
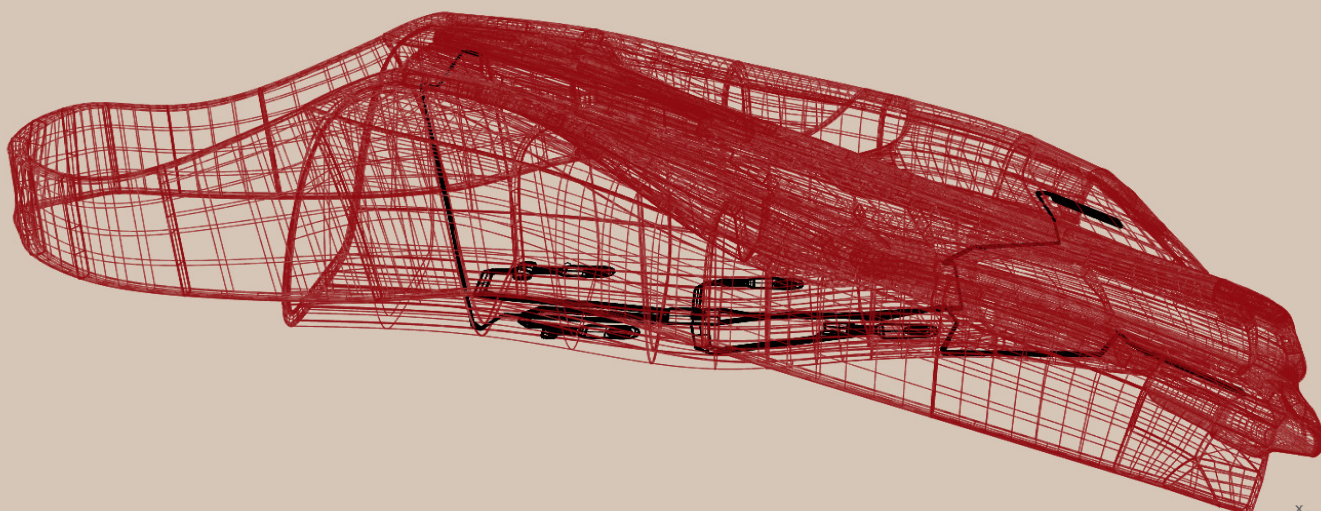
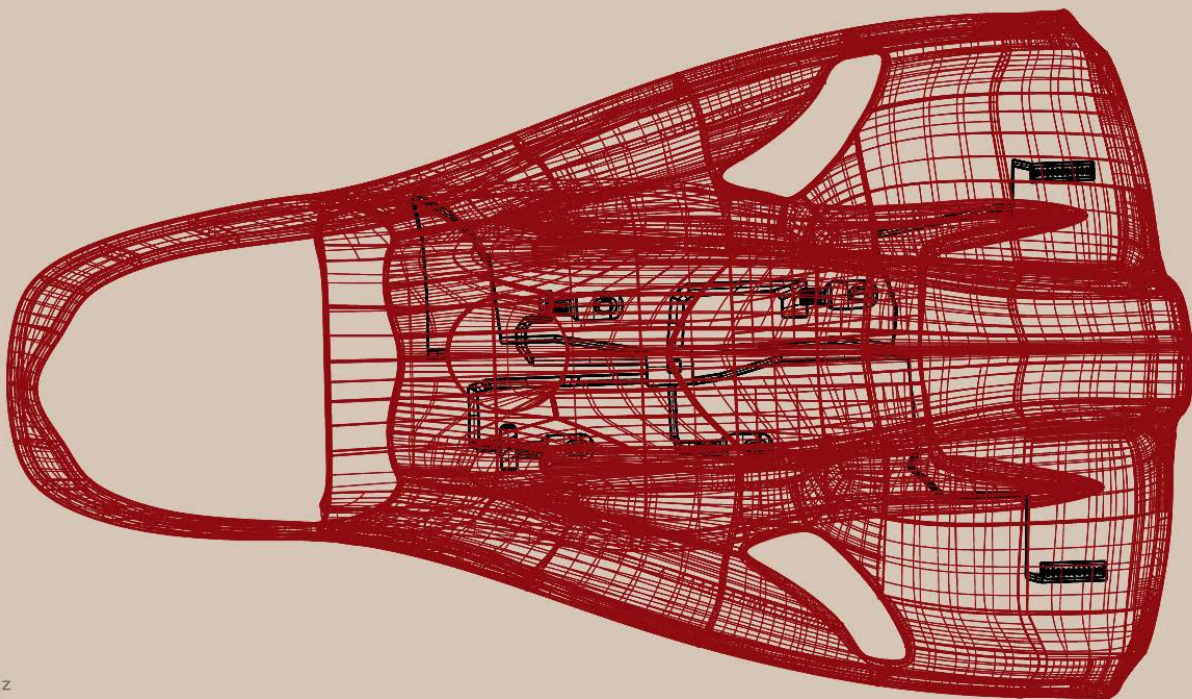


## Stratificazione e alloggiamento

La struttura interna della pinna è concepita attraverso una stratificazione complessa che permette di annegare la componentistica senza alterare il profilo idrodinamico. I sensori sono situati nelle diverse aree della pinna per massimizzare la raccolta di dati relativi alla performance del nuotatore: nella zona plantare, alla base della pinna, sono posizionati 4 sensori di forza che misurano l'intensità e la distribuzione della spinta durante il movimento. Questi sensori sono incapsulati in una stratificazione di silicone rinforzato, garantendo protezione da acqua, e altre sollecitazioni. Nella pala della pinna, vicino alla punta, sono posizionati 2 sensori di forza aggiuntivi e 2 sensori di flessione. Questi sensori sono progettati per monitorare la flessibilità della pinna durante l'uso, rilevando variabili come la deformazione e la resistenza al movimento, cruciali per analizzare la tecnica di nuoto. Tutti i sensori sono collegati a un microprocessore integrato nella base della pinna, che funge da centralina di controllo. Questo microprocessore coordina la raccolta dei dati e li trasmette al microcontrollore all'interno del dispositivo removibile. La connessione tra i sensori e i microprocessori avviene tramite un sistema di cablaggio flessibile, protetto da un rivestimento in silicone per evitare danni durante l'uso e l'immersione. I cablaggi sono progettati in modo da minimizzare l'attrito e l'ingombro, assicurando un passaggio sicuro ed efficiente dei segnali elettrici.







## Interfaccia di connessione e accoppiamento modulare

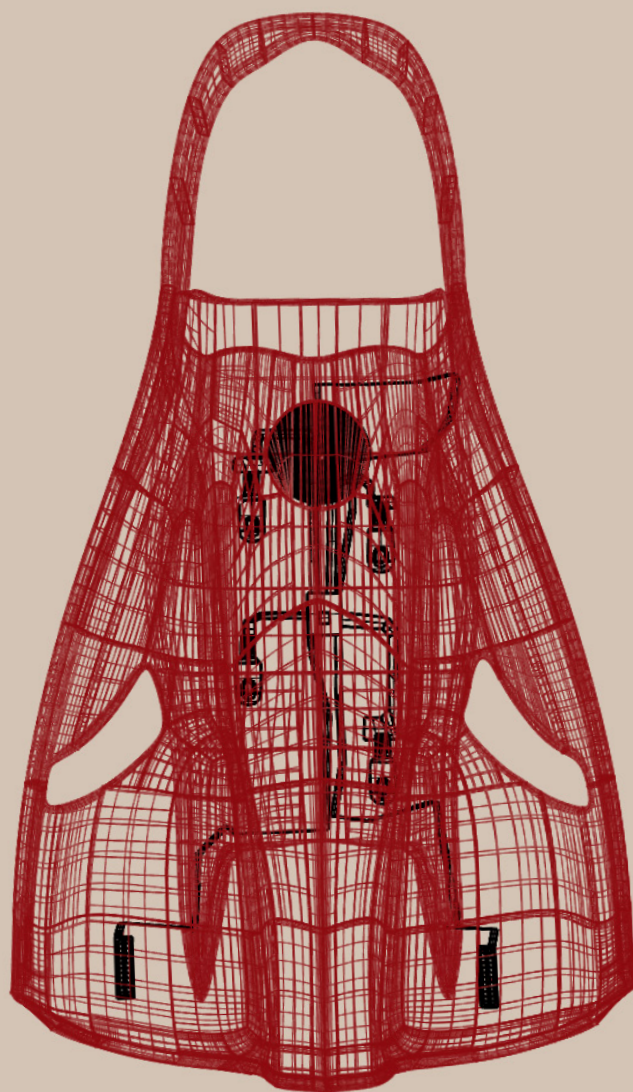
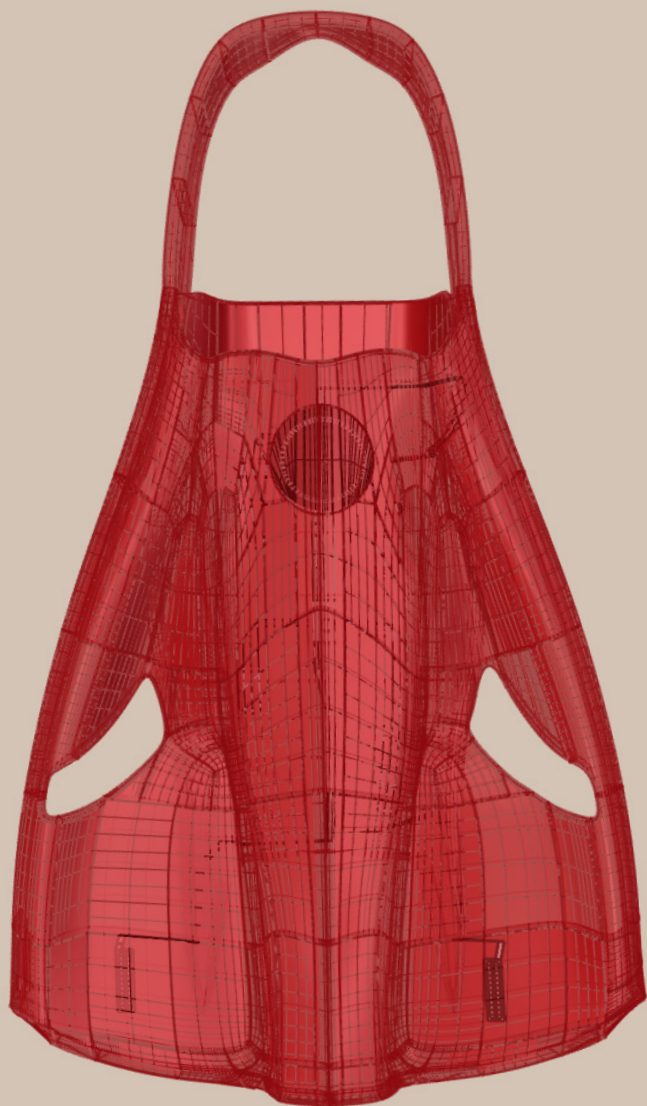
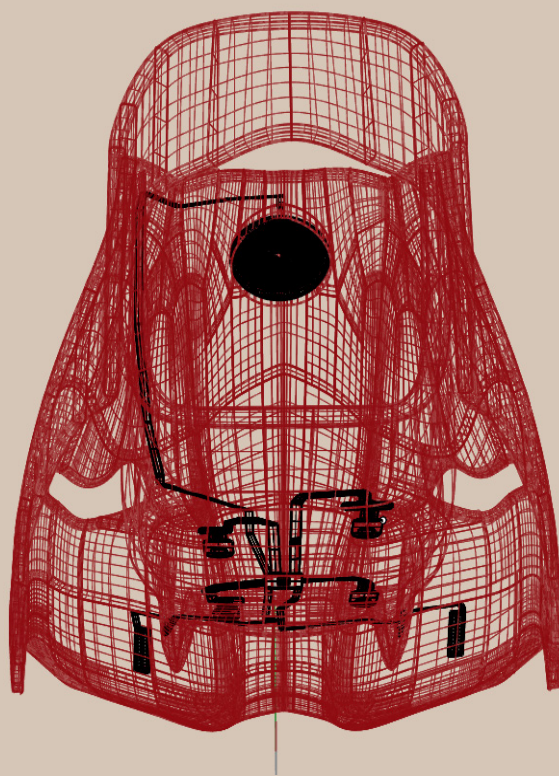
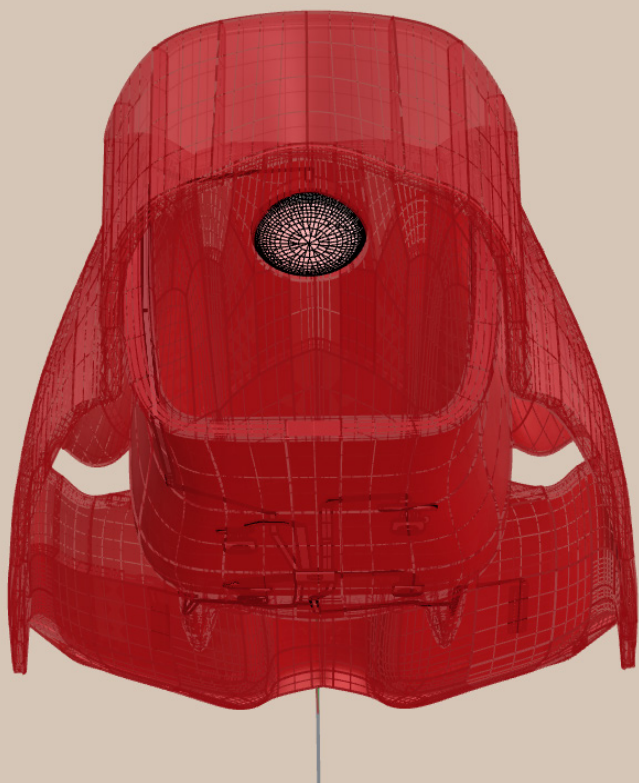
La funzionalità intrinseca del sistema risiede nella sua architettura modulare, specificamente nel meccanismo di accoppiamento tra la pinna in silicone e il dispositivo removibile. L'integrazione è resa possibile da un incavo di precisione ricavato sulla parte superiore della pinna, situata sul collo del piede, che funge da alloggiamento meccanico e garantisce un posizionamento preciso. La connessione elettrica tra i due moduli è mediata da un sistema di pogo pins, ovvero contatti elettronici a molla che garantiscono un accoppiamento stabile e reversibile.

Il sistema :

1. Nella pinna in silicone: I pogo pins, incassati nella sede dell'incavo, sono direttamente collegati a un microprocessore di gestione del segnale annegato nella struttura. Questo, a sua volta, è connesso ai cablaggi dei sensori di forza e flessione, agendo come concentratore e pre-elaboratore dei dati analogici. La sua presenza è necessaria per convertire i segnali sensoristici in un formato digitale idoneo al trasferimento.

