



**POLITECNICO
DI MILANO**

FACOLTA' DEL DESIGN - CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN DESIGN&ENGINEERING

**SVILUPPO DI NUOVE SOLUZIONI PROGETTUALI
DI PINNE PER APNEA**

Relatore: Mario Guagliano

Correlatore: Matteo Ingaramo

Davide Panzeri 734004

A.A. 2010/2011

INDICE

ABSTRACT	5
INTRODUZIONE ALLA DISCIPLINA DELL'APNEA	6
Storia dell'apnea	7
Le specialità dell'apnea	8
BENCHMARKET	9
L'attrezzatura	10
Gli strumenti	15
Altri accessori	16
Le pinne	19
o <i>Pinne per immersioni con autorespiratori</i>	19
o <i>Pinne per apnea</i>	20
o <i>Monopinna</i>	21
Gli elementi che costituiscono le pinne d'apnea	22
o <i>La scarpetta</i>	22
o <i>La pala</i>	22
o <i>I longheroni</i>	23
I materiali	24
La lavorazione della gomma	26
Prodotti disponibili sul mercato	28
PARTE BIOMECCANICA	32
Analisi dell'inefficienza della pinneggiata legata alle pinne	33
o <i>Scarpetta larga</i>	33
o <i>Scarpetta morbida</i>	34
o <i>Mancanza di canalizzatori laterali</i>	35
o <i>Giunzione tra pala e scarpetta</i>	36
o <i>Inefficienza della pala</i>	36

La pinneggiata	37
La pinneggiata ideale	44
Il complesso articolare del piede	47
o <i>I 3 assi del piede</i>	47
o <i>I 3 piani di movimentazione</i>	48
o <i>Gli angoli delle articolazioni</i>	50
o <i>Le articolazioni coinvolte nel movimento del piede</i>	53
o <i>Divisione funzionale del piede</i>	54
o <i>La volta plantare: la distribuzione dei carichi</i>	56
o <i>Tipologie di piedi</i>	57
La misura della scarpa	60
o <i>Il sistema di misura delle calzature</i>	61
o <i>Overall lenght</i>	62
o <i>Ball width</i>	62
o <i>Riferimenti dimensionali</i>	65
o <i>I diversi sistemi di misura</i>	66
PROGETTO	69
Obiettivi	70
Rilievo della forma del piede	71
Prima proposta	75
Seconda proposta	84
Conclusioni	91
RINGRAZIAMENTI	92
BIBLIOGRAFIA	93

INDICE ALLEGATI

Rendering prima proposta progettuale

Rendering seconda proposta progettuale

ABSTRACT

Lo scopo di questa tesi è quello di sviluppare un nuovo tipo di pinna differente da quello che è tutt'oggi possibile reperire sul mercato. La principale caratteristica di questo nuovo oggetto è quella di adattarsi molto meglio al piede dell'apneista in modo da raggiungere un'efficienza superiore. Questo significa una migliore performance atletica poiché una scarpetta più ergonomica e più aderente al piede consente di risparmiare un'importante quantità di energia e ossigeno.

The aim of this thesis is to develop a new kind of fins, different from what it's possible to find on the market nowadays. The main characteristic of this new object is to adapt much better to the foot of the swimmer in order to achieve a better efficiency. This means a better athletic performance because a more ergonomic and close-fitted fin allow to save energy and oxygen.

INTRODUZIONE ALLA DISCIPLINA DELL'APNEA

LA PINNA: STORIA

È possibile definire la pinna come un appendice efficace per agevolare lo spostamento dell'uomo in acqua. Questa definizione non può certo essere oggetto di obiezioni. Stabilire invece quanto una pinna sia efficiente non è un argomento di facile soluzione.

Nonostante possa sembrare un attrezzo concettualmente semplice, non bisogna dimenticarsi che la sua comparsa e diffusione risale ai primi anni '30 e non in epoche remote. Il primo modello brevettato risale infatti al 1933 grazie all'inventiva del francese Louis De Corlieu. La diffusione di questo attrezzo inizia in America per opera dell'imprenditore Owen Churchill che nel 1940 vende circa un migliaio di pinne fornendo anche i guardiacoste di Santa Monica. Il boom delle vendite avviene però nel 1944 rifornendo le truppe alleate durante la seconda guerra mondiale.



La pinna brevettata da Louis De Corneliu nel 1933 e i guardiacoste americani degli anni '40

La diffusione degli sport acquatici ha permesso il proliferare di numerose case costruttrici più o meno specializzate nella progettazione e produzione di questo articolo sportivo. Attualmente esistono in commercio centinaia di modelli differenti caratterizzati da geometrie molto diverse tra di loro e non è raro vedere pinne dal disegno stravagante, nate dall'intuito fantasioso di qualche produttore con una spiccata sensibilità all'aspetto più commerciale del prodotto. Per quanto riguarda la pala l'utilizzo della gomma naturale è stato in buona parte sostituito da nuovi materiali: il paniere è costituito principalmente da due tecnopolimeri, il polipropilene, utilizzato spesso non come omopolimero ma come elemento principale per la preparazione di elastomeri termoplastici, e l'EVA. Negli ultimi anni hanno fatto la loro comparsa materiali compositi come la fibra di carbonio e compositi in fibra di vetro.

LE SPECIALITA' DELL'APNEA

Assetto costante

L'atleta raggiunge la massima profondità con la sola forza delle gambe per poi risalire allo stesso modo, senza mai toccare il cavo guida. Non ci sono variazioni di assetto dovute all'abbandono di parte della zavorra. E' la specialità più dura e impegnativa, ma allo stesso tempo la più significativa e importante per l'apneista. Oggi, grazie all'utilizzo della monopinna, ci si avvicina ai 100 metri.

Assetto variabile

L'atleta può usare per la discesa una zavorra fino a un massimo di 30Kg, mentre per la risalita non può usare alcun pallone o muta gonfiabile. Deve sfruttare esclusivamente le proprie risorse: gambe e braccia. Le quote attualmente raggiunte superano i 130m.

No limits

In questo caso l'atleta raggiunge la massima profondità con zavorre di peso illimitato e risale in superficie con l'aiuto di un pallone. Una sorta di "ascensore" in cui la vera difficoltà è la compensazione per le elevate quote che oggi raggiungono oltre i 170m.

Immersione libera

Consiste nell'effettuare un tuffo in apnea senza pinne; l'atleta può tirarsi sul cavo guida sia in discesa che in risalita. In questa disciplina si sono raggiunte profondità superiore ai 100m.

Immersione libera non assistita

Consiste nell'effettuare un tuffo in apnea seguendo il cavo guida nuotando la rana subacquea in discesa e in risalita. L'atleta può toccare il cavo una sola volta raggiunta la massima profondità per girarsi e iniziare a risalire. Oggi il record è oltre gli 80m.

Apnea statica

L'atleta deve rimanere sott'acqua il più lungo possibile. Può assumere qualsiasi posizione in acqua purchè le vie aeree siano completamente immerse per tutta la durata della prestazione. Tempo record oltre gli 8 minuti.

Apnea dinamica

L'atleta percorre la più lunga distanza possibile pinneggiando in immersione in piscina. Oltre i 220 metri la massima distanza percorsa.

Rana subacquea

L'atleta percorre la più lunga distanza nuotando la rana subacquea in piscina. Oggi il record ha superato i 180 metri.

BENCHMARK

L'ATTREZZATURA

Immersi nell'idrosfera, che ha caratteristiche chimiche e fisiche ben diverse da quelle dell'atmosfera in cui viviamo, richiede l'utilizzo di un equipaggiamento dedicato che favorisca l'adattamento all'ambiente in termini di comfort e sicurezza.

Gli ostacoli più evidenti sono l'incapacità di vedere, di spostarsi efficacemente, di respirare e di proteggersi dal freddo.

Questi ostacoli oggi sono stati superati con la produzione dei quattro pezzi di base dell'attrezzatura per l'immersione in apnea: la **maschera**, l'**areatore** (snorkel), le **pinne** e la **muta**.

I nuovi materiali e l'esperienza maturata da migliori apneisti hanno permesso alle aziende di settore di fabbricare, in questi ultimi anni, attrezzature sempre più confortevoli e sofisticate, in grado d'incrementare la sicurezza, il comfort e le prestazioni di tutti gli apneisti, dal neofita al campione.