2. Nel dispositivo removibile: La parte inferiore, simmetricamente, è dotata di una serie corrispondente di pogo pins. Questi contatti sono direttamente collegati al microcontrollore centrale. Questo processore principale gestisce tutte le funzionalità attive, essendo connesso internamente alla batteria per l'alimentazione, all'unità di misura inerziale IMU, al sensore di battito cardiaco ottico e al modulo di ricarica Qi wireless. Quando il dispositivo viene inserito e incastrato, i due insiemi attraverso i pins si accoppiano, stabilendo un collegamento che permette lo scambio di dati digitali tra il microprocessore della pinna e il microcontrollore centrale del dispositivo removibile. Questo meccanismo garantisce che, una volta montato, l'intero sistema funzioni come un'unica unità integrata.

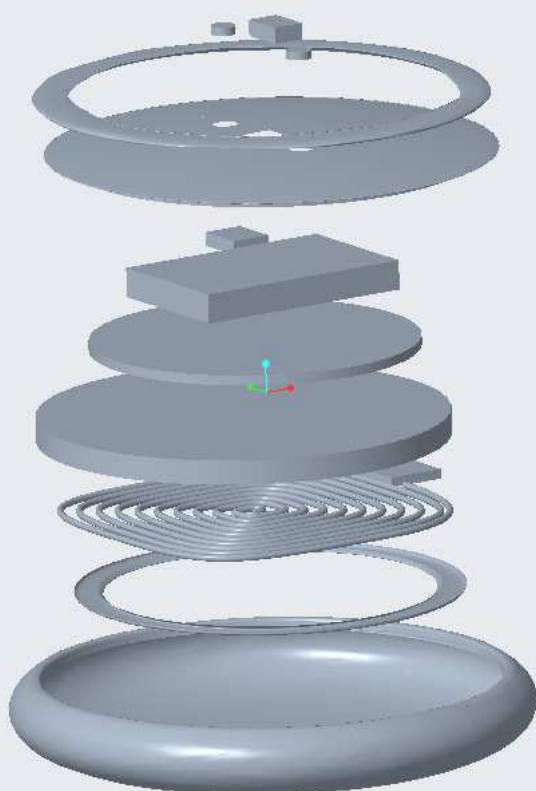




## 9.3 Definizione e descrizione del dispositivo removibile

---

**I**l dispositivo removibile è progettato per essere il più sottile possibile, con uno spessore che non comprometta il comfort dell'utente, pur ospitando i componenti elettronici necessari. La struttura del dispositivo è realizzata in polimero resistente, con una finitura liscia e compatta, che permette di ridurre le dimensioni e il peso senza sacrificare la robustezza. All'interno del dispositivo removibile sono disposti, in modo ottimale, il microcontrollore, i sensori (inclusi quelli di movimento e temperatura) e la batteria ricaricabile. La batteria, di tipo li-ion, è posizionata nella parte centrale, mentre il microcontrollore e i sensori sono disposti lungo i bordi, in modo da bilanciare l'ingombro e garantire una distribuzione uniforme del peso. Il dispositivo removibile è progettato per essere montato sulla parte superiore del collo del piede. Il sistema di aggancio avviene tramite un incastro magnetico che permette un inserimento e rimozione rapidi e sicuri, senza compromettere la tenuta durante l'uso. Un'ulteriore guarnizione in silicone lungo il bordo assicura la tenuta stagna, proteggendo i componenti elettronici da eventuali infiltrazioni di acqua e garantendo l'impermeabilità complessiva del sistema.



Pogo Pins

Sensore Battito Cardiaco

IMU

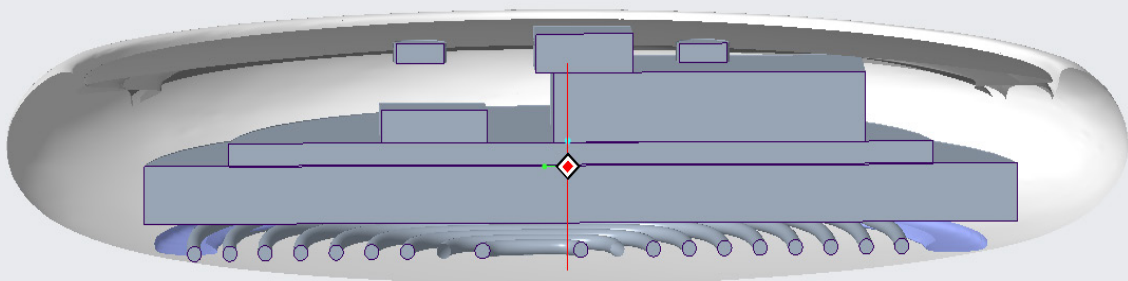
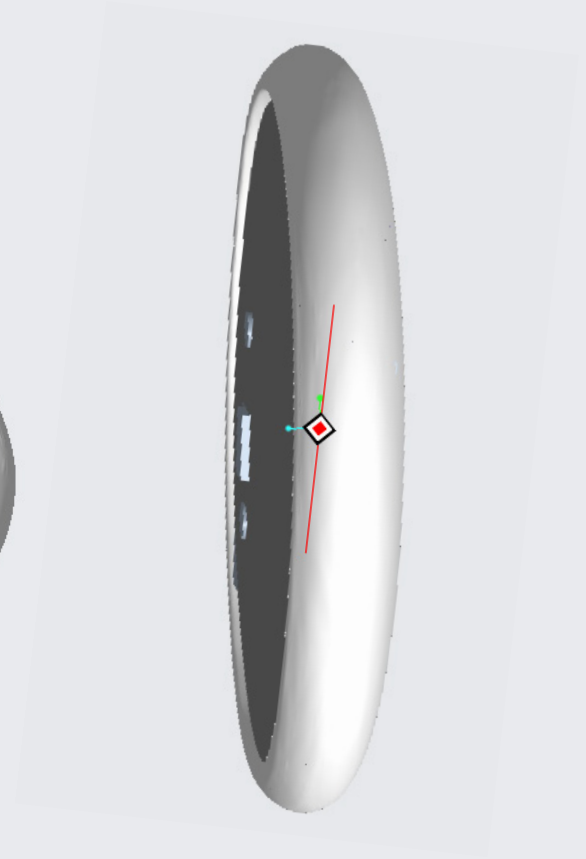
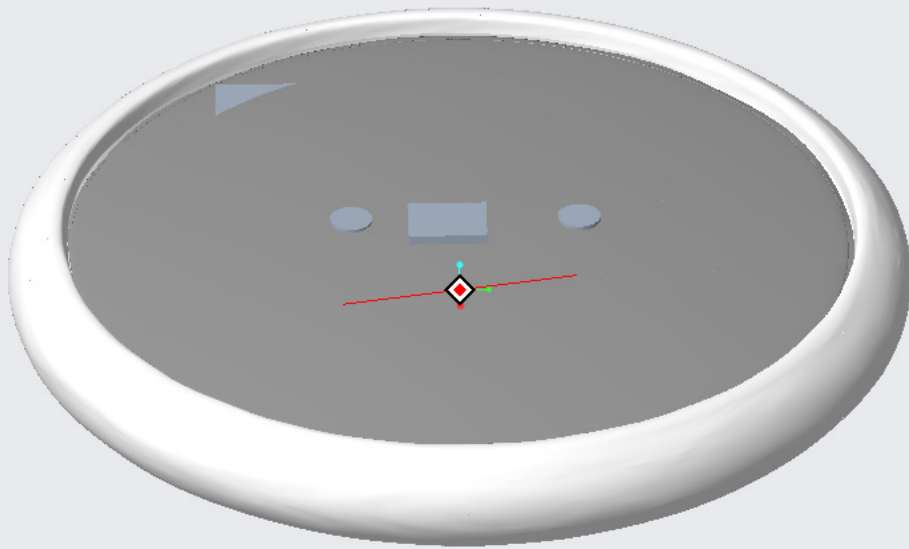
Microcontrollore

PCBoard

Batteria

Qi Wireless

Magnete



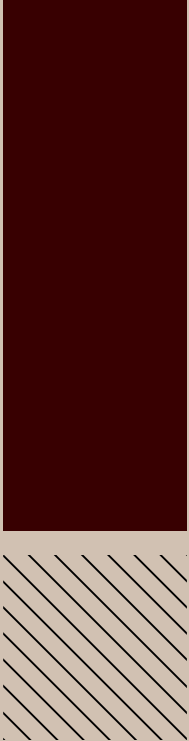


10

C A P I T O L O D I E C I

# ANALISI FUNZIONALE





## 10.1 Rilevamento attività del nuotatore

**L**'integrazione di sensori avanzati all'interno della pinna da nuoto agonistico costituisce un elemento chiave per trasformare un dispositivo sportivo tradizionale in uno strumento intelligente di analisi biomeccanica e prestazionale. L'obiettivo principale è monitorare in tempo reale i parametri fisici, fisiologici e tecnici del nuotatore, fornendo dati utili per ottimizzare la tecnica, migliorare la performance e prevenire l'affaticamento e l'infortunio.

### Monitoraggio delle prestazioni sportive

Le attività che andranno monitorate durante l'allenamento dalla pinna e poi essere riprodotte da app saranno: media e punti massimi del battito cardiaco, metri/km, numero vasche, numero pinneggiate, velocità, frequenza delle pinneggiate (ritmo, pinneggiate/minuto), ampiezza della pinneggiata (quanto si flette la pinna), efficienza della propulsione, consumo energetico stimato / calorie, livello di ossigenazione (SpO2) che sarà utile per monitorare affaticamento, accelerazione e decelerazione (per capire i momenti di massima spinta) durata totale della sessione e tempi parziali per vasca, rilevamento della forza di spinta e monitoraggio della performance.

## 10.2 Analisi dettagliata delle attività di monitoraggio

### Rilevamento della forza di spinta e monitoraggio della performance

#### **Sensori di forza (FSR)**

La pinna è dotata di otto sensori di forza (Force Sensing Resistors) distribuiti lungo la suola interna. Essi misurano la pressione esercitata dal piede durante la fase di spinta, rilevando la variazione di forza quando il piede entra in contatto con l'acqua. I dati vengono inviati al microprocessore centrale, che elabora in tempo reale le variazioni di carico per analizzare l'efficacia della spinta e l'equilibrio tra gli arti. Questa funzionalità è essenziale per valutare la distribuzione della forza e migliorare la simmetria, soprattutto in soggetti in fase di allenamento tecnico o in programmi di riabilitazione sportiva.

### Rilevamento della velocità e dell'accelerazione

#### **Sensori di velocità (Accelerometro)**

Un accelerometro a tre assi (X, Y, Z) integrato nella pinna rileva le accelerazioni lineari generate durante la gambata. Il sensore registra la velocità istantanea e le variazioni dinamiche di movimento, fornendo un quadro preciso dell'intensità dello sforzo. L'analisi dei dati di accelerazione consente di calcolare la velocità di avanzamento, identificare le fasi di accelerazione e decelerazione e individuare eventuali inefficienze tecniche.

### Monitoraggio della frequenza di pinneggiare e della propulsione

#### **Contatore delle pinneggiate (sensore di movimento)**

La frequenza di pinneggiata, espressa in pinneggiate al minuto, è un indice fondamentale del ritmo di nuotata e della resistenza dell'atleta. I dati raccolti permettono di analizzare la cadenza ideale in funzione della distanza e del tipo di allenamento.



## Rilevamento della potenza di propulsione

La combinazione tra sensori di forza e sensori di velocità consente al sistema di calcolare la potenza di propulsione generata durante ogni ciclo di movimento. Il microprocessore elabora i dati in tempo reale per fornire all'atleta un feedback sull'efficienza del gesto: una potenza elevata, associata a una frequenza ottimale, rappresenta un movimento energeticamente efficace. Questa funzione è particolarmente utile per quantificare l'intensità dell'allenamento e per monitorare i progressi nel tempo.

## Analisi dell'ampiezza e della flessione della pinna

Questi dati permettono di valutare la coordinazione del gesto e la deformazione elastica del materiale, due fattori che influenzano direttamente l'efficienza propulsiva. Un'eccessiva rigidità o una flessione insufficiente possono ridurre la spinta e aumentare la resistenza idrodinamica; al contrario, un'ampiezza ben calibrata garantisce massima trasmissione della forza all'acqua.

## Rilevamento della frequenza cardiaca e dell'ossigenazione

### **Sensore ottico PPG / SpO2 integrato**

Un sensore ottico PPG (Photoplethysmography), posizionato in prossimità del colo del piede, nella parte interna della pinna, misura la frequenza cardiaca e la saturazione di ossigeno nel sangue (SpO2). Il segnale ottico riflesso viene analizzato per determinare la variazione del volume sanguigno, consentendo una valutazione in tempo reale dello stato fisiologico dell'atleta. Il monitoraggio del battito cardiaco e della SpO2 è fondamentale per identificare situazioni di affaticamento, stress termico o ridotta ossigenazione muscolare, ottimizzando il carico di lavoro e la sicurezza durante l'attività.

## Stima del consumo energetico e delle calorie bruciate

Combinando i dati di frequenza cardiaca, accelerazione e durata dell'attività, la pinna calcola il consumo energetico stimato. Questo parametro fornisce una misura indiretta del dispendio calorico durante la sessione di nuoto.

## Monitoraggio della distanza, dei tempi e del ritmo

Il sistema calcola automaticamente la distanza percorsa, il numero di vasche completate e la durata totale della sessione, sincronizzando i dati temporali con i sensori di movimento. Questo consente di fornire una visione completa del ritmo di nuotata, dei tempi parziali per vasca e della continuità dell'allenamento. I risultati possono essere visualizzati in tempo reale o analizzati successivamente tramite App.

## Monitoraggio delle prestazioni sportive

| Parametro                     | Descrizione                                                                    | Utilità                                            |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Distanza percorsa (m / km)    | Calcolo della distanza totale nuotata tramite accelerometria e filtraggio dati | Analisi dei carichi di allenamento                 |
| Numero di vasche              | Rilevamento automatico dei cambi di direzione in piscina                       | Monitoraggio sessione senza intervento manuale     |
| Velocità di nuotata           | Stima tramite accelerazione lineare e tempi per vasca                          | Valutazione dell'intensità e dei progressi         |
| Accelerazione / Decelerazione | Analisi delle variazioni dinamiche del movimento                               | Identificazione dei momenti di massima propulsione |
| Durata totale della sessione  | Cronometraggio e campionamento                                                 | Analisi della distribuzione dello sforzo           |

## Analisi tecnica della pinneggiata

| Parametro                                        | Descrizione                            | Utilità                                    |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| Frequenza delle pinneggiate (pinneggiate/minuto) | Rilevamento cadenza tramite IMU        | Definizione del ritmo di nuotata           |
| Ampiezza della pinneggiata                       | Misura della flessione della pala      | Valutazione tecnica del gesto propulsivo   |
| Efficienza propulsiva                            | Rapporto tra pinneggiate e avanzamento | Identificazione di dispersioni energetiche |

## Monitoraggio fisiologico

| Parametro                                    | Descrizione                                                         | Utilità                                               |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Frequenza cardiaca                           | Rilevazione battito tramite PPG o sensore ottico al collo del piede | Controllo carico fisiologico                          |
| Ossigenazione periferica (SpO <sub>2</sub> ) | Stima saturazione ossigeno                                          | Indicatore di affaticamento e ossigenazione muscolare |
| Consumo energetico / Calorie                 | Calcolo tramite HR                                                  | Pianificazione nutrizionale e del recupero            |

## Architettura e sensoristica e componenti integrati

| Sensore / Componente                  | Funzione                                                  | Posizionamento previsto |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|
| Sensori FSR (Force-Sensing Resistors) | Forza di spinta, distribuzione carico, simmetria          | pala pinna              |
| Sensore di flessione                  | Ampiezza/flessione pala (angolo/curvatura)                | pala pinna              |
| IMU (Accelerometro + Giroscopio)      | Velocità, accelerazione, frequenza e ampiezza pinneggiata | Collo del piede         |
| PPG / Sensore cardio ottico           | Frequenza cardiaca e SpO <sub>2</sub>                     | Collo del piede         |
| Microcontrollore                      | Elaborazione dati in tempo reale                          | Collo del piede         |
| Modulo wireless BLE / NFC             | Trasferimento dati e sincronizzazione                     | Collo del piede         |
| Batteria                              | Alimentazione sistema                                     | Collo del piede         |
| Sistema di ricarica wireless          | Ricarica induttiva tramite basetta dedicata               | Collo del piede         |





## 10.3 Architettura di sistema

---

### Componenti e sensoristica della pinna

#### Microcontrollore

Microchip ATtiny1616 - È ultrasottile con un consumo bassissimo.



MISURA: 4 x 4 x 1 mm

#### Sensore di forza

FlexiForce A301 Sensor - 6 sensori di forza di cui 4 posizionati nella suola della pinna e 2 posizionati nella punta della pala della pinna



MISURA: 25 x 14 x 0,2 mm

## SpectraSymbol Flex Sensor

Sensore di curvatura flessibile col formato a striscia che cambia resistenza in funzione della curvatura; alternativa a estensimetro thin-film incollato lungo la fibra della pinna per misurare l'angolo di flessione locale.



MISURA: 6 mm x 25 mm x 0.4 mm

## Componenti e sensoristica del dispositivo removibile

### Microcontrollore

raytac MDBT42Q-U512KV2

(doppio Cortex-M33, BLE 5 multiprotocollo, pacchetto WLCSP per ingombro minimo), con una potenza di calcolo sufficiente per sensor-fusion e compressione on-device, mantenendo consumi contenuti.

MISURA: 8.8 x 13,8 x 1,8 mm



### IMU per cinematica della pinneggiata

La misura della cadenza, dei picchi di spinta (tramite jerk/accelerazione) e la stima di velocità (ancorata a vincoli fisici) richiede un'IMU a basso rumore.

- **ST LSM6DSV16X** accelerometro+giroscopio; architettura "triple-core" con MLC/FSM on-chip). Indicata quando si vogliono sfruttare filtri/feature a bordo per ridurre carico computazionale.

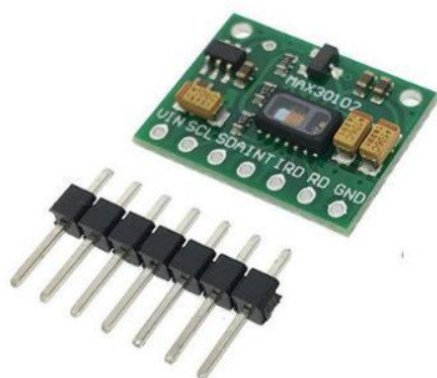
MISURA: 2.5 mm x 3 mm x 0.83 mm



## Sensore battito cardiaco

- MAX 30102

MISURA: 1,97 mm x 2,75 mm x 1 mm



## Batteria LiPo 3,7V

- 210 mAh

MISURA: 20 X 3,5 mm



## Ricarica Wireless

- bq51013b

MISURA:3,6 mm x 4,6 mm x 0,6 mm

- Bobina

MISURA:20mm x 0,2 mm

## PCB Circolare

- bq51013b

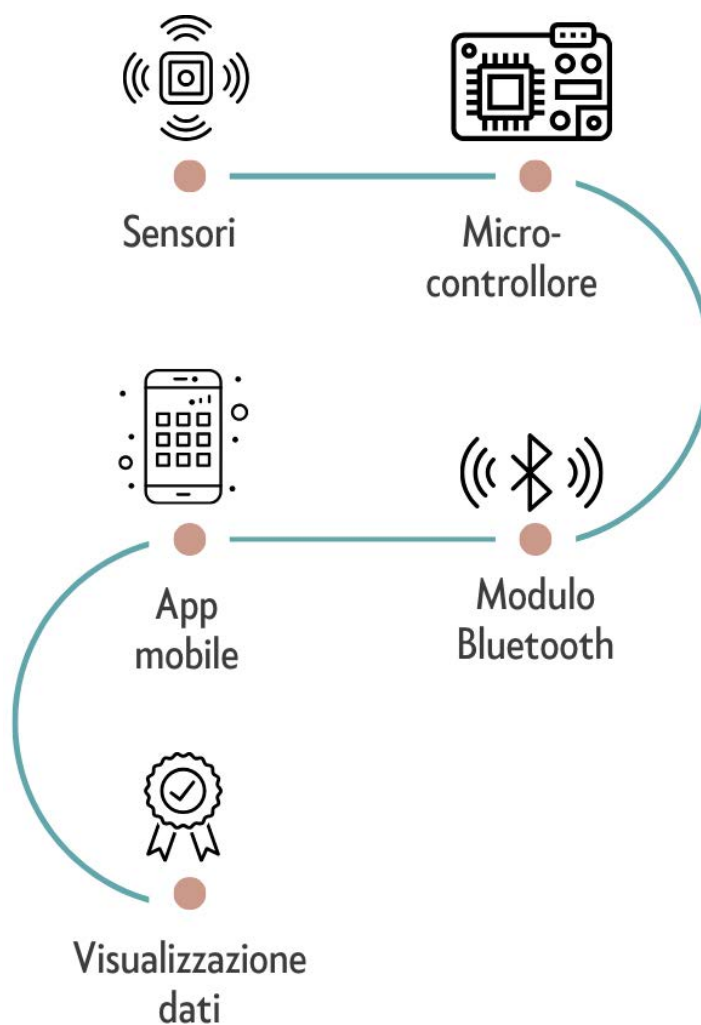
MISURA: 0,6 mm

## Pogo pins

## 10.4 Schema di interazione

---

### Flusso dati



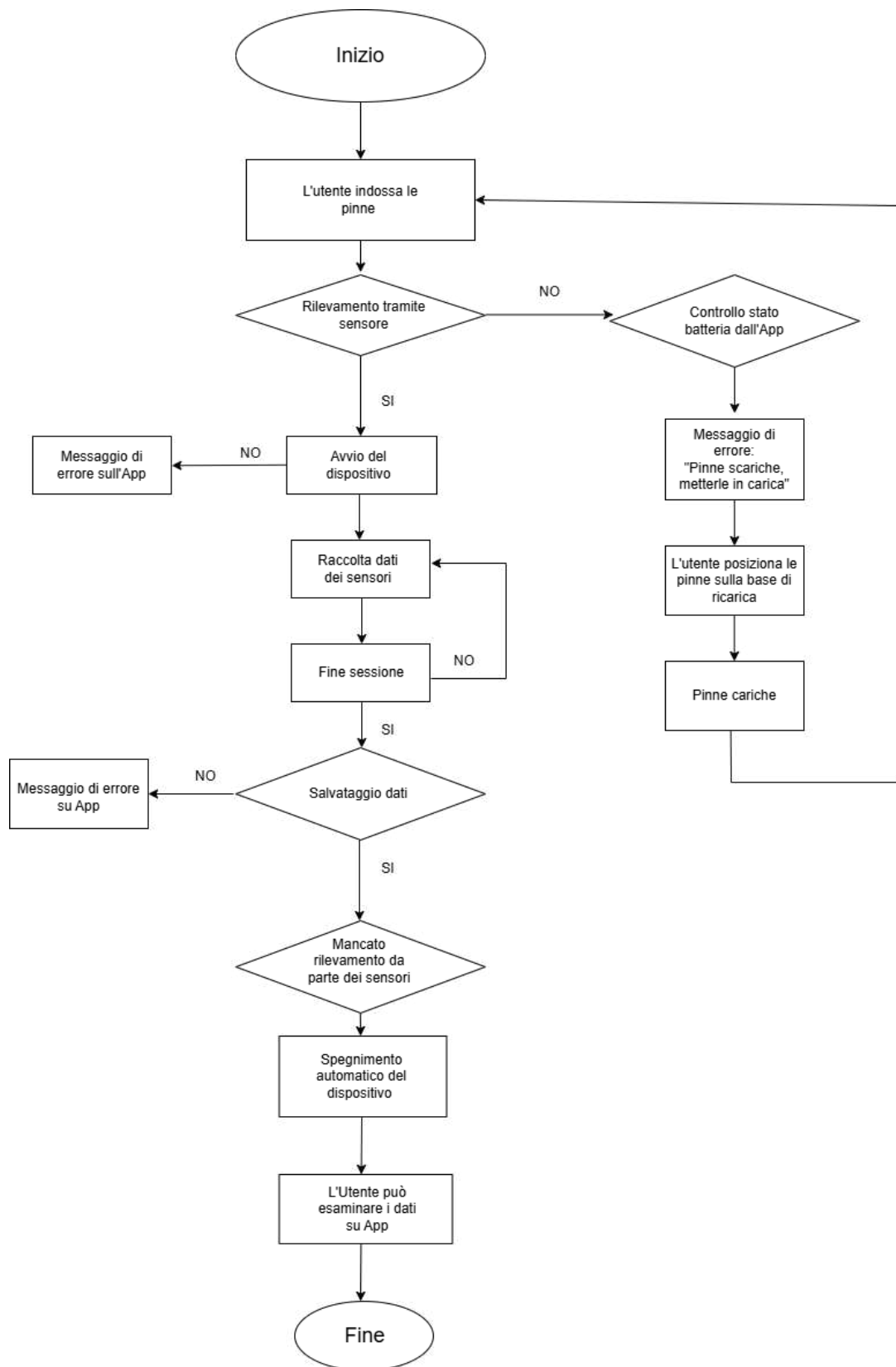
### Interazione dell'utente con il sistema

**L'atleta:** nuota normalmente senza interagire con il dispositivo, ricevendo poi i dati tramite l'app.

**L'app:** funge da interfaccia principale per l'analisi dei dati, il monitoraggio delle prestazioni e specifiche tecniche delle pinne.



## 10.5 Flowchart



1

## L'utente indossa le pinne

L'utente a inizio allenamento indossa le pinne



## Verifica della batteria del dispositivo removibile

Interfaccia APP



2

3

## Rilevamento e acquisizione dati

Forza esercitata  
Flessione pinna  
Propulsione in acqua  
Conto delle gambate  
Velocità andatura  
KM nuotati



Interfaccia APP



Interfaccia APP



## Salvataggio e visualizzazione dati

Salvataggio di tutti i dati esaminati dai vari sensori e visualizzazione sull'App

4

5

## Spegnimento

L'utente a fine allenamento toglie le pinne



## Sessione finita

6



A fine sessione l'utente ripone le pinne per il prossimo utilizzo



Se i dispositivi sono scarichi l'utente li ripone nelle basette di ricarica wireless magneticamente

+

## Ricarica batteria pinne

Se necessario, l'utente posiziona i dispositivi removibili sulla base di ricarica wireless Qi

Il LED della batteria nell' APP indica:

- Luce rossa : batteria scarica
- Luce gialla : batteria in ricarica
- Luce verde : batteria completamente carica



11

C A P I T O L O U N D I C I

**APP**



## II.I Interfaccia

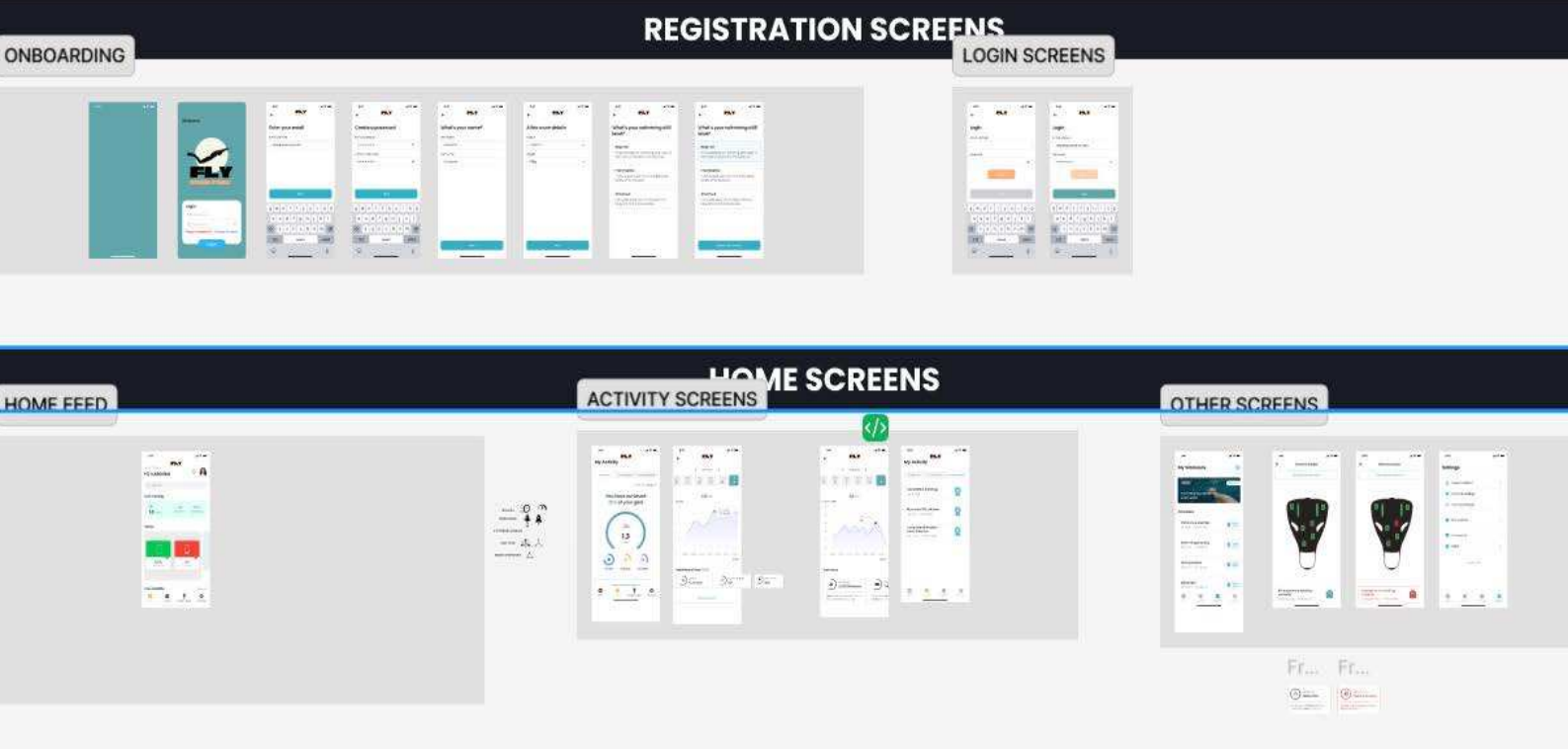
L'applicazione è stata progettata e prototipata in **Figma** con l'obiettivo di fornire un'interfaccia semplice e immediata per la gestione del sistema. L'approccio di design adottato è stato user-centered, con particolare attenzione alla chiarezza dei dati e alla facilità di navigazione. Il prototipo prevede diverse schermate funzionali.