Maschera



Maschera specificatamente studiata per immersioni in apnea

In commercio si trovano due tipi di maschere: a grande volume e a volume ridotto. La prima viene utilizzata per l'immersione con l'autorespiratore; la seconda è l'ideale per gli apneisti.

Una buona maschera per apnea deve innanzitutto avere un volume ridotto. Infatti, scendendo in profondità la maschera tende a schiacciarsi sul viso. Per evitare questo disagiata effetto ventosa è sufficiente che l'apneista soffi aria dentro la maschera dal naso. Più la maschera è piccola, minore sarà la quantità d'acqua necessaria a compensare la pressione esterna e, quindi, da sottrarre alla sua riserva polmonare. Questa manovra si chiama compensazione della maschera.

Va da sé, quindi, che più piccolo è il volume della maschera, minore sarà la quantità d'aria da immettervi durante la discesa a vantaggio dell'apnea, soprattutto se ci si immerge a quote medio alte. È stato provato che per un tuffo profondo serve oltre un litro d'aria per compensare una maschera di volume ridotto.

Per chi opera, invece, in cinque o sei metri, magari tra le onde, può essere conveniente adoperare maschere un po' più grandi, con un maggior volume, ma con una visibilità migliore. Ed è proprio la visibilità uno degli elementi da prendere in considerazione. Fra volume interno e visibilità, le maschere a due lenti rispondono perfettamente a questi requisiti.

Scegliere una maschera adatta al proprio viso è semplice. Dopo aver alzato la testa verso l'alto appoggiate la maschera semplicemente sulla faccia senza indossare il cinghiolo, quindi aspirate col naso creando una leggera depressione all'interno. Riportate la testa nella posizione di riposo. Se fa ventosa e rimane attaccata al viso allora anche in acqua non ci saranno infiltrazioni.

Quando una maschera è nuova, soprattutto se ha il facciale in silicone, prima di adoperarla conviene lavarla tutta, dentro e fuori, con specifici detergenti che si trovano in commercio, oppure con dentifricio o detergente liquido per i piatti che eliminano ogni traccia di grasso dal silicone in modo da evitare futuri appannamenti.

Non bisogna mai dimenticare, a maschera asciutta, di bagnare con la saliva la parte interna dei vetri. Servirà a sgrassarli per evitare che si appannino durante l'immersione.

Aeratore



Aeratore o snorkel

Chiamato anche snorkel all'apparenza è semplicissimo e di poca importanza: un tubo sagomato con inserito da una parte un boccaglio, che permette al subacqueo di respirare tenendo la faccia immersa in acqua.

Invece, lo snorkel o aeratore di superficie, è un elemento di fondamentale importanza e bisogna fare attenzione ad alcune caratteristiche prima di sceglierne uno.

Sono da evitare i boccagli con il terminale corrugato, tra le cui pieghe ristagna sempre dell'acqua, che dà fastidio e fa rumore.

La parte più importante di uno snorkel è il tubo, e precisamente la sua sezione. Se è troppo stretta, il sub impegnerà più energia a ventilarsi e si affaticherà. Se, invece, la sezione è troppo grande, l'apneista farà fatica a svuotarlo completamente dall'acqua. Il tubo ideale deve avere un diametro medio.

Pinne



Pinna specificatamente studiata per le immersioni in apnea

Dalla qualità delle pinne deriva una proprietà fondamentale: la maggiore o minore capacità di trasmettere all'acqua la potenza della pinnata. Non a caso sono gli attrezzi che negli ultimi tempi hanno conosciuto lo sviluppo più radiale. Non molto tempo fa, infatti, esistevano soltanto le pinne in gomma di lunghezza media, che venivano usate sia per l'apnea sia per le immersioni con le bombole. Poi, ad uso specifico degli apneisti, sono state realizzate le pinne lunghe, con la scarpetta di gomma e la pala in tecnopolimero che può arrivare anche al metro di lunghezza, e viene fissata alla scarpetta mediante due guide e una o più viti.

La pala è il battistrada che permette di aderire all'acqua e spingere l'atleta in profondità e di risalire con un consumo di energia relativo. La stragrande maggioranza delle pale in commercio sono in tecnopolimero, un materiale elastico dotato di un discreto ritorno alla posizione originale, anche se inferiore alla resa delle pale in carbonio. Il disegno della pala, in genere, presenta alcune scanalature longitudinali e parallele, che servono a incanalare l'acqua e a eliminare i fenomeni di sbandamento laterale sotto sforzo.

Oggi, nei negozi specializzati si può scegliere fra pale di diversa rigidità, per soddisfare tutti i gusti. Si va dai modelli più morbidi, adatti a chi è leggero con una muscolatura longilinea, a quelli molto rigidi, indicate per gambe robuste e corporatura più grossa e, quindi, meno idrodinamica. La pinna con la pala più nervosa ha una spinta più efficace, ma nel contempo necessita di maggiore forza per essere utilizzata.

Le pinne non hanno bisogno di grandi cure. Basta sciacquarle in acqua dolce dopo ogni immersione in mare ed evitare l'esposizione prolungata ai raggi del sole, per impedire che la gomma della scarpetta si possa vulcanizzare, diventando porosa e, quindi, meno resistente. E' inoltre importante ricordarsi a fine stagione di controllare le viti che fissano la pala alla scarpetta: toglierle, pulirle e versarci sopra una goccia di liquido o spray antiossidante.

Esistono infine, ed è storia recente, le pale in fibra di carbonio, un materiale costoso in grado di assicurare prestazioni di altissimo livello. La fibra di carbonio, pur non essendo ancora molto diffusa nel settore subacqueo, a causa degli alti costi, sta diventando un fattore discriminante; specialmente nei tuffi profondi. La sua principale caratteristica è la rapidità di risposta nell'inversione della pinneggiata e la conseguente riduzione dei tempi morti.

La resa è notevole proprio per il buon rapporto peso/rigidità e le caratteristiche di elasticità del materiale. L'elasticità, in particolare nella fase d'inversione, permette alla pala d'essere molto reattiva: per cui, quando l'azione dell'apneista inverte la fase di pinneggiata, la pala immediatamente reagisce a tutto vantaggio della spinta. Anche perché la fibra di carbonio, sotto sforzo, si flette in maniera uniforme su tutta la superficie.

La scarpetta deve rispondere a due requisiti principali: fasciare il piede perfettamente, senza creare costrizioni e, allo stesso tempo, trasmettere alla pala i movimenti generati dai muscoli delle gambe. E' per questo motivo che per le pinne di qualità superiore è stata realizzata una soluzione costruttiva a due mescole di gomma di differente durezza. La più morbida è utilizzata per la parte che alloggia il collo del piede e interessa anche la caviglia, mentre con la più dura sono realizzati la pianta, i longheroni laterali e la parte che cinge le dita, lasciandole tuttavia libere di muoversi, come in un sandalo. In questo modo la scarpetta avrà una comoda calzata e fascierà il piede efficacemente.

Muta



Muta monopiece

In commercio ci sono tantissimi modelli di muta da apnea in grado di soddisfare ogni esigenza. Tra queste, si può scegliere tra capi su misura, oppure confezionati con pantaloni a vita alta o salopette, monofoderati o bifoderati, con o senza cerniera, eccetera.

Prima di tutto la muta deve essere comoda e avere un taglio che fasci perfettamente il corpo. Non cidevono essere “vie d’acqua” per evitare dispersione di calore e deve essere confezionata in neoprene di ottima qualità. Cioè morbido ed elastico per non costringere il torace e limitare la ventilazione; un buon neoprene inoltre deve avere come caratteristica l’incomprimibilità. Scendendo, infatti, la pressione tende a schiacciare il neoprene, che si riduce di spessore perdendo parte del suo potere di isolante termico e provocando importanti variazioni di assetto.

La muta deve essere calda, soprattutto se la si indossa d'inverno e nelle mezze stagioni e il neoprene dovrà avere uno spessore sufficiente a isolare il corpo dall'acqua fredda.

Tra i diversi tipi di neoprene troviamo il monofoderato e il bifoderato.