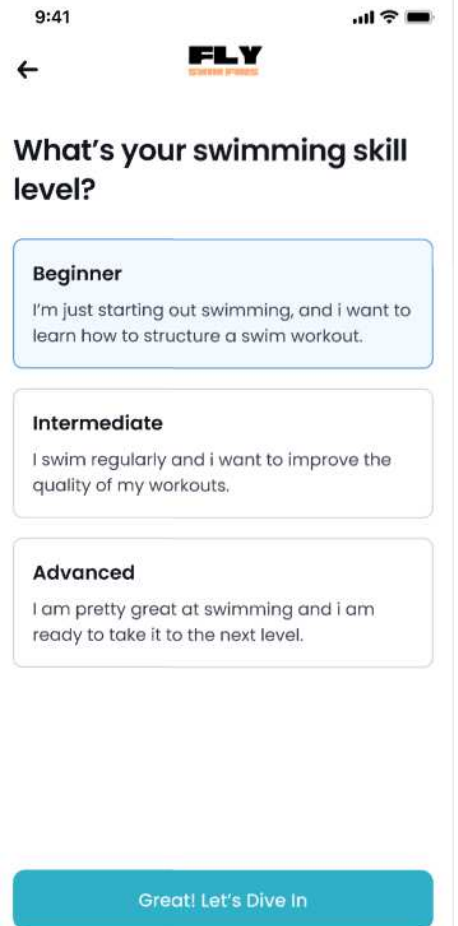
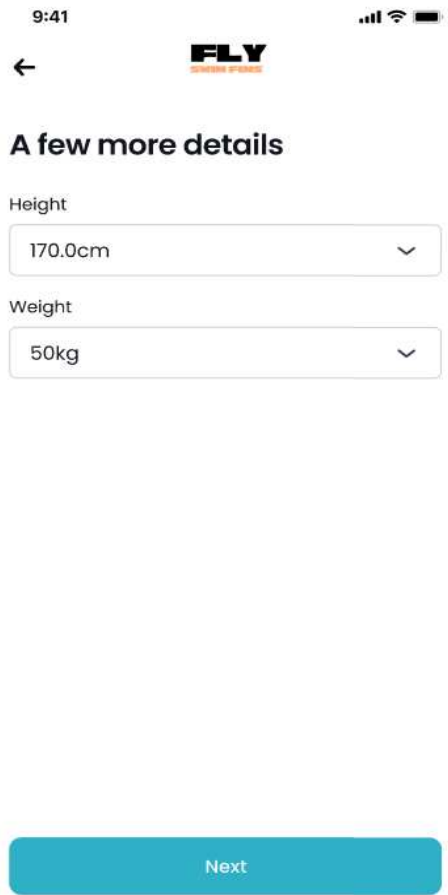
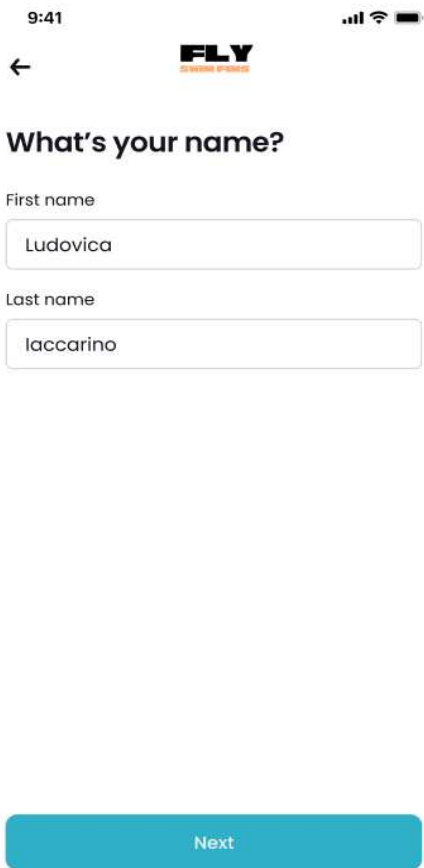
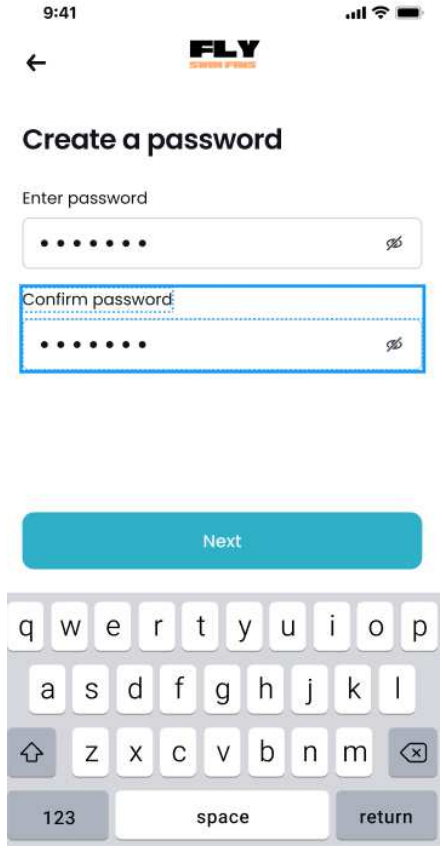
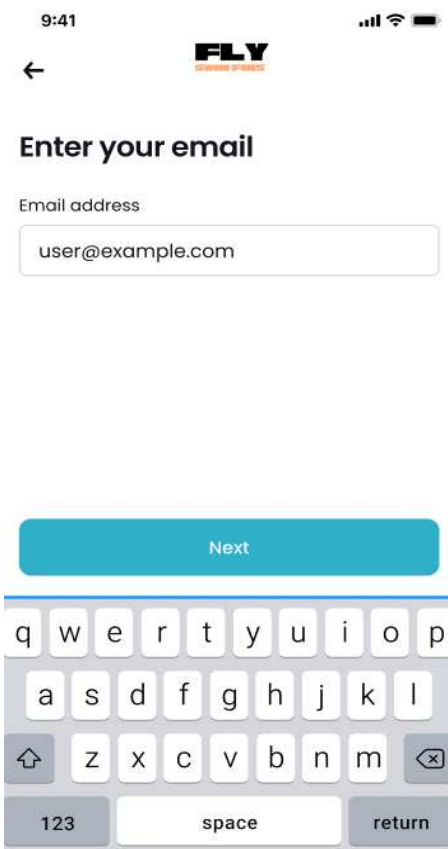
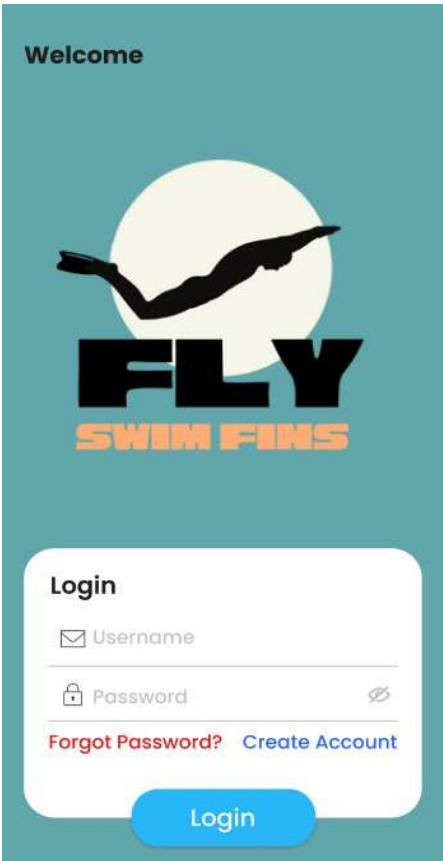
La dashboard principale consente di monitorare in tempo reale i valori provenienti dai sensori di forza, flessione integrati nella pinna, presentati tramite grafici, indicatori e codici colore per facilitarne la lettura. Accanto ai dati di utilizzo, l'app include una schermata dedicata allo stato operativo dei singoli sensori, che permette di verificare rapidamente se ciascun sensore è funzionante, non rilevato o presenta anomalie. Questa sezione è stata progettata con un layout chiaro e immediato, utilizzando icone e stati visivi per rendere rapidamente comprensibile la condizione del sistema.

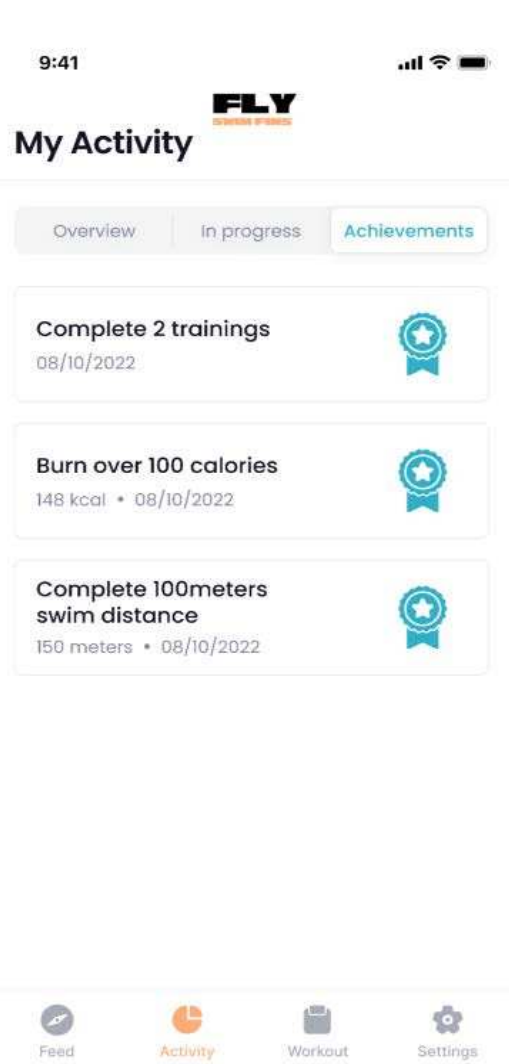
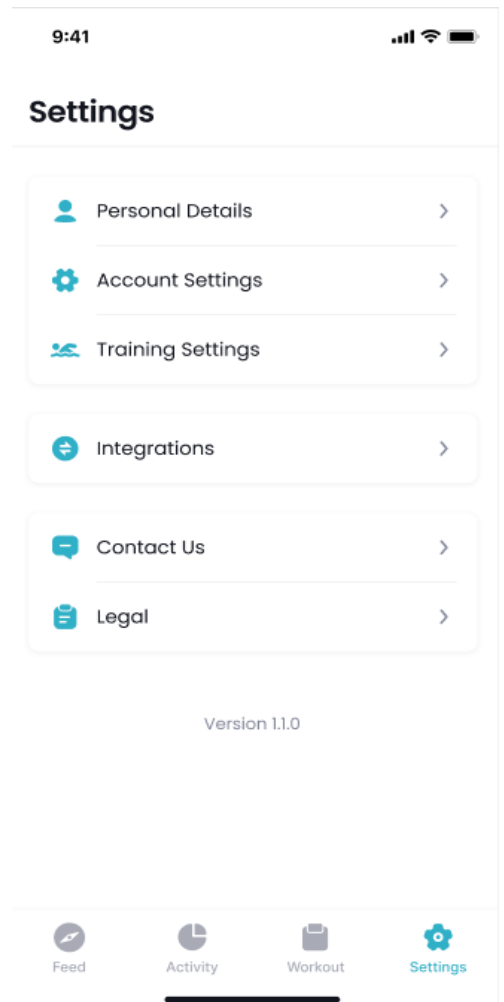
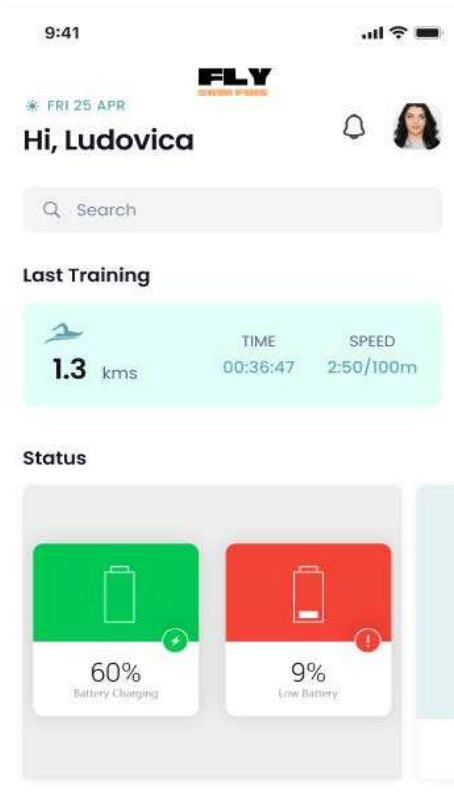
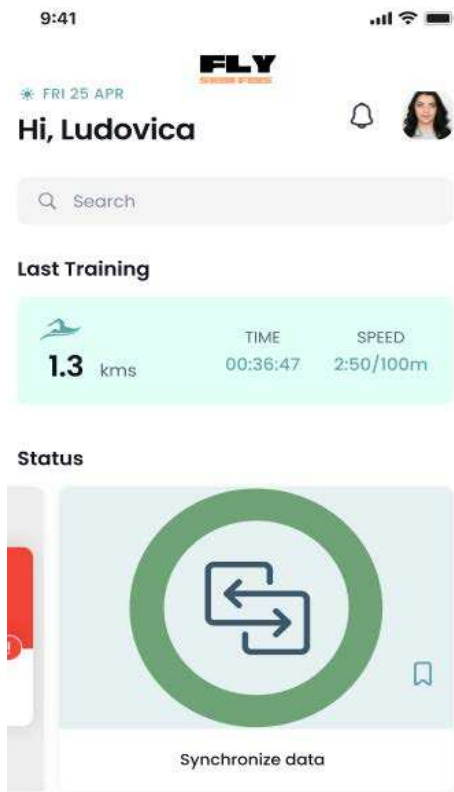
Sono presenti inoltre schermate dove è possibile controllare lo stato della batteria, la connessione con la base di ricarica e le informazioni diagnostiche.

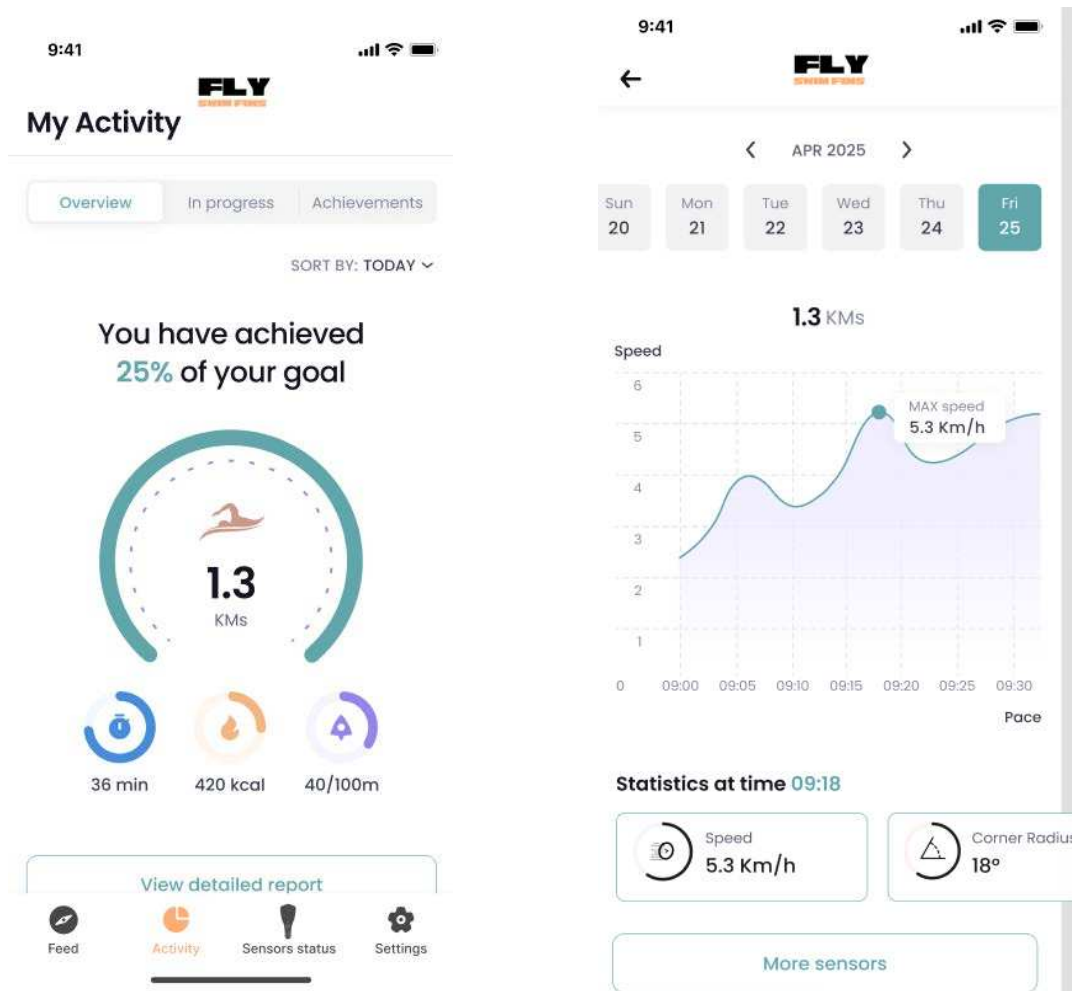
L'uso dei componenti interattivi di Figma ha permesso di simulare il flusso di navigazione, testare le transizioni e verificare la coerenza visiva dell'interfaccia.

## FLY MOBILE APP

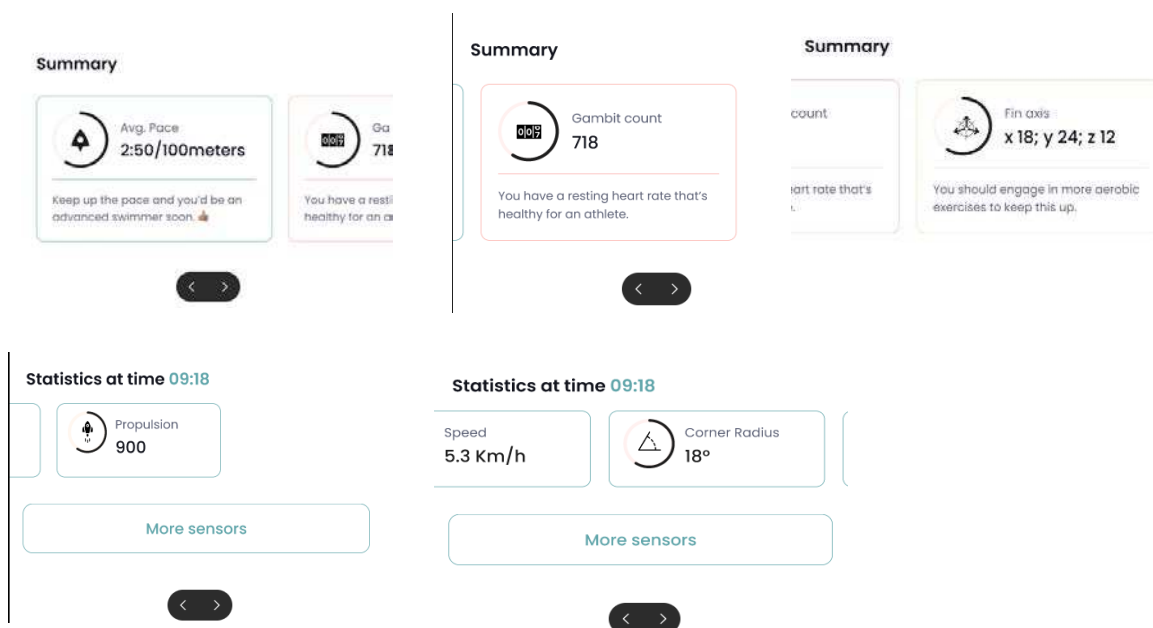








## Focus sui sensori

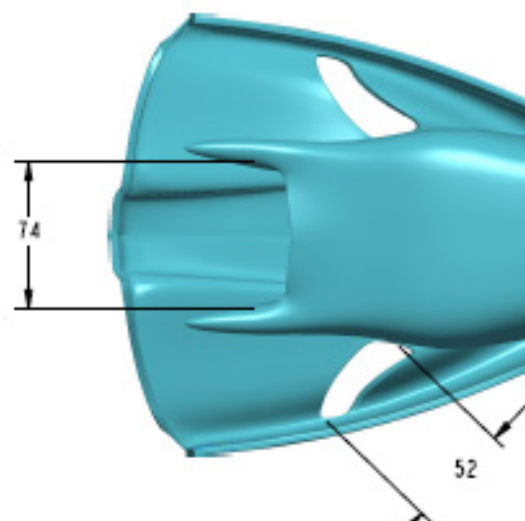
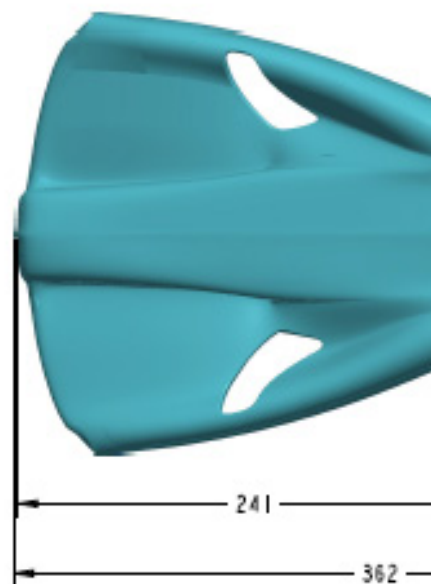


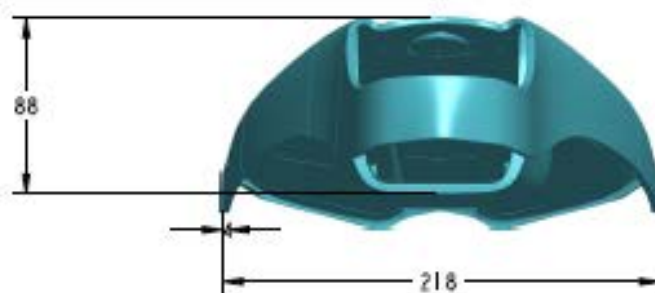
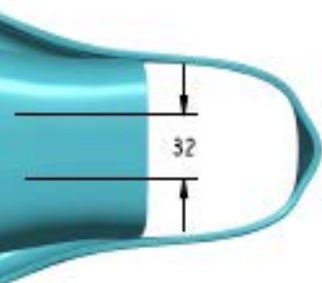
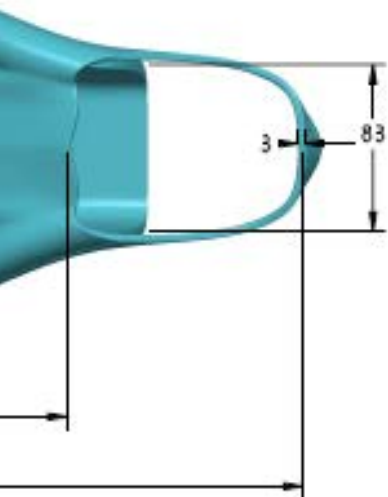
12



C A P I T O L O D O D I C I

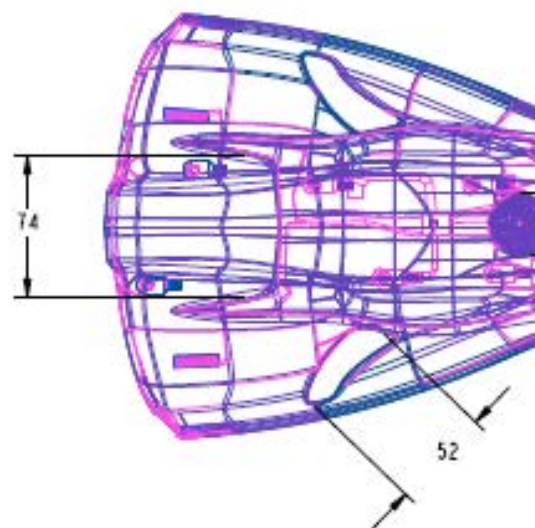
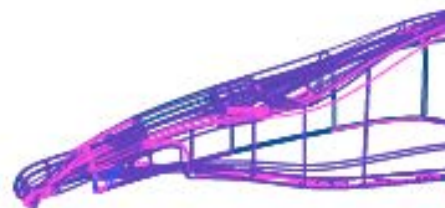
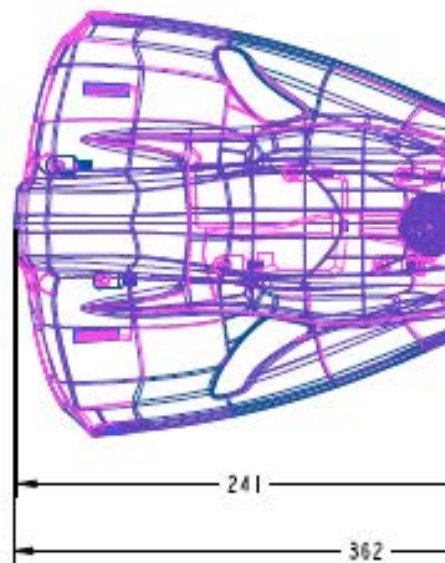
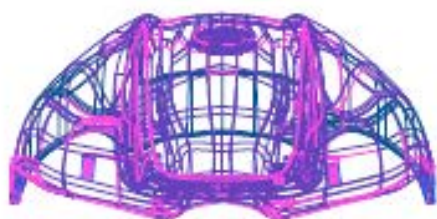
# MODELLO 3D

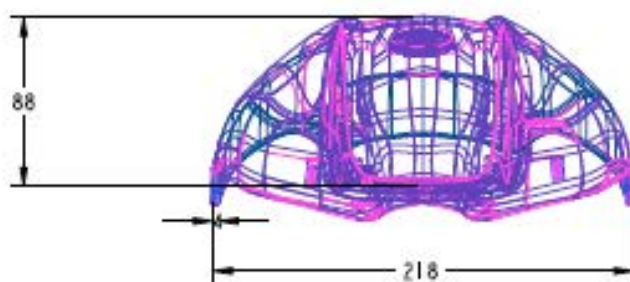
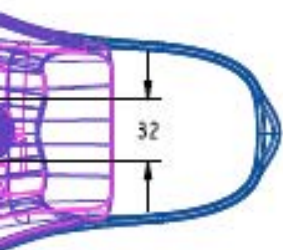
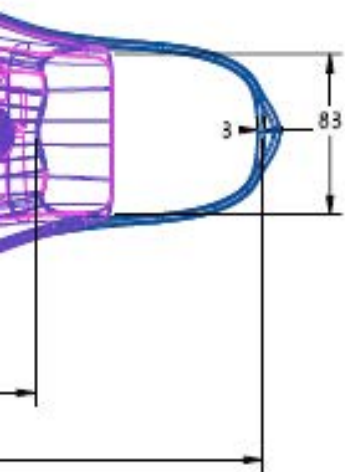