Il **monofoderato** ha una sola fodera che può essere all'interno o all'esterno. L'altra superficie è liscia, in neoprene. Se la parte foderata è a contatto con il corpo, avremo due vantaggi: la vestizione agevole, in quanto il materiale scivola con facilità sulla pelle, e un maggior potere termico fuori dall'acqua. La muta, infatti, asciugherà prima, essendo il neoprene direttamente a contatto con l'aria. Se, invece, la fodera è applicata all'esterno, avremo una muta più resistente agli strappi e alle abrasioni rispetto ad una liscia, ma si faticherà di più ad indossarla poiché il neoprene non scivola agevolmente sulla pelle. Per contro la parte liscia a contatto con la pelle ha il vantaggio di essere morbida, calda e di aderire molto bene.

Il **bifoderato**, invece, è un foglio di neoprene pressato fra due fodere. È il capo più resistente in commercio: non si taglia facilmente sfregando contro le rocce e non si strappa se lo si indossa senza troppe attenzioni proprio perché è reso più resistente dalla presenza della doppia fodera. Gli svantaggi sono una maggiore rigidità, soprattutto dopo qualche immersione, e un minore potere termico rispetto ad un monofoderato di pari spessore. Nonostante ciò, è il capo più indossato dai subacquei, perché dura molto di più di una muta monofoderata.

Il monofoderato è sicuramente più indicato per chi si immerge durante tutte le stagioni; il bifoderato va invece bene per chi si immerge meno e che quindi non necessita di un capo molto tecnico.

Per finire c'è lo **spaccato**, una muta nella quale la parte porosa del neoprene è a contatto con la pelle. Infatti i fogli di neoprene hanno i due lati vulcanizzati e la zona centrale spugnosa, con tante cellette piene d'aria. Quella in neoprene spaccato è una muta consigliata per apneisti di alto livello. I vantaggi di questa soluzione sono la morbidezza e l'alto potere termico, in quanto il materiale poroso aderisce alla pelle riducendo veramente al minimo le infiltrazioni d'acqua. Per contro la spaccato ha due inconvenienti: è faticoso da indossare, poiché non scivola sul corpo, ed è più delicato.

Esistono **due tipi di spaccato**: lo sfoderato e il monofoderato. Lo **sfoderato** fuori è liscio ed è morbidissimo perché conserva inalterata la caratteristica morbidezza del neoprene. Va bene in inverno poiché asciuga in fretta, ma è delicato: si strappa facilmente. Basta un'unghia maldestra o uno sfregamento contro gli scogli per provocare degli strappi. Il **monofoderato** è altrettanto caldo, ma ha il vantaggio di essere più robusto, dato che la fodera esterna lo protegge dalle abrasioni e lo rende più resistente agli strappi. Ci mette più tempo ad asciugare, però, e questo, soprattutto in inverno, in caso di spostamenti in barca, costituisce un limite in termini di dispersione di calore.

I più comuni tagli della muta sono il **due pezzi** e il **monopezzo**. Il due pezzi è costituito dalla giacca e dal pantalone mentre il monopezzo è un taglio unico (giacca e pantaloni uniti) e viene generalmente usato in acque calde. Il due pezzi ha il cappuccio incorporato, mentre nel monopezzo il cappuccio, di norma, non è previsto e viene fornito come accessorio a parte. Il pantalone, nel due pezzi, è preferibile a vita alta in quanto crea minori costrizioni al torace durante la ventilazione.

Particolare attenzione va dedicata alle guarnizioni stagne in neoprene liscio, chiamate anche "acqua stop", in corrispondenza di polsi, caviglie e contorno facciale: limitano le infiltrazioni d'acqua ma, per contro, rendono la vestibilità della muta un po' più faticosa in quanto non scivolano facilmente sulla pelle. È sufficiente rivoltarle quando si indossa la muta e il problema è risolto.

La muta è un indumento tecnico cui è necessario dedicare la giusta attenzione affinché si conservi bene e sia sempre indossabile per avere comfort. Le pieghe sono un inconveniente che rendono poco confortevoli e facilmente deteriorabili sia la giacca che i pantaloni. Per questa ragione non bisogna mai lasciare la muta nella borsa per tanto tempo e magari con la cintura di zavorra appoggiata sopra.

Come ogni altra parte dell'equipaggiamento, anche questa va lavata in acqua dolce sia che sia stata usata in mare che in piscina perché sia la salsedine che il cloro possono danneggiare il neoprene. Dopo averla ben asciugata va riposta con un appendiabiti in un posto buio e secco.

Se occasionalmente si dovessero sfilacciare le cuciture della muta foderata è possibile bloccare questo processo bruciando il nylon con la fiamma di un accendino. Piccoli tagli della muta possono, inoltre, essere riparati con del semplice neoprene liquido reperibile in commercio.

Cintura di zavorra

E' composta da due pezzi: la cintura vera e propria (in gomma elastica o in nylon) e i pesi. La sua funzione è quella di bilanciare la spinta positiva della muta. Per quanto riguarda la cintura, è da preferire quella in gomma elastica che permette di mantenere i pesi ben fissi in vita anche in profondità. Non bisogna infatti dimenticare che, scendendo, il corpo subisce uno schiacciamento per via della pressione idrostatica che fa diminuire i volumi d'aria, e se si ha una cintura non elastica, questa può tendere a ruotare su se stessa o salire verso il torace. La cintura elastica, invece, asseconda maggiormente piccole variazioni causate dall'aumentata pressione.

STRUMENTI

Orologio

Deve essere chiaramente subacqueo e quindi resistente ad elevate pressioni. Un aspetto a cui fare attenzione è sicuramente una buona leggibilità del quadrante e delle lancette anche in condizioni di luce scarsa. Il cinturino deve essere, inoltre, adattabile alla circonferenza del polso coperto dalla muta.

Profondimetro

E' lo strumento che serve a misurare la profondità. Analogico o digitale che sia, i dati devono essere ben leggibili sul quadrante. Ogni profondimetro di qualità deve indicare anche la massima profondità raggiunta.

Computer

Di recente alcune aziende hanno studiato strumenti specifici per gli apneisti. Oltre alla profondità, al tempo totale impiegato, questi strumenti memorizzano tutti i tuffi e i tempi di recupero.

Interfacciandoli con un PC è possibile scaricare i dati e analizzare le performance nell'apnea profonda e programmare allenamenti mirati e personalizzati.

ALTRI ACCESORI

Sottomuta

Si adopera spesso, soprattutto nei mesi freddi. Per quanto riguarda i materiali vale lo stesso discorso delle mute. Esistono modelli in monofoderato, bifoderato e di diversi spessori, anche se solitamente i sottomuta sono realizzati in neoprene da due o da tre millimetri. Più spessi, infatti, darebbero fastidio, soprattutto vicino al collo e alle ascelle, dato che la giacca li comprimerebbe eccessivamente, facendo sfregare le cuciture contro la pelle.

Calzari

La loro funzione è quella di tenere i piedi caldi nei periodi di acqua fredda e di evitare l'insorgere di abrasioni o vesciche nei punti di sfregamento con la scarpetta delle pinne. Sono fatti in neoprene, monofoderato o bifoderato. Esistono anche calzari più pesanti, con la suola di gomma dura da indossare con le pinne aperte che hanno un cingolo regolabile sul tallone, ma non sono adatti per l'apnea.

Se la temperatura dell'acqua lo permette, si possono indossare anche normali calze di cotone: il vantaggio della calza è che protegge i piedi da abrasioni e vesciche ma non li fa galleggiare.

Guanti

Proteggono dal freddo e salvaguardano le mani da graffi, inevitabili quando si lavora a contatto col fondo. In inverno, quando l'acqua è fredda, diventa indispensabile usare guanti di neoprene per evitare che dopo un'ora di permanenza in acqua le mani comincino a intorpidirsi rendendo difficoltosa qualsiasi operazione. Per contro il guanto di neoprene causa una perdita di sensibilità.

Nelle stagioni con acqua meno fredda, conviene optare per guanti leggeri in tela o in materiale sintetico antiscivolo. Il loro potere termico è quasi nullo, in compenso evitano che le mani si graffino senza togliere sensibilità.

Bermuda

Sono calzoncini in neoprene a coscia lunga (al ginocchio) che si indossano sopra la muta allo scopo di ridurre le infiltrazioni d'acqua tra giacca e pantalone.

Sono adottati soprattutto nei mesi invernali e nei laghi dove, in genera, l'acqua è più fredda che in mare. Lo spessore di neoprene può variare da due a tre millimetri.