SCALA 1:2

METODO DI PROIEZIONE AMERICANO

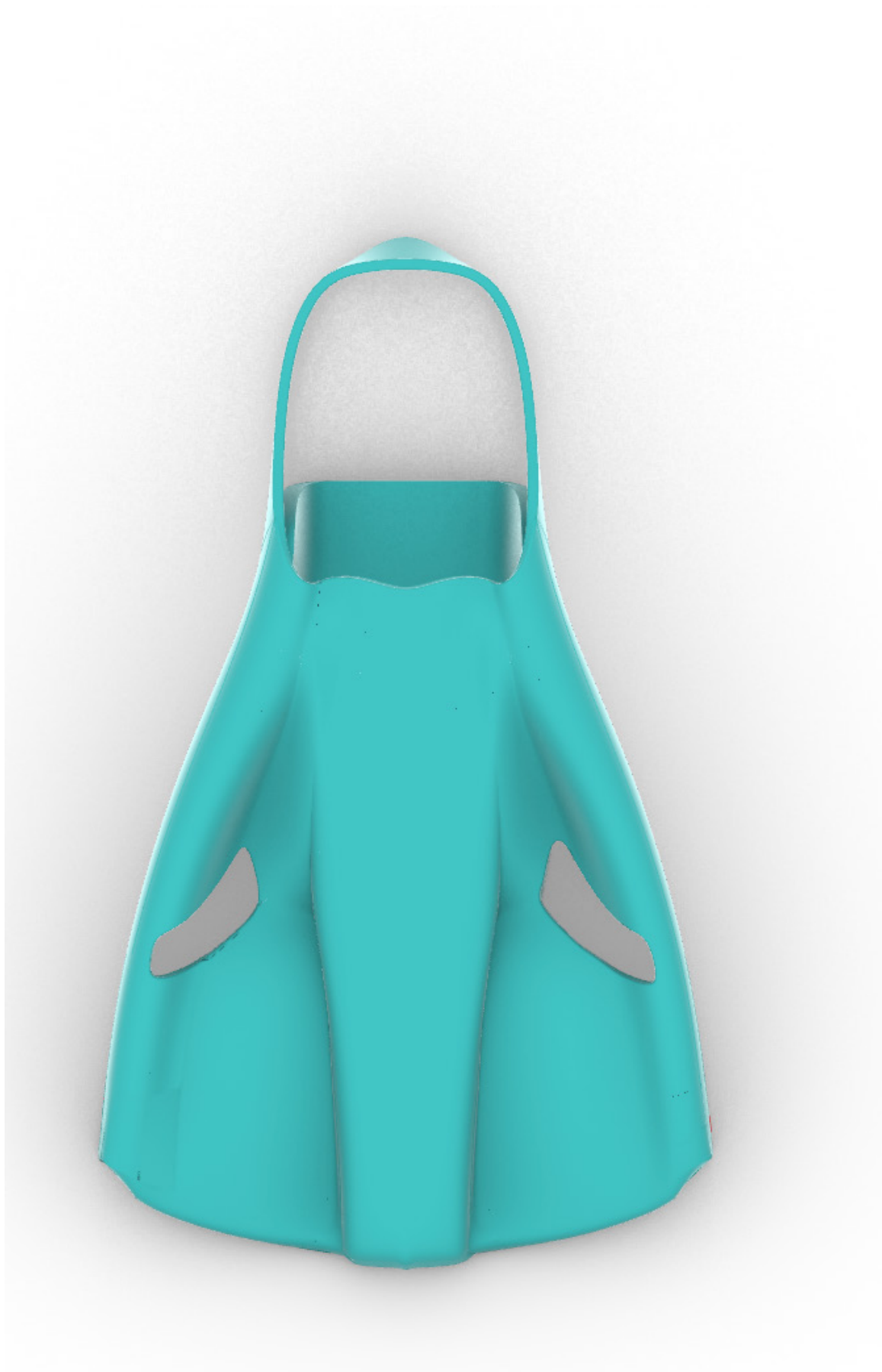


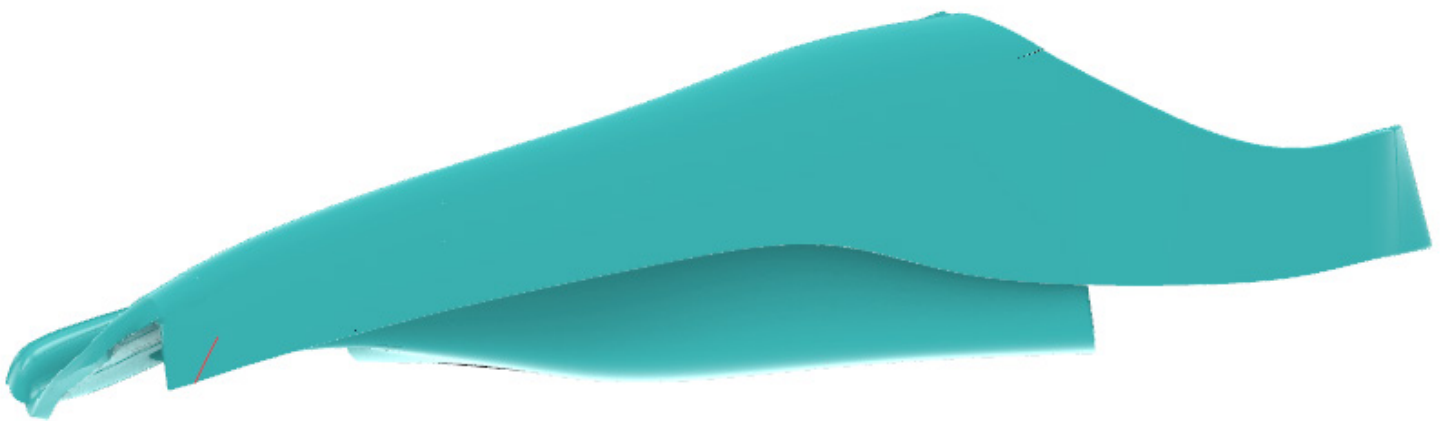
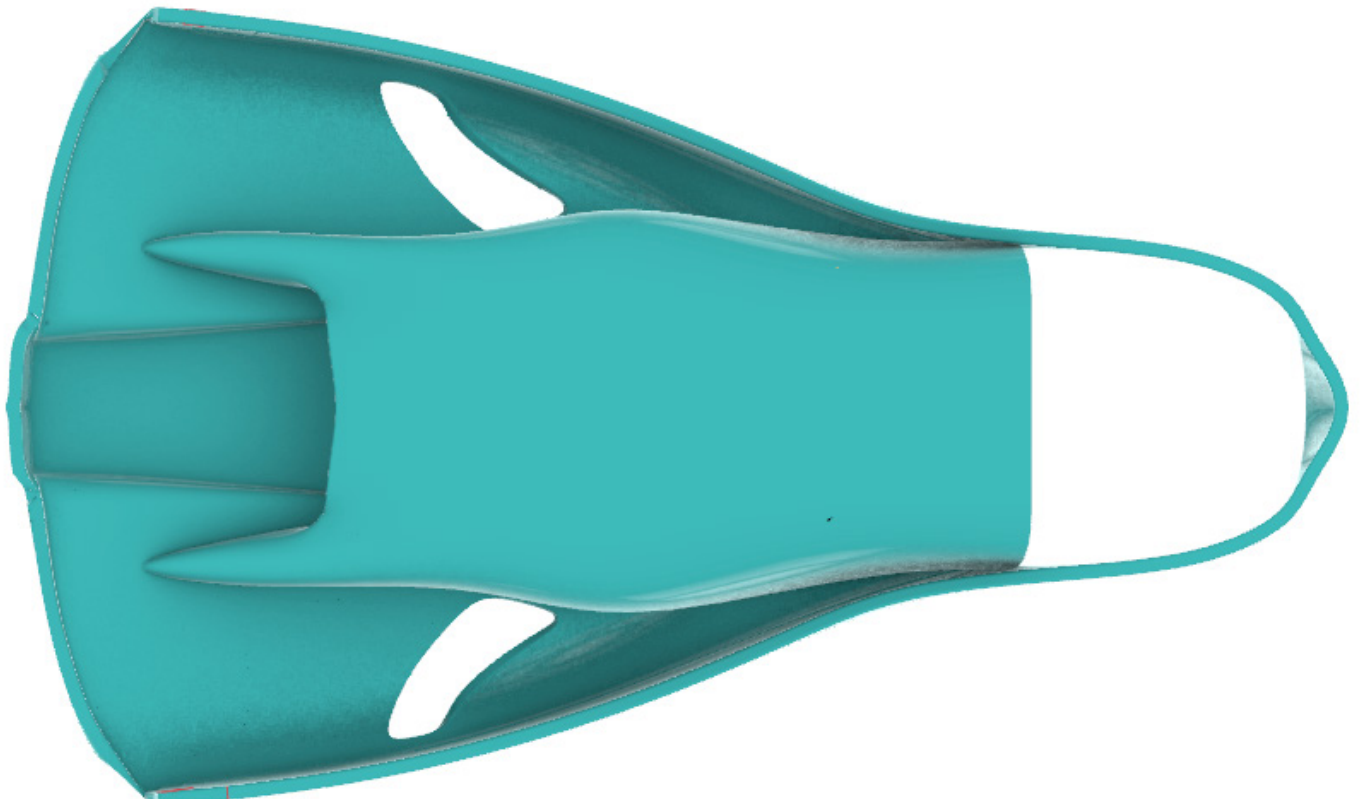


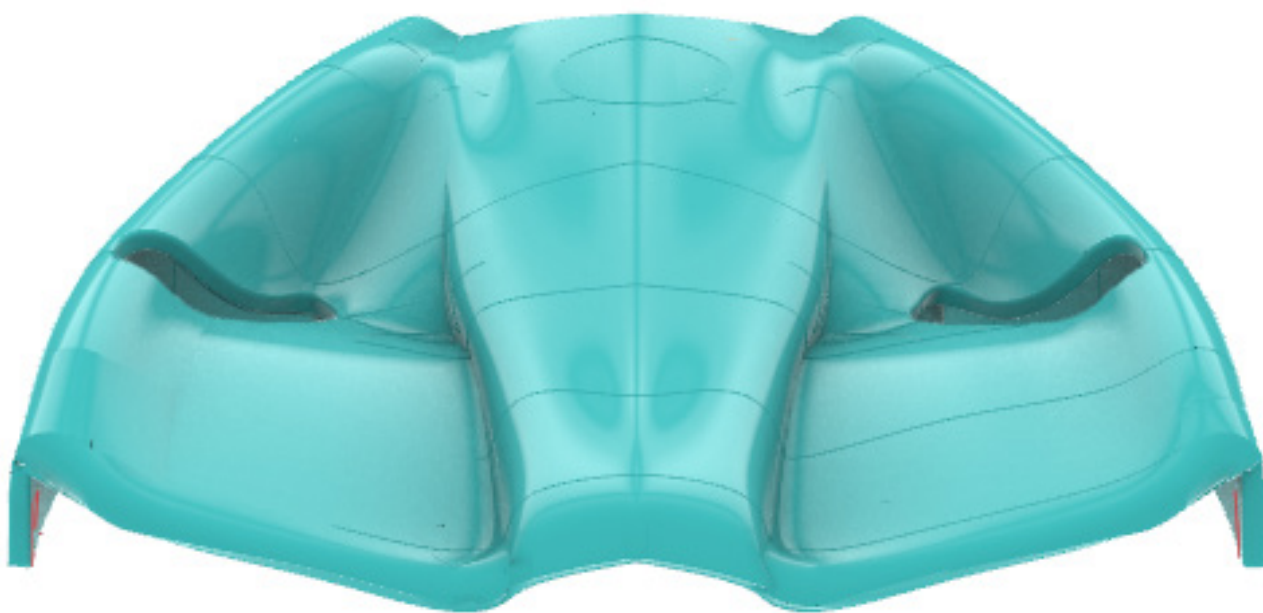
SCALA 1:2

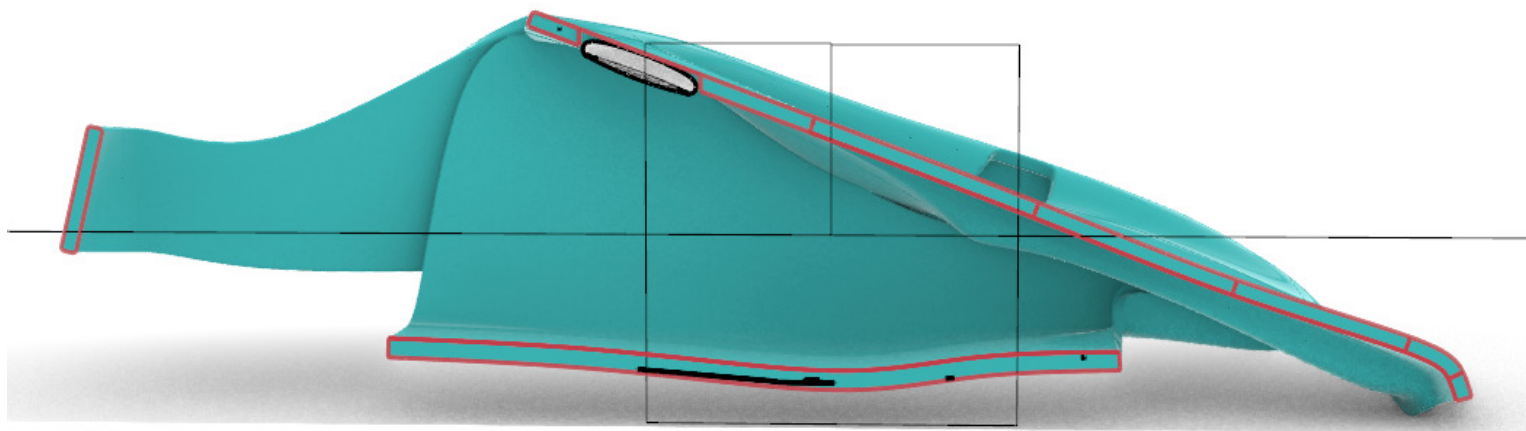
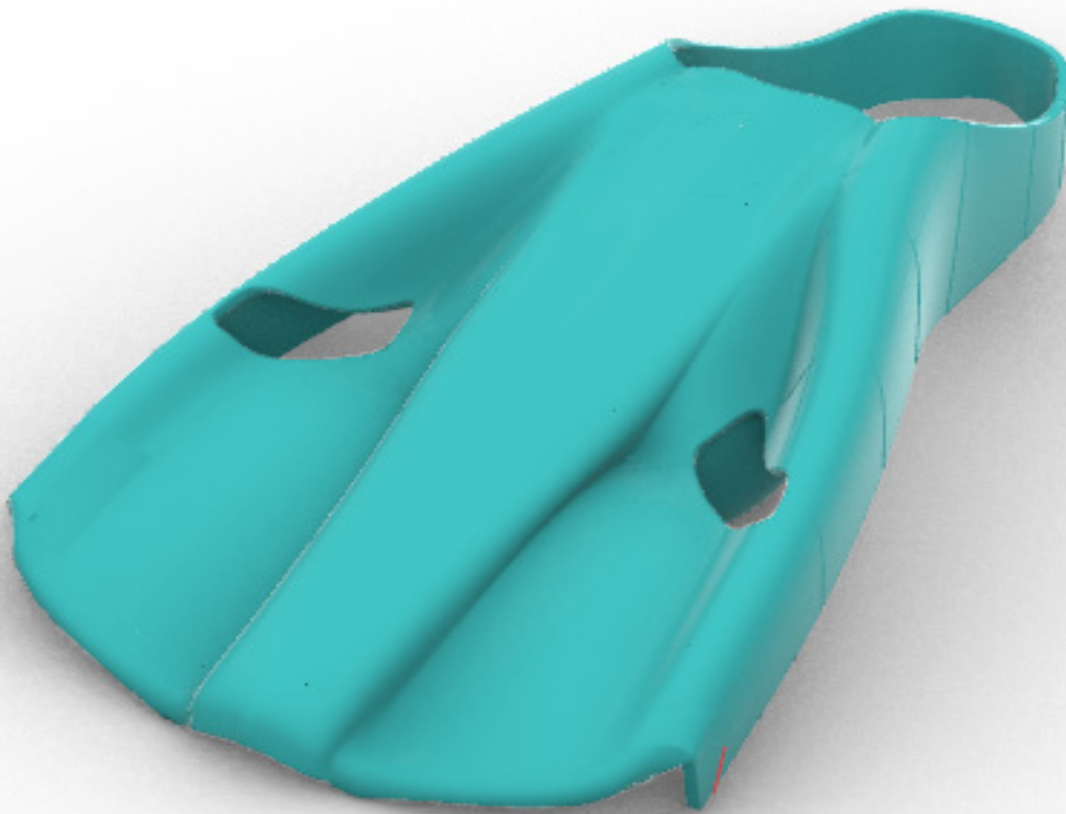
METODO DI PROIEZIONE AMERICANO













SCALA 1.000

SC

M

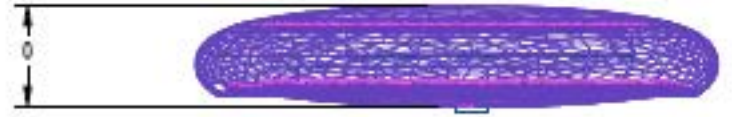




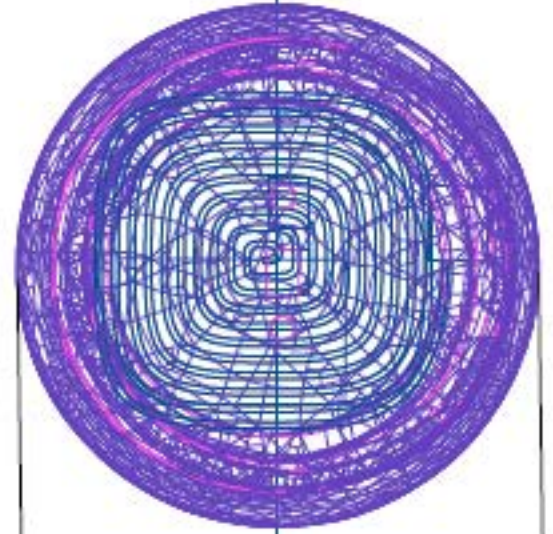


ALA 1:1

METODO DI PROIEZIONE AMERICANO

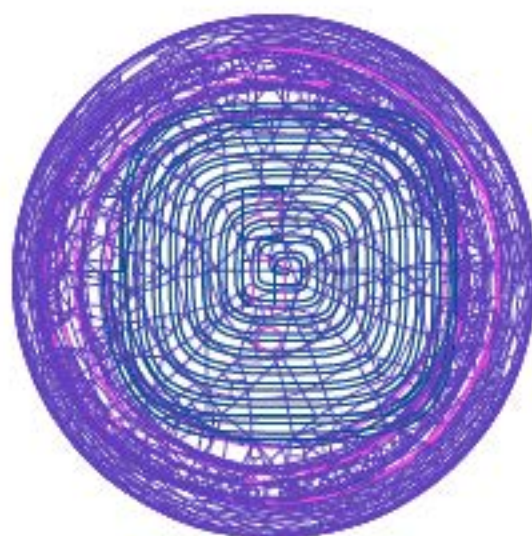


XSEC0002



XSEC0002

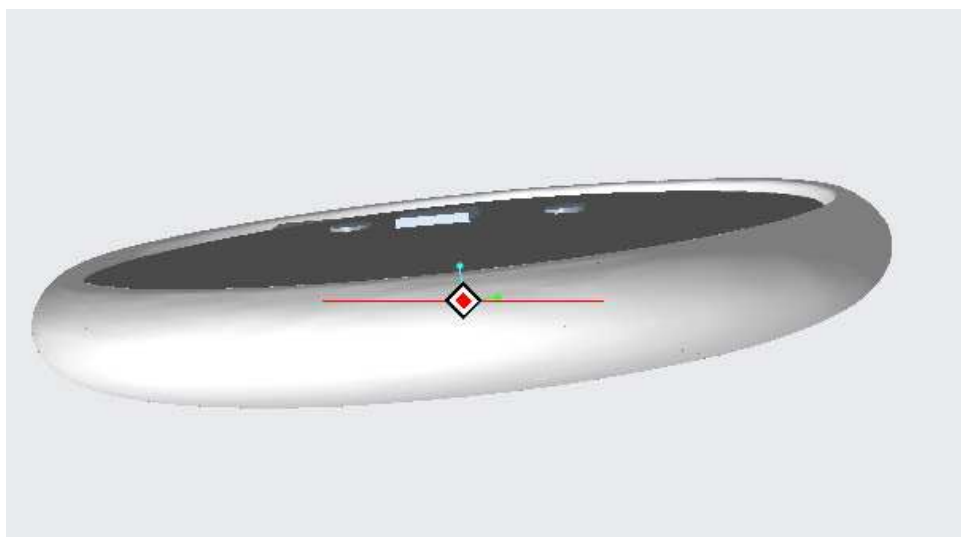
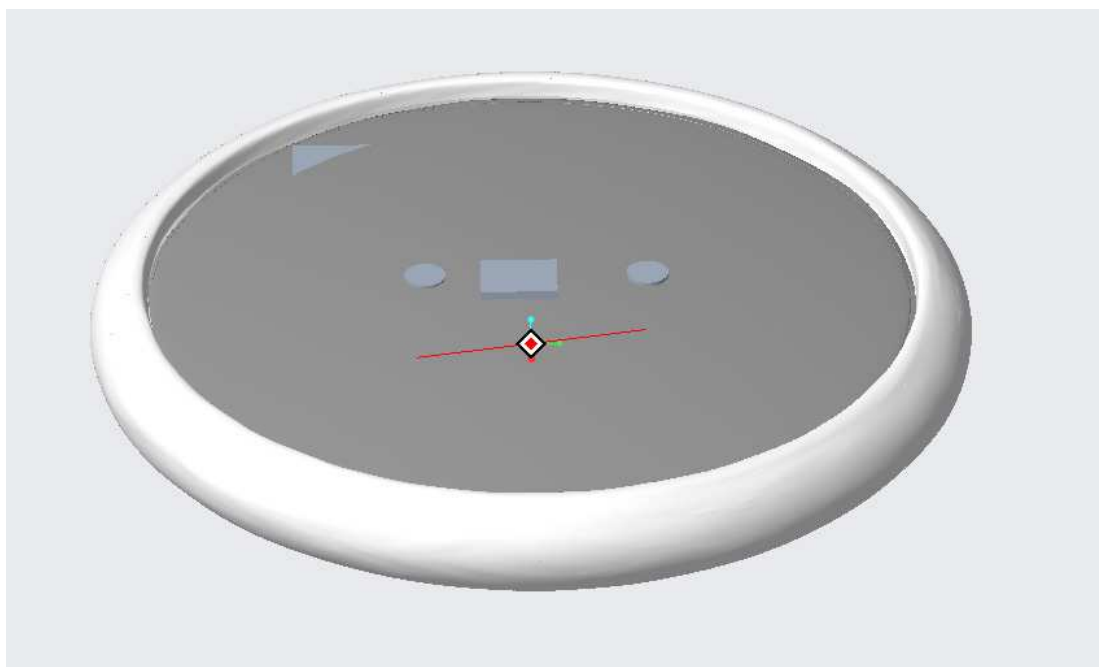
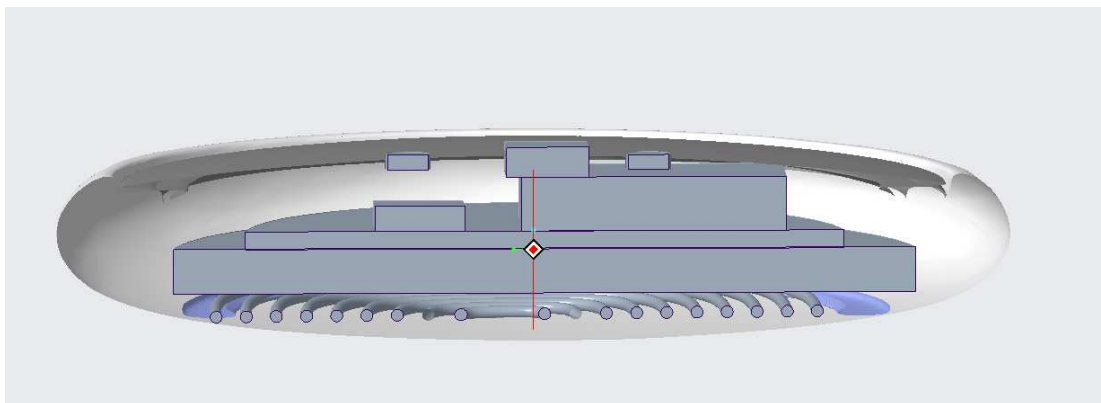