Cavigliere

Sono piccoli pesi alloggiati in apposite fascette che possono essere fissati alle caviglie. Servono per non far galleggiare le pinne. Si usano per l'apnea a basse profondità; in profondità sono sconsigliati ed inutili, in quanto la pressione idrostatica rende il corpo negativo e così pure le pinne.

Coltello

Serve a liberarsi nell'eventualità che si rimanga impigliati sul fondo in qualche lenza o rete abbandonata. Un lato della lama deve essere liscio, l'altro seghettato, per tagliare grosse cime.

Torcia subacquea

L'esigenza principale di una torcia per l'apnea è quella di illuminare con un fascio di luce diretto, compatto e abbagliante ciò che si nasconde nell'oscurità.

Stroboscopia

Si tratta di un lampeggiatore di dimensioni ridotte che può essere fissato al braccio con una fascetta di velcro. E' di grande utilità quanto si opera in acqua torbida con visibilità ridotta.

Pallone segna-sub

In commercio esistono due tipi di palloni segna-sub: quello tradizionale sferico e quello a siluro. Il primo ha il vantaggio di essere meglio visibile dai piloti di natanti quando il mare è mosso; il secondo ha quello di offrire meno resistenza e di far quindi risparmiare fatica all'apneista che lo trascina. Per questo motivo i palloni sono realizzati con colori sgargianti, come il rosso, l'arancione e il giallo.

Fissa-pinne



Fissa-pinne

Realizzati in gomma al silicone o vulcanizzata, servono ad assicurare le pinne ai piedi. Si tratta di tre fettucce di gomma, imperniate e stampate a caldo su un unico punto, che si usano infilando la prima sopra la scarpetta facendo passare una banda in corrispondenza del collo del piede, la seconda dietro al tallone e l'ultima sotto il calcagno. La gomma del fissa-pinne, a contatto con quella della scarpetta, fa attrito migliorando il bloccaggio delle pinne sui piedi evitando che accidentalmente si sfilino.

Scatola dei piccoli attrezzi e dei ricambi

Si tratta di un piccolo kit con alcuni pezzi di ricambio essenziali e qualche attrezzo come pinza, forbice e cacciavite per i piccoli interventi sull'attrezzatura.

Libretto di immersione Free Diving Log

E' un diario in cui raccogliere dati in modo razionale circa l'esperienza pratica, il contesto meteo-marino in cui si è svolta e l'attrezzatura utilizzata. Questa memoria permette di prendere consapevolezza dei progressi compiuti e per programmare futuri allenamenti.

LE PINNE

Rispetto quanto fatto prima andiamo ora ad analizzare più nello specifico le differenze fra una pinna d'apnea ed una più comune pinna subacquea:

Pinne per immersioni con autorespiratori



Normali pinne da skuba

È la tipologia di pinna più diffusa. Infatti oltre ad essere utilizzata nello sport subacqueo maggiormente praticato, il suo utilizzo può andare anche oltre l'immersione con ARA: è un valido strumento per l'avvicinamento alle immersioni in apnea e per l'allenamento in piscina.

Anche se esistono modelli di lunghezza differente, generalmente sono pinne molto più corte rispetto a quelle da apnea. La superficie della pala arriva generalmente fino a 800cm². Dato il suo campo di utilizzo, sono infatti richieste qualità come l'agilità, la compattezza e la reattività: è difficile pensare di poter esplorare un relitto nuotando con una corretta pinneggiata con pinne lunghe più di 70cm! Questa categoria deve naturalmente offrire buone prestazioni in termini di spinta propulsiva esercitabile con efficacia, ma deve anche essere fruibile dalla massa. Quest'ultimo aspetto pilota la fase di progettazione influenzando anche sulla scelta dei materiali utilizzati: l'accoppiamento di due o anche tre materiali diversi è spesso dettato da manovre commerciali e l'adozione di materiali compositi è generalmente scartato, oltre che per contenere il prezzo del prodotto finale, poiché questi materiali richiedono maggior accortezza nel suo utilizzo. I tecnopolimeri con cui sono realizzate queste pinne sono il compromesso migliore tra prestazioni meccaniche richieste e capacità di far fronte al comportamento non prevedibile dell'utente finale.

Alcuni modelli di pinne per ARA adottano particolari accorgimenti per aumentare la canalizzazione del flusso d'acqua nella direzione in cui si sviluppa longitudinalmente la pinna: a seconda della casa produttrice è possibile trovare pinne con alette che escono dal piano della pinna oppure pale con inserti in gomme che a causa della loro maggior cedevolezza permettono alla pinna di deformarsi lungo la sua lunghezza sotto il carico idrodinamico, facendo assumere alla pala la cosiddetta forma a cucchiaio.

Pinna per apnea



Pinne studiate per le immersioni in apnea

La caratteristica distintiva di questa pinna è la maggiore lunghezza della pala. Questa particolarità permette infatti all'atleta di esercitare una grande forza propulsiva con la sola battuta delle gambe. La pinna per apnea segue l'idea di fondo che l'utente finale sia un atleta in possesso di una corretta tecnica di pinneggiata e di una buona condizione muscolare tale da sfruttare l'eccezionale spinta che può offrire questo tipo di attrezzo. La superficie della pala arriva anche a raggiungere i 1500cm^2 . La sua pala più lunga e più stretta di una pinna per scuba-diving permette di muovere un volume maggiore d'acqua e di effettuare una pinneggiata più efficiente: con le pale più strette, si ha la possibilità di tenere le gambe piuttosto vicine tra loro, riducendo così il drag (è la risultante delle forze idrodinamiche opposta all'avanzamento di un corpo immerso in un fluido) durante il nuoto subacqueo. Una corretta pinneggiata, con le gambe che si muovono su due piani paralleli tra di loro per tutto il ciclo di battuta, può non necessitare dell'aiuto fornito dalla canalizzazione del flusso d'acqua. Nelle pinne per apnea è pratica affidarsi alle sole costolature laterali per incanalare il flusso e limitare le perdite laterali. In questo modo, diversamente a quanto accade per molte pinne ARA, si evita di fornire l'energia necessaria per la deformazione trasversale della pala, riducendo il consumo energetico richiesto all'apneista risparmiando di conseguenza ossigeno prezioso. Lo sviluppo di pinne da apnea con superfici sempre maggiori ha portato all'introduzione dei materiali compositi come fibre lunghe di carbonio immerse in una matrice epossidica e compositi in fibra di vetro. Questa innovazione è stata dettata dalla necessità di ridurre il peso della pinna. La leggerezza è infatti un importante parametro di merito: riducendo le masse inerziali si aumenta il rendimento della propulsione.

Monopinna



Immersione con monopinna

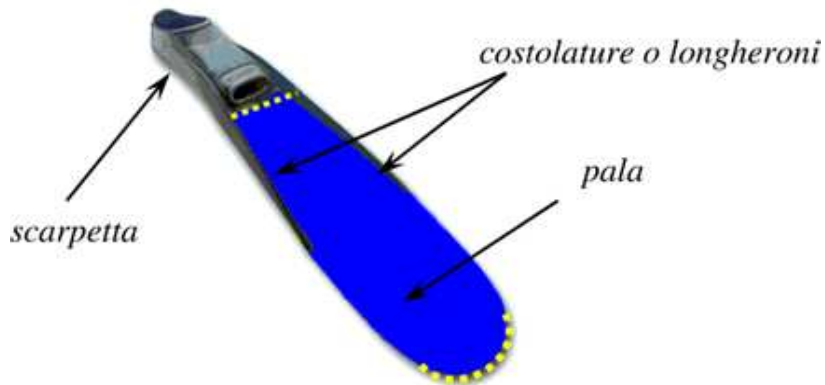
Questa tipologia di pinna è quella che si differenzia maggiormente dalle altre, sia per la sua configurazione che per il suo utilizzo. L'enorme superficie di spinta e la pinneggiata a delfino permettono all'atleta di raggiungere le velocità maggiori rispetto a qualsiasi altro sport subacqueo. La superficie della pala è in teoria limitata solo dalla capacità muscolare degli arti inferiori dell'atleta, ma il regolamento internazionale di questo sport impone una lunghezza massima ed una larghezza massima di pala entrambe pari a 76cm: la superficie di spinta arriva quindi a circa 3720cm².

Con la gambata a delfino, la larghezza di pala non è più limitata al fine di evitare la collisione tra le due gambe: grazie al maggior sviluppo trasversale, le perdite laterali hanno un peso percentuale minore sulla spinta totale esercitata. Le costolature non sono quindi utilizzate.