SEZIONE

SCALA 1:1

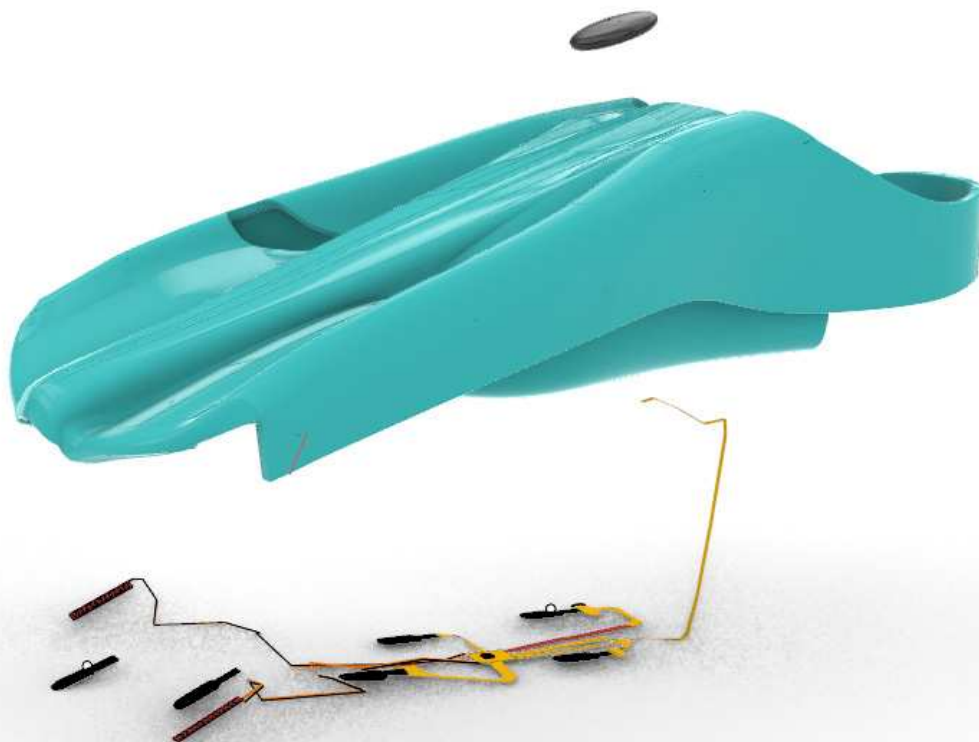
METODO DI PROIEZIONE AMERICANO



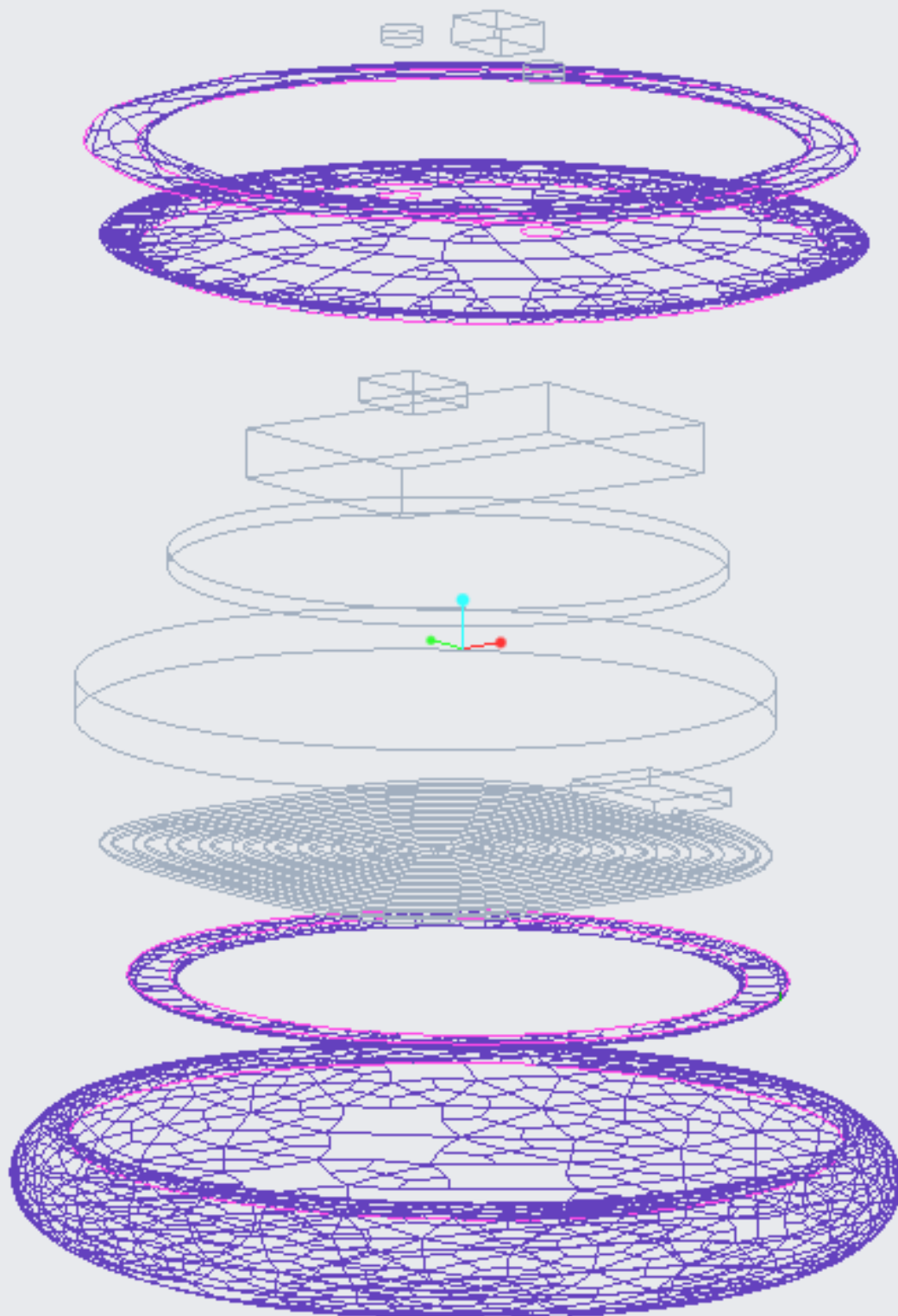


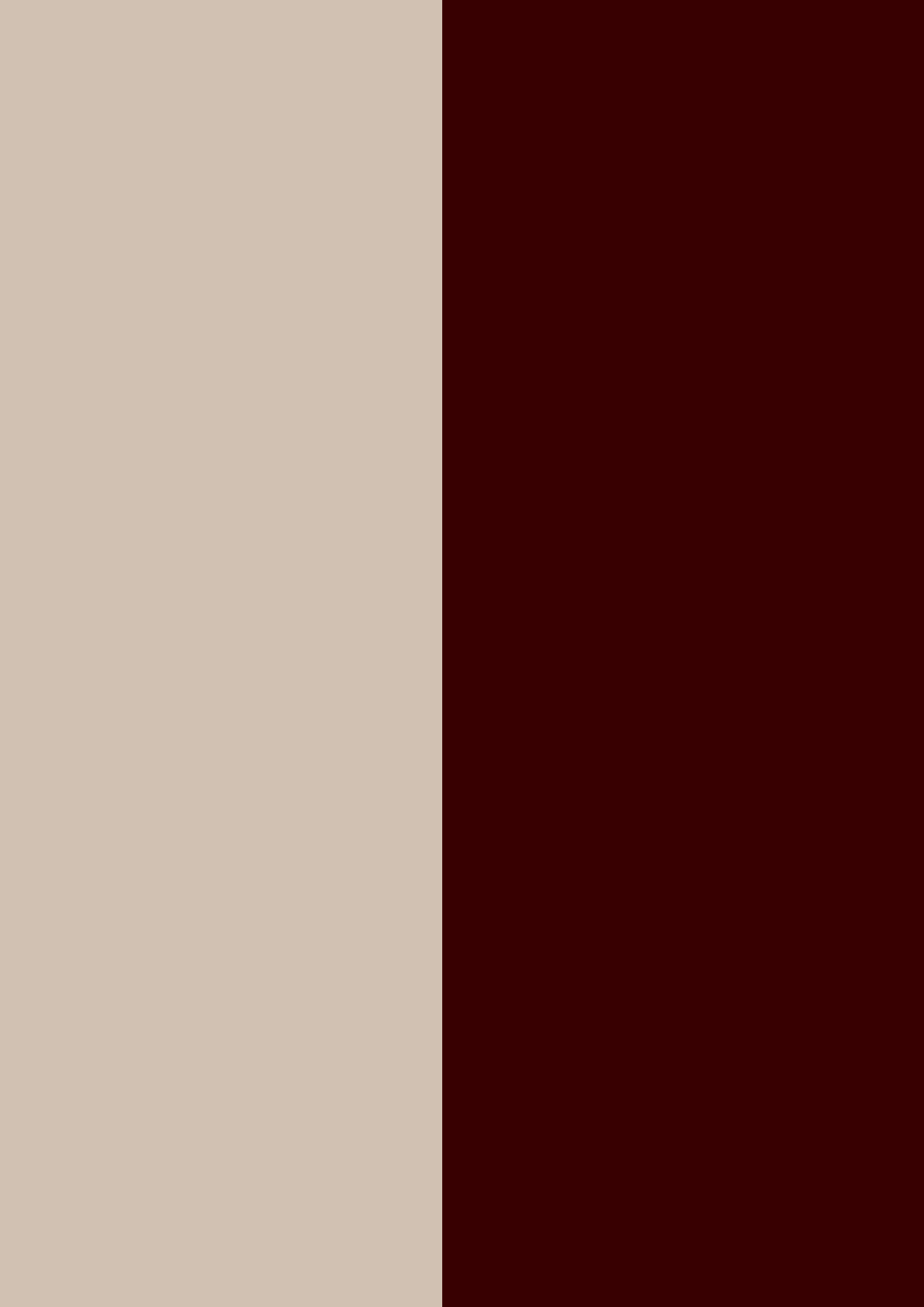














# **SITOGRAFIA & BIBLIOGRAFIA**

# Capitolo I

---

[ralph-dte.eu/2011/09/06/che-cose-la-biomimetica/%20](http://ralph-dte.eu/2011/09/06/che-cose-la-biomimetica/%20)  
[tech4future.info/biomimetica-natura-tecnologie-avanzate](http://tech4future.info/biomimetica-natura-tecnologie-avanzate)  
[trellis.net/article/year-biomimicry-fins-humans-aquapenguin-and-ro-bots](http://trellis.net/article/year-biomimicry-fins-humans-aquapenguin-and-ro-bots)  
[nautica.it/didattica/tecnica-biomimetica](http://nautica.it/didattica/tecnica-biomimetica)  
[fastercapital.com/it/contenuto/Biomimetica-che-esplora-le-innovazio-ni-della-natura](http://fastercapital.com/it/contenuto/Biomimetica-che-esplora-le-innovazio-ni-della-natura)  
[artsandculture.google.com/asset/guanto-palmato](http://artsandculture.google.com/asset/guanto-palmato)  
[mostradileonardo.com/2025/10/07/leonardo-invenzioni-idraulica](http://mostradileonardo.com/2025/10/07/leonardo-invenzioni-idraulica)  
[scienceinschool.org/it/article/2017/desig](http://scienceinschool.org/it/article/2017/desig)  
[biomimicry.org](http://biomimicry.org)  
[cbid.gatech.edu](http://cbid.gatech.edu)  
[asknature.org](http://asknature.org)  
[biodesign.seas.harvard.edu](http://biodesign.seas.harvard.edu)  
[softroboticstoolkit.com](http://softroboticstoolkit.com)  
[biomimetics.mit.edu](http://biomimetics.mit.edu)  
[museoscienza.org](http://museoscienza.org)  
[ellenmacarthurfoundation.org](http://ellenmacarthurfoundation.org)  
[link.springer.com](http://link.springer.com)  
[mdpi.com/journal/biomimetics](http://mdpi.com/journal/biomimetics)  
<https://fastercapital.com/it/contenuto/Biomimetica>  
[scienceinschool.org/it/article/2017](http://scienceinschool.org/it/article/2017)

## Capitolo 2

treccani.it/vocabolario/palmatoI/  
fulldassi.it/zampe-palmate-uccelli-sindattilia/  
animalvivid.com/animals-with-webbed-feet/  
sciencedirect.com/science/article/pii/S246806722400083X  
cienzaemovimento.it/wp-content/uploads/2020/11/25-pinne-corte-nuoto.pdf  
americanhistory.si.edu/collections/object/nmah\_667553  
wired.it/scienza/ecologia/2020/12/17/zampe-strane-regno-animale/  
cacciando.com/index.php/caccia/tipi-di-caccia/migratoria-e-anatidi/item/987-becchi-piatti-e-zampe-palmate  
wildexplained.com/it/blog/animals-with-webbed-feet/  
amoreaquattrozampe.it/pets-kids/animali-zampe-palmate-caratteristiche/119297/  
it.wikipedia.org/wiki/Uccelli\_acquatici  
almanacco.cnr.it/articolo/9037/dalle-zampe-alle-pinne  
it.wikipedia.org/wiki/Pinna  
en.wikipedia.org/wiki/Webbed\_foot  
traccedianimali.com/impronte\_di\_animali-r8394  
ilgrandeinverno.it/new/manuale/  
atcvomano.it/selvaggina/migratoria/germano  
DISPENSA-DIDATTICA-UCCELLI.pdf  
behance.net/gallery/33981160/Scientific-illustration-Birds  
a-z-animals.com/animals/lists/animals-with-webbed-feet/  
Angelika Lang - Tracce di animali

Gao, F., Liu, X., Li, X., Fan, Z., Zhou, H., & Wu, W. (2025). Numerical Analysis of Load Reduction in the Gliding Process Achieved by the Bionic Swan's Webbed-Foot Structures. *Biomimetics*, 10(6), 405. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10060405>

Han, D., Liu, H., Ren, L., Hu, J., & Yang, Q. (2023). From the Analysis of Anatomy and Locomotor Function of Biological Foot Systems to the Design of Bionic Foot: An Example of the Webbed Foot of the Mallard. *Biomimetics*, 8(8), 592. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8080592>

L. Christoffer Johansson & R. Åke Norberg (2003) Delta-wing function of webbed feet gives hydrodynamic lift for swimming propulsion in birds

Gal Ribak & Roi Gurka (2023) The hydrodynamic performance of duck feet for submerged swimming resembles oars rather than delta-wings

Anick Abourachid,

Kinematic parameters of terrestrial locomotion in cursorial (ratites), swimming (ducks), and striding birds (quail and guinea fowl),

Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology

## Capitolo 3

---

[ocean4future.org/savetheocean/archives/13944](https://ocean4future.org/savetheocean/archives/13944)  
[myscubadivinggearguide.com/best-snorkeling-fins-of-2019/](https://myscubadivinggearguide.com/best-snorkeling-fins-of-2019/)  
[runlovers.it/2024/lavora-su-forza-e-mobilita-con-il-nuoto-pinna-to/?utm\\_source](https://runlovers.it/2024/lavora-su-forza-e-mobilita-con-il-nuoto-pinna-to/?utm_source)  
[scienzaemovimento.it/dottor-stefano-servadei/utilizzo-delle-pin-ne-corte-per-lallenamento-nel-nuoto-uno-strumento-utile](https://scienzaemovimento.it/dottor-stefano-servadei/utilizzo-delle-pin-ne-corte-per-lallenamento-nel-nuoto-uno-strumento-utile)  
[simsi.it/la-marea-fontana-natoli/origin-la-nuova-modernissi-ma-pinna-della-cressi/](https://simsi.it/la-marea-fontana-natoli/origin-la-nuova-modernissi-ma-pinna-della-cressi/)  
[simsi.it/la-marea-fontana-natoli/la-propulsione-subacquea-nel-luomo/](https://simsi.it/la-marea-fontana-natoli/la-propulsione-subacquea-nel-luomo/)  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Pinne\\_\(subacquea\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Pinne_(subacquea))  
[https://www.techsciresearch.com/report/swimming-fins-mar-ket/20024.html](https://www.techsciresearch.com/report/swimming-fins-market/20024.html)

## Capitolo 4

---

[swimmershop.it/blog/nuovo-slancio-in-acqua-come-aumentare-la-ve-locita-grazie-alle-pinne-n294](https://swimmershop.it/blog/nuovo-slancio-in-acqua-come-aumentare-la-ve-locita-grazie-alle-pinne-n294)  
[it.wikipedia.org/wiki/Nuoto](https://it.wikipedia.org/wiki/Nuoto)  
[swimmershop.it/blog/allenarsi-con-le-pinne-corte-nuoto-tutto-quello-che-c-e-da-sapere](https://swimmershop.it/blog/allenarsi-con-le-pinne-corte-nuoto-tutto-quello-che-c-e-da-sapere)  
[techsciresearch.com/report/swimming-fins-market/20024.html](https://techsciresearch.com/report/swimming-fins-market/20024.html)  
[nuotomaniashop.it/it/content/17-pinne-nuoto?utm\\_](https://nuotomaniashop.it/it/content/17-pinne-nuoto?utm_)  
[swimmershop.it/blog/pinne-tonde-nuoto-non-solo-per-la-ra-na-nessuno-stile-viene-lasciato-indietro](https://swimmershop.it/blog/pinne-tonde-nuoto-non-solo-per-la-ra-na-nessuno-stile-viene-lasciato-indietro)  
[quimedia.it/merano/attualita/cG9zdDoxNzcx](https://quimedia.it/merano/attualita/cG9zdDoxNzcx)  
[dapiran.it/web1.5/index.php?option=com\\_kunena&Itemi-d=100002&func=view&catid=33&id=77492&lang=en](https://dapiran.it/web1.5/index.php?option=com_kunena&Itemi-d=100002&func=view&catid=33&id=77492&lang=en)  
<https://www.rarinantesitalynuoto.it/index.asp?pagi-na=6&t=1l%20nuoto%20pinnato>  
<https://www.nuotonline.it/le-pinne-finis/>

---

## Capitolo 6 - 7

<https://www.surfertoday.com/images/stories/churchill-swim-fins-patent.jpg>  
> <https://www.freepatentsonline.com/2099973.html>  
> <https://www.freepatentsonline.com/3810269.html>  
> <https://www.freepatentsonline.com/4795384.html>  
<https://it.wikipedia.org/wiki/Nuoto>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246806722400083X>  
<chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://www.scienzae>

<https://www.fsrtek.com/standard-sensor>  
[https://www.swimmershop.it/blog/allenarsi-con-le-pinne-corte-nuoto-tutto-quello-che-c-e-da-sapere-n195?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.swimmershop.it/blog/allenarsi-con-le-pinne-corte-nuoto-tutto-quello-che-c-e-da-sapere-n195?utm_source=chatgpt.com)  
[https://americanhistory.si.edu/collections/object/nmah\\_667553](https://americanhistory.si.edu/collections/object/nmah_667553)  
<https://patents.google.com/patent/US2321009A/en>  
<https://patents.google.com/patent/US3239857A/en>  
<https://patents.google.com/patent/US3078482>  
[https://patents.google.com/patent/CN208481352U/en?q=\(Intelligent+insole\)&type=PATENT](https://patents.google.com/patent/CN208481352U/en?q=(Intelligent+insole)&type=PATENT)

<https://innovando.news/solette-stampate-3d-rilevare-forze-esercitate-scarpe/>  
<https://innovazione.tiscali.it/salute-digitale/articoli/suole-techno/>  
<https://www.mdpi.com/2504-3900/2/6/288>  
<https://www.techsciresearch.com/report/swimming-fins-market/20024.html>  
[https://www.nuotomaniashop.it/it/content/17-pinne-nuoto?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.nuotomaniashop.it/it/content/17-pinne-nuoto?utm_source=chatgpt.com)  
[https://runlovers.it/2024/lavora-su-forza-e-mobilita-con-il-nuoto-pinnato/?utm\\_source=chatgpt.com](https://runlovers.it/2024/lavora-su-forza-e-mobilita-con-il-nuoto-pinnato/?utm_source=chatgpt.com)  
[https://www.scienzaemovimento.it/dottor-stefano-servadei/utilizzo-delle-pinne-corte-per-lallenamento-nel-nuoto-uno-strumento-utile/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.scienzaemovimento.it/dottor-stefano-servadei/utilizzo-delle-pinne-corte-per-lallenamento-nel-nuoto-uno-strumento-utile/?utm_source=chatgpt.com)  
[https://www.swimmershop.it/blog/pinne-tonde-nuoto-non-solo-per-la-rana-nessuno-stile-viene-lasciato-indietro-n120?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.swimmershop.it/blog/pinne-tonde-nuoto-non-solo-per-la-rana-nessuno-stile-viene-lasciato-indietro-n120?utm_source=chatgpt.com)  
<https://quimedia.it/merano/attualita/cG9zdDoxNzcxcaticid=33&id=77492&lang=en>  
<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.unife.it/medicina/scienzemotorie/minisiti-LT/teoria-e-metodologia-dellallenamento/materiale-didattico/nuoto-ii.pdf>  
[https://www.researchgate.net/publication/363675886\\_A\\_Review\\_on\\_Locomotion\\_Mode\\_Recognition\\_and\\_Prediction\\_When\\_Using\\_Active\\_Orthoses\\_and\\_Exoskeletons/figures?lo=1&utm\\_source=google&utm\\_medium=organic](https://www.researchgate.net/publication/363675886_A_Review_on_Locomotion_Mode_Recognition_and_Prediction_When_Using_Active_Orthoses_and_Exoskeletons/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic)  
<https://www.google.com/imgres?q=Kinematix%20Tuning%20Insoles>  
<https://www.mdpi.com/2076-3417/14/14/6085>  
[https://www.researchgate.net/publication/303818205\\_Stride\\_Counting\\_in\\_Human\\_Walking\\_and\\_Walking\\_Distance\\_Estimation\\_Using\\_Insole\\_Sensors/figures?lo=1&utm\\_source=google&utm\\_medium=organic](https://www.researchgate.net/publication/303818205_Stride_Counting_in_Human_Walking_and_Walking_Distance_Estimation_Using_Insole_Sensors/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic)  
<https://www.abitare.it/it/design/prodotti/2016/08/01/aria-soletta-intelligente>  
<https://www.eupraxia.it/progetto-soletta/>  
<https://www.hdblog.it/2015/09/05/digitsole-soletta-smart-video/>  
[https://corrieredibologna.corriere.it/notizie/economia/24\\_luglio\\_22/le-solette-intelligenti-che-monitorano-lo-stato-di-salute-trasmettono-100-dati-al-secondo-d2e18ac5-3e9b-49ed-9e6b-23be914edxk.shtml](https://corrieredibologna.corriere.it/notizie/economia/24_luglio_22/le-solette-intelligenti-che-monitorano-lo-stato-di-salute-trasmettono-100-dati-al-secondo-d2e18ac5-3e9b-49ed-9e6b-23be914edxk.shtml)  
<https://www.emiliaromagnastartup.it/it/innovative/articoli/2024/07/una-soletta-smart-combattere-la-disabilita-motoria>  
<https://cordis.europa.eu/article/id/443631-smart-insoles-help-neuropathy-patients-walk-with-confidence/it>