Diversamente da quanto è possibile osservare in molte pinne per ARA o apnea, queste pinne sono realizzate senza un angolo di offset.

GLI ELEMENTI CHE COSTITUISCONO LE PINNE D'APNEA

Vediamo adesso i principali elementi che costituiscono una pinna d'apnea:



I principali elementi di cui è composta una pinna, le linee tratteggiate indicano il trailing edge e il leading edge

La scarpetta:

È un elemento fondamentale in quanto costituisce l'unione del piede con la pinna e attraverso di essa avviene il trasferimento di potenza dalle gambe alla pala. È tuttora realizzata in gomma con eventuali inserti in tecnopolimero. La scarpetta deve essere abbastanza morbida in prossimità del contorno delle dita per consentire una pinneggiata confortevole, ma allo stesso tempo deve essere sufficientemente rigida nella suola e nella parte a contatto col collo del piede per poter impartire la forza propulsiva senza eccessive perdite dovute ad una sua eccessiva deformazione. In alcuni modelli la scarpetta è rimpiazzata da fibbie che permette di indossare le pinne con vari tipi di calzari e sono quindi utilizzate nelle immersioni in acque fredde.

La pala:

È il mezzo attraverso il quale avviene la propulsione. La sua conformazione ed i materiali utilizzati qualificano l'utilizzo a cui sarà destinata la pinna. Le tre categorie principali verranno dettagliatamente descritte in seguito. La sua geometria definisce due parametri caratteristici: la **superficie di spinta** (parametro fondamentale per descrivere una pinna in quanto definisce la sua capacità a muovere grandi volumi d'acqua) e l'**aspect ratio** (definito come il rapporto tra il rapporto tra il quadrato della larghezza della pala e la sua superficie).

Il comportamento dinamico della pinna e la massima spinta esprimibile sono funzioni, oltre che dei parametri indicati in precedenza, della rigidità flessionale della pala: uguali modelli vengono commercializzati con pale che sono indicate come "più o meno dure".

Molti modelli adottano una pala che non giace nello stesso piano della pianta del piede, ma presentano un angolo di offset: in alcuni casi può arrivare fino a 20° anche se sono maggiormente diffusi angoli minori per questioni di praticità nell'utilizzo della pinna.

I due lati corti che delimitano la geometria della pala sono identificati con i nomi di leading edge e trailing edge. Il **leading edge**, in italiano bordo d'attacco, è il tratto di pala collegato alla scarpetta ed attraverso di esso è comunemente ipotizzato che avvenga l'imposizione del movimento all'intera pala. Il **trailing edge**, in italiano bordo d'uscita, è il profilo terminale della pala: in commercio esistono pinne con diverse forme del trailing edge spesso dettate da politiche commerciali che hanno lo scopo di disegnare una pala con spiccati richiami al mondo animale marino.

I logheroni:

Sono dei rinforzi laterali alla pala che hanno diverse funzioni, tutte di uguale importanza. Partendo dalla scarpetta con spessori notevolmente maggiori e proseguendo lungo la pala con altezze più o meno rastremate, trasferiscono e distribuiscono i carichi applicati dal piede dell'atleta. Attraverso la loro geometria influenzano la rigidità flessionale della pinna. Nel caso in cui la pinna sia realizzata con materiali compositi, proteggono quest'ultima da urti accidentali. Con la loro conformazione riducono le perdite laterali dovute ai vortici di scia e contribuiscono a convogliare il fluido nella direzione desiderata. Sono principalmente realizzati in gomma ed in alcuni casi in tecnopolimero.

I MATERIALI

Nel paragrafo precedente si è accennato ai principali materiali utilizzati in questo settore. La caratteristica basilare richiesta in questo settore è ovviamente un comportamento iperelastico che permetta alla pinna di non accumulare deformazioni plastiche permanenti durante il suo normale utilizzo.

La **gomma naturale** è l'elastomero maggiormente diffuso a livello mondiale. È ottenuta dalla vulcanizzazione del lattice, la linfa dell'albero della gomma. Attraverso questo trattamento sono creati i legami tra le diverse catene molecolari: il numero di questi legami determina le proprietà del materiale. Il vero vantaggio di questo materiale rispetto agli altri elastomeri oggi diffusi nella produzione delle pinne è il ristretto ciclo d'isteresi che manifesta. Se questo materiale non è additivato presenta una bassa resistenza all'ossidazione ed ai raggi ultravioletti.

La comparsa degli elastomeri termoplastici, ossia elastomeri ottenuti dall'unione di più monomeri che alternando strutture amorfe e strutture cristalline conferiscono al materiale un comportamento gommoso, ha soppiantato l'utilizzo della gomma naturale. Infatti, il principale vantaggio dei materiali termoplastici è la facile processabilità e la possibilità di essere riciclati.

L'**EVA** è stato il primo tecnopolimero ad essere utilizzato nella produzione di pinne grazie alla buona compatibilità tecnologica con la gomma. È un elastomero termoplastico ottenuto dall'unione dell'etilene e di una percentuale variabile di vinil-acetate. La presenza del gruppo vinil-acetate condiziona il grado di cristallinità del polimero finale, modificando di conseguenza le caratteristiche meccaniche.

Ha il vantaggio di mantenere le sue doti di tenacità e flessibilità fino a temperature di circa -70° , una migliore resistenza all'ozono rispetto alla gomma naturale ed è processabile mediante tutte le lavorazioni tipiche dei termoplastici. Tuttavia, presenta lo svantaggio di avere una resistenza all'abrasione inferiore rispetto ad altri elastomeri e, di conseguenza, la superficie si danneggia facilmente.

L'elastomero termoplastico maggiormente diffuso nella produzione di pinne in questi anni è, come si legge erroneamente su molti cataloghi e recensioni, il **polipropilene**. Per la precisione il polipropilene normalmente commercializzato ha un comportamento elastoplastico tipico delle plastiche. Infatti il comportamento di questo polimero dipende considerevolmente dal grado di tatticità della catena polimerica.

Un comportamento gommoso si può ottenere governando il processo di polimerizzazione. Infatti, realizzando catene polimeriche isotattiche alternate a catene atattiche si ottiene un copolimero a blocchi che presenta frazioni cristalline (generate dai blocchi isotattici) e frazioni amorfe (generate dai blocchi atattici): questo copolimero è un tipo di elastomero termoplastico.

Un'altra possibilità di ottenere un elastomero, o una gomma termoplastica, a partire dal propilene è quella di realizzare un copolimero dall'unione dei monomeri etilene e propilene ottenendo così la gomma commercialmente indicata con l'acronimo **EPM o EPR**.

I vantaggi di questi due elastomeri (EPM e EVA) che hanno favorito la loro diffusione nel settore delle pinne sono:

- la buona resistenza alla fatica,
- buona compatibilità di processo con tutti i polimeri vinilici,
- bassa massa volumica (in entrambi i casi di poco superiore a $0,9\text{kg/dm}^3$),

Per migliorare la resistenza ai raggi ultravioletti entrambi i polimeri possono essere additivati con del nerofumo (carbonio).

Negli ultimi anni l'utilizzo di **materiali compositi** ha allargato il paniere dei materiali utilizzati per questa applicazione. Di particolare interesse è l'utilizzo della fibra di carbonio immersa in matrice epossidica nelle pinne d'apnea. Infatti, la caratteristica vincente di questo materiale è il ridottissimo ciclo d'isteresi che presenta ed offre inoltre la possibilità di creare pale di spessore molto ridotto grazie alla resistenza maggiore che offre la fibra di carbonio rispetto ad altri materiali termoplastici.

Tuttavia, gli svantaggi che presenta questo materiale sono la bassa resistenza agli impatti (è richiesto quindi una maggior cura da parte dell'utilizzatore finale) e la corrosione per idrolisi che caratterizza la matrice epossidica.

LAVORAZIONI DELLA GOMMA

Il ciclo di lavorazione che porta dal polimero al prodotto finito può essere suddiviso in quattro fasi:

1. lavorazione preparatoria del polimero, o masticazione
2. mescola
3. formatura
4. vulcanizzazione

La **lavorazione o masticazione** ha lo scopo di rendere l'elastomero molle e plastico, abbassandone il peso molecolare, cosicché sia più facile incorporare gli additivi e le cariche. Si esegue in mescolatori chiusi a ruote dentate (Banbury), in macchine a cilindri o in estrusori (Gordon). La temperatura tende a innalzarsi e deve essere mantenuta attorno a 100-120 °C mediante raffreddamento.

La **mescola** si esegue nella stessa macchina, aggiungendo nell'ordine e nelle quantità prestabilite i vari additivi quali cariche, rinforzanti, stabilizzanti, protettivi, antiossidanti, plastificanti, l'agente vulcanizzante e i relativi acceleranti. Nel frattempo si procede con la masticazione per ottenere una massa omogenea.

La **formatura** si fa per:

- calandratura per le lastre,
- estrusione per tubi e profilati
- stampaggio a compressione o stampaggio a trasferimento o stampaggio a iniezione per pezzi di forma più complicata

Durante la calandratura o l'estrusione la temperatura viene mantenuta intorno ai 100 °C per mantenere plastico il materiale; nello stampaggio la formatura è contemporanea alla vulcanizzazione.

La **vulcanizzazione** consiste nel portare l'articolo a temperatura di 140-180 °C e mantenerlo per un tempo che, in dipendenza della mescola e delle dimensioni dell'articolo, può variare da 1 a 30 minuti primi.

Gli estrusi e i calandrati vengono riscaldati per azione di aria calda o di vapore surriscaldato, oppure per immersione in acqua surriscaldata o in sali fusi. In certi casi si utilizza il riscaldamento a radiofrequenza o con radiazioni ad alta energia.



Stampaggio mediante stampi riscaldati di pinne

Nello stampaggio si usa riscaldare lo stampo (o i piani della pressa che lo contiene) con vapore.

PRODOTTI DISPONIBILI SUL MERCATO

Qui di seguito si trova un rapido elenco dei principali prodotti che è possibile reperire sul mercato.

Pinne Spora Sub Revolution



Un paio di pinne Spora Sub Revolution

La scarpetta della pinna Revolution è concepita e realizzata come una vera scarpa ed è quindi caratterizzata da un comfort senza eguali nel mercato della subacquea. E' disponibile in sette taglie: dalla taglia 40 alla 46.

La tomaia della scarpetta è preformata ed è realizzata in nylon con una copertura in poliuretano. Entrambe i materiali sono impermeabili e altamente resistenti in ambiente marino. Le imbottiture e la suoletta interna sono anch'esse idrorepellenti e quindi non permettono assorbimento e ristagno di acqua.

Le tre fasce di velcro di chiusura consentono l'aderenza sempre perfetta della scarpa, pur cambiando spessore di calzari.

La suola è realizzata in termoplastica Grivory by EMS con tacco antiscivolo in poliuretano. L'elevata rigidità di questi materiali consentono di scaricare la potenza impressa dalle gambe sulla pala senza dispersioni di energia, migliorando così il rendimento.

La suola presenta inoltre dei canali di scolo, al suo interno, che ne permettono lo svuotamento, a fine pesca, evitando così ristagni e formazioni di muffe all'interno della scarpa. La tomaia è collegata alla suola tramite un incollaggio strutturale. Inoltre, nella parte anteriore della scarpetta, dove vi è una maggiore sollecitazione in fase di pinneggiata, la tomaia è fissata alla suola da due ribattini inossidabili.

Pala smontabile e sostituibile realizzata con un polipropilene ad alto modulo. L'inclinazione della pala di 26°, rispetto all'asse della suola, permette di ottenere una spinta di pari valore, in fase di passata e

contropassata, limitando il punto morto di mancata spinta. Nella pala sono stati inserite 5 derive. Le quattro derive laterali, due superiori e due inferiori, non permettono alla pala di derapare durante la pinneggiata.

La deriva centrale superiore permette inoltre, in fase di pesca all'aspetto, di non appoggiare pienamente il piano pinna e di limitare quindi sollevamento di depositi dal fondo.

La pala è fissata alla scarpetta con l'ausilio di quattro viti metriche M5 in acciaio inossidabile.

E' disponibile in due versioni: nella classica colorazione nera o con finitura verde mimetica.

Pinne Omer Stingray



Un paio di pinne Omer Stingray

Queste nuove pinne, con pala amovibile, si caratterizzano per avere le scarpette realizzate in termo gomma e per avere un angolo tra pala e scarpetta di ben 22° (rispetto ai tradizionali 15°/17°). L'utilizzo della termogomma, in due differenti durezza, ha consentito di realizzare una calzata ancora più confortevole.

L'angolo di 22° tra pala e scarpetta è invece frutto di studi volti ad ottimizzare il potere di spinta delle pinne a parità di sforzo. Le pale sono realizzate in polipropilene a basso modulo.

Disponibili nelle taglie 41/42, 43/44, 45/46, 47/48.

Pinne Cressi Gara Professional



Una pinna modello Cressi Gara Professional

La pinna è composta da una pala non intercambiabile, solidale con la scarpetta: una precisa scelta Cressi per ridurre anche la più piccola dispersione di forze durante la pinneggiata.

Grazie a una costante e incessante ricerca sui materiali si è riusciti a ottenere un perfetto connubio tra una pala straordinariamente elastica e reattiva e l'eccellente comfort offerto da una scarpetta anatomica di nuova progettazione.

Pinne C4 Mustang VGR



Un paio di pinne C4 Mustang VGR

La calzatura delle pinne è un aspetto determinante per l'efficacia delle stesse. La scarpa è l'elemento primario nella catena cinematica di trasmissione dell'energia dal piede alla pala: migliore sarà il collegamento, più energia sarà trasferita al movimento.

Una pinna sub ha un ottimo rendimento se la scarpa ha una buona ergonomia, adattandosi perfettamente al piede. Perciò abbiamo realizzato scarpe anatomiche destre e sinistre, con una regolazione personalizzata della chiusura della scarpa.

Una scarpa singola, che costringa il piede o che lo lasci libero di muoversi parzialmente dentro di essa, è stata sino ad ora la normale condizione con cui tutti i sub si sono confrontati, scegliendo tra quanto dolore sopportare o quanta energia inevitabilmente disperdere.

Le C4 MUSTANG VGR eliminano semplicemente questi problemi all'origine: migliorano sensibilmente la calzatura, dando più confort e più efficacia al gesto atletico.

La forma della calzatura C4 è stata creata elaborando, in funzione delle esigenze dei sub in apnea, le migliori scarpe da corsa per atletica, a garanzia di eccellente ergonomia.

L'ottima anatomia delle scarpe C4 MUSTANG VGR ha consentito l'uso di un polimero di buona tenacità a garanzia di un'eccellente trasmissione di energia senza per questo ridurre il confort..

Le pinne C4 MUSTANG VGR sono assemblate con viti di fissaggio senza l'ausilio di collanti a garanzia di facile intercambiabilità.

Le pinne C4 MUSTANG VGR sono disponibili in cinque taglie: European sizes: 39/40 - 41/42 - 43/44 - 45/46 - 47/48.

Le pale C4 MUSTANG VGR hanno la sezione più sollecitata aumentata del 15%. Inoltre la posizione delle viti di fissaggio è stata volutamente allontanata dalla piega della pala per rendere nullo l'effetto di intaglio dei fori. La combinazione dell'aumentata sezione resistente, dell'assenza dei fori sulla sezione sollecitata e

della variazione della laminazione delle pale C4 MUSTANG VGR ha consentito il raggiungimento in test di laboratorio di una resistenza alla frattura superiore del 40% rispetto alle pale di tipo standard.

Gli eccellenti risultati sportivi ottenuti con le pale C4, dal 1990 ad oggi, sono la sicura garanzia delle prestazioni dei nostri prodotti e della correttezza delle scelte tecniche.

Nelle MUSTANG VGR la forma a flap del terminale delle pale (brevetto C4) permette migliori curve di flessione paraboliche, minori assorbimenti di energia e un maggiormente efficace distacco dei filetti fluidi dalla pala.

PARTE BIOMECCANICA

ANALISI DELL'INEFFICIENZA DELLA PINNEGGIATA LEGATA ALLE PINNE

Scarpetta larga

Nella perdita di efficienza della pinna, uno dei motivi senz'altro più rilevanti è la non perfetta compatibilità del piede con la scarpetta. Ogni piede possiede caratteristiche morfologiche proprie, grandezza, grossezza, conformazione; per non parlare della differenza che ci può essere da destro e sinistro.

I modelli di scarpetta in commercio sono pochi e quindi, quasi sempre, si è costretti a scegliere pinne che a volte non calzano perfettamente. Il compromesso fra comfort del piede ed efficienza della trasmissione dei movimenti alla pala quasi sempre va a scapito di quest'ultima.

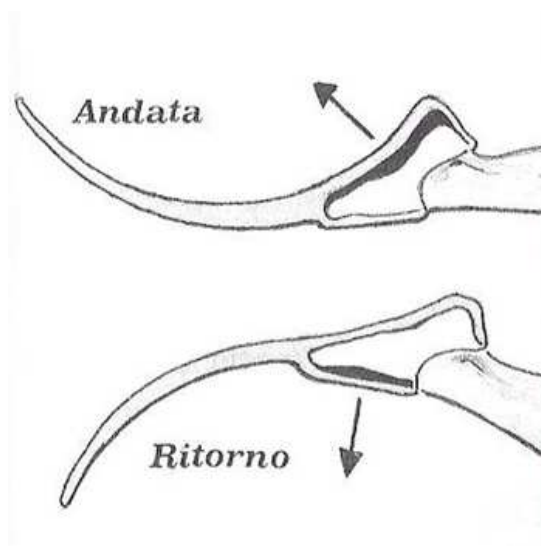
Gli effetti di tutto questo sono facilmente intuibili: il gioco del piede nella scarpetta si ripercuote sul passaggio degli impulsi muscolari creati dagli arti inferiori con conseguente perdita di spinta dovuta alla non perfetta trasmissione della forza impressa dal piede alla pala. Molti apneisti tentano di ovviare a questo problema con l'uso del calzare o di calze opportunamente spessa.

Questo accorgimento in effetti riduce il gioco del piede nella scarpetta omogeneamente ma non riesce a ridurre in modo significativo gli spazi che di solito sono situati sotto l'arco plantare e sopra l'attaccatura delle dita.

Non è facile accorgersi di questo problema, ci vogliono attenzione e sensibilità; un'attenta analisi della pinneggiata aiuta a sentire eventuali perdite di energia nel sistema piede-scarpetta, ma poi soltanto la personalizzazione della scarpetta potrà servire a risolvere il problema.

Si può tentare di ridurre il gioco del piede con spessori di neoprene che opportunamente sistemati possono contenere il movimento del piede senza sacrificarlo troppo. Nel nuoto pinnato gli atleti adoperano i puntalini, sorta di calzari che incappucciano le dita e spingono così il piede verso il tallone. Altri incollano pezzi di neoprene all'interno della scarpetta, in maniera da foderarla internamente. Più semplice è ritagliare un plantarino in neoprene che potrà essere fissato all'interno della scarpetta.

Scarpetta morbida



Comportamento di una scarpetta eccessivamente morbida durante la pinneggiata

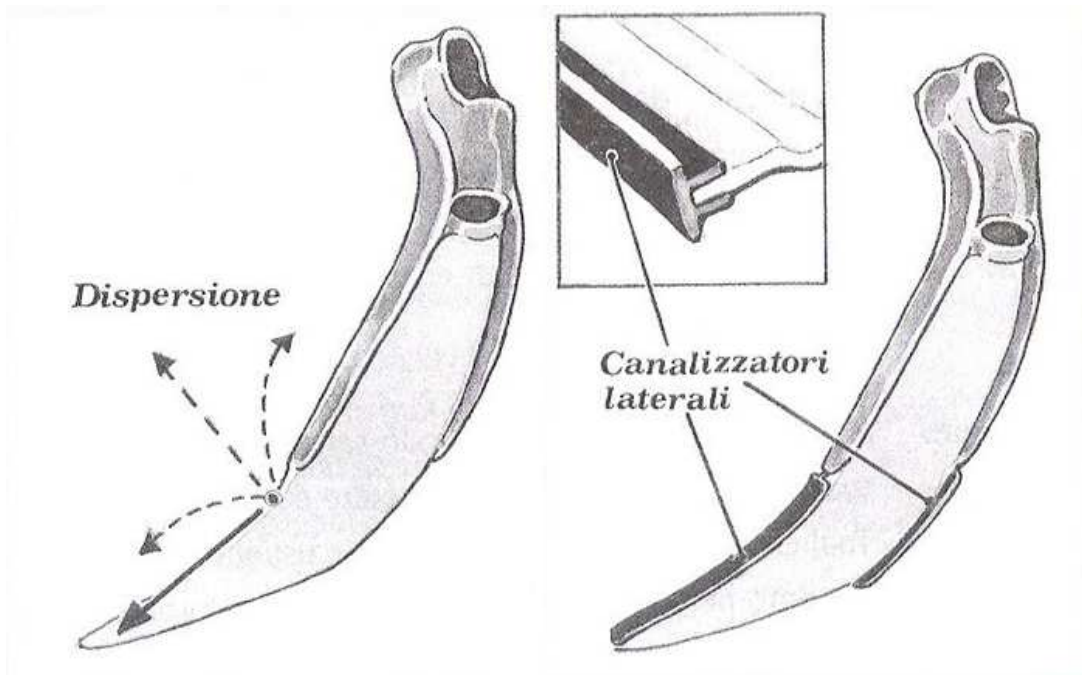
Una scarpetta troppo morbida dipende dalla struttura e dalla mescola di gomma con cui è costruita. Solo di recente le aziende produttrici hanno cominciato a valutare attentamente la componente tecnica oltre al comfort. In particolare stanno rivalutando la necessità di una scarpetta che favorisce la trasmissione efficace dei movimenti.

L'eccessiva morbidezza di alcune mescole può essere spiegata soltanto con l'eccessiva ricerca di comfort. Spesso anche la forma della scarpetta è inadeguata. Gli spessori e i rinforzi con cui è stata progettata in rapporto alla mescola con cui è costruita non sono sufficienti a garantire una buona tenuta delle forze prodotte dall'azione dell'apneista.

Gli effetti di questa eccessiva morbidezza della scarpetta sono rivelabili analizzando la pinneggiata. Nella fase di spinta la pinna è soggetta a una deformazione elastica importante, in modo particolare in condizioni limite, come nello stacco dal fondo o delle prime spinte successive alla capovolta quando la resistenza idrostatica è maggiore. In questi momenti le deformazioni determinano una perdita di "aderenza" all'acqua. Nella fase di andata della pinneggiata il piede si appoggia sul collo creando uno spazio sotto la pianta; nella fase di ritorno invece la pianta del piede si appoggia sulla suola provocando l'allungamento del tallone della scarpetta. In questo modo la suola della scarpetta troppo morbida non fa corpo unico con i longheroni laterali e c'è una flessione a metà dell'arco plantare, esattamente dove finisce l'inserzione della pala tra i longheroni sotto la suola, provocando un ulteriore allungamento del tallone della scarpetta. I movimenti prodotti dall'azione dell'apneista sono dispersi a causa dell'eccessiva morbidezza della gomma della scarpetta con grande spreco di energia.

Per evitare tutto questo è bene evitare scarpette troppo morbide. Meglio rinunciare al comfort a favore di una maggiore aderenza ed efficacia.

Mancanza di canalizzatori laterali



Confronto fra pinna con canalizzatori e senza canalizzatori

Prove sperimentali hanno evidenziato che le pinne lunghe, dotate di longheroni di irrobustimento fino quasi a metà della pala, disperdono lateralmente circa il 20% dell'acqua spostata.

La causa è la mancanza di canalizzatori laterali che incanalano il flusso dell'acqua prodotto dalla pinneggiata.

Come conseguenza, le pinne derapano lateralmente e la pinneggiata non è più corretta: i piedi risultano valghi (cedimento delle pale delle pinne verso l'interno delle gambe).

Per ridurre questa dispersione laterale, che di fatto favorisce lo sfarfallio delle pinne rendendole instabili, è sufficiente applicare alle pale semplici profili di gomma a "L". Tuttavia, affinché questa modifica non diventi controproducente è necessario che tali profili non siano troppo pesanti; diversamente smorzerebbero la risposta elastica della pala riducendo il ritorno nella posizione originale dopo averle flesse. I profili non dovrebbero, però, essere neanche troppo leggeri o non canalizzerebbero più l'acqua.

Infine, bisogna fare attenzione a non confondere i canalizzatori con le nervature presenti sulla superficie delle pinne che servono soprattutto a rendere più rigide le pale, visto l'esiguo spessore, e non a canalizzare i flussi d'acqua.

Giunzione tra pala e scarpetta

Nelle pinne con pale intercambiabile un punto critico è la giunzione tra la pala e la scarpetta per cui se le due parti non sono ben accoppiate si avrà un certo gioco. E' importante che pala e scarpetta siano un tutt'uno altrimenti durante la pinneggiata la pala, quand'anche fosse ben montata nei longheroni, avrebbe un certo gioco.

Ciò dipende dal fatto che bloccata soltanto dalle viti; complessivamente l'assemblaggio non è dei migliori.

Vi è quindi una certa dispersione di energia anche se non paragonabile a quella della scarpetta larga e morbida.

A questo conveniente si ovvia in maniera semplice sigillando con del silicone lo spazio tra la pala e la scarpetta e lo spessore dei longheroni. Togliere le viti, smontare le pale e rimontarle usando silicone è un ottimo accorgimento per far diventare la pala e la scarpetta un corpo unico, evitando inconvenienti di rotture della pala e dispersioni di energia.

Inefficienza della pala

Col tempo le pale si usurano, l'elasticità non è più la stessa e i materiale in genere si indeboliscono esponendo di più la pinna a possibili rotture.

Questo discorso vale soprattutto per i materiali plastici, il carbonio, infatti, ha una grande resistenza all'usura.

Non è facile accorgersi della diminuzione di prestazioni delle proprie pinne. Per farlo è necessario provare spesso altri modelli per capire le differenze in termini di sforzo e resa.

LA PINNEGGIATA

La pinneggiata è il principale sistema di locomozione del subacqueo nell'acqua.

Similmente alla camminata, la pinneggiata è innata, ma richiede in ogni caso delle informazioni sensoriali che ciascun subacqueo acquisisce con la pratica.

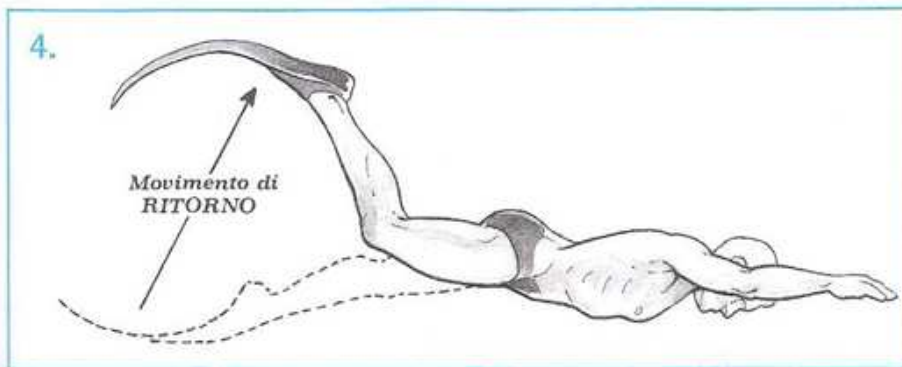
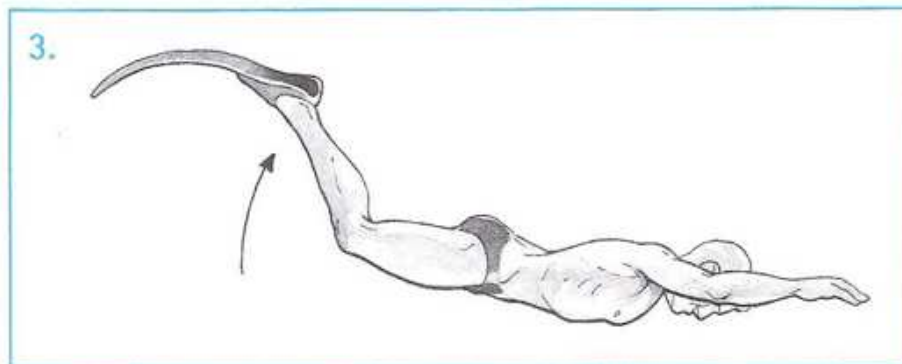
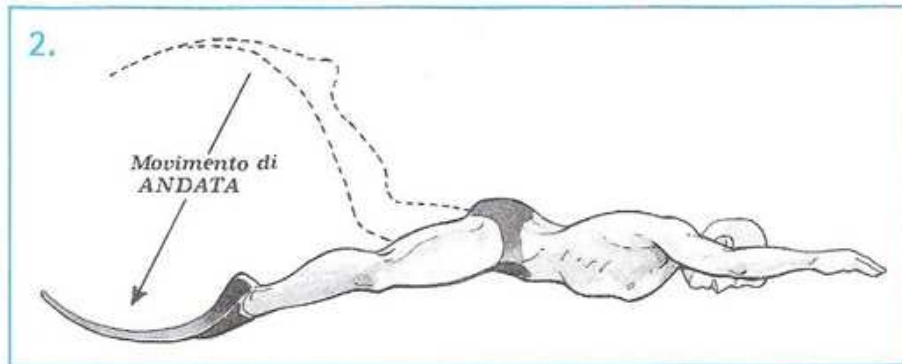
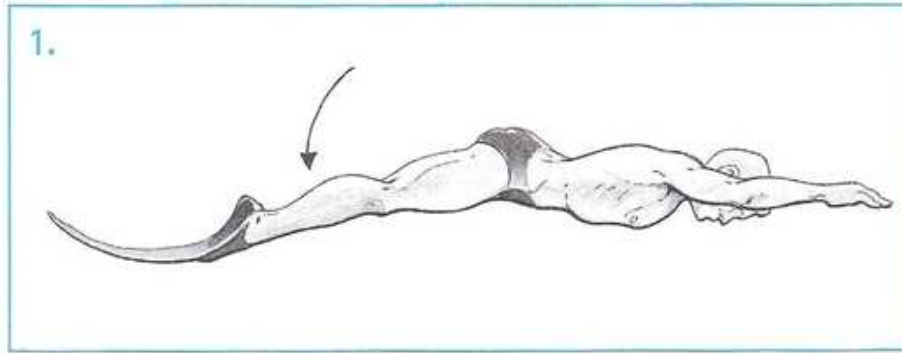
Differisce nei singoli individui in rapporto a molti fattori, in parte anatomici (altezza, rapporto fra i vari segmenti corporei, distribuzione delle masse e loro sviluppo, mobilità articolari), in parte funzionali (tono muscolare, schemi posturali), dal tipo di pinne (più o meno lunghe, rigide), dall'effetto desiderato (velocità alta, poco sciacquo). Ne consegue perciò che non esiste un'unica pinneggiata, valida per tutti gli individui e le possibili situazioni.

Ciò premesso, per poter analizzare la biomeccanica di questo movimento è necessario fare riferimento ad una pinneggiata tipo. Per meglio capirla durante alcune ricerche scientifiche sono state realizzate delle riprese rallentate di un atleta durante la pinneggiata per evidenziare quali parti del corpo concorressero a questo movimento e in che modo.

Posizionati degli opportuni segnali di riferimento in corrispondenza dell'anca, del ginocchio, della caviglia, dell'avampiede e delle pinne, sono state effettuate delle riprese subacquee dell'atleta in azione mentre un cronometrista sul bordo della vasca rivelava i tempi di passaggio.

Dalla riproduzione rallentata delle riprese si sono rilevati nel piano sagittale e nei restanti piani gli angoli relativi descriventi la cinematica della pinneggiata e il comportamento delle pinne. La pinneggiata è prodotta dal sommarsi di movimenti angolari di singole parti del corpo, il cui fine è far avanzare nella direzione del moto l'intero corpo.

In particolare per ognuno dei due arti inferiori si distinguono una fase di "calcio in basso" (FIG 1) detta andata (FIG 2) e una fase di "calcio in alto" (FIG 3) detta ritorno (FIG 4).



Le quattro fasi della pinneggiata

La fase di andata implica:

- la flessione plantare del piede
- la flessione della coscia
- l'estensione della gamba
- la rotazione oraria del bacino

La fase di ritorno implica:

- la flessione dorsale del piede
- l'estensione della coscia
- la flessione della gamba
- la rotazione antioraria del bacino

Più precisamente, per l'intero ciclo di gambata vale il seguente schema:

	Periodo di pinneggiata (s)		
	0	1 sec.	2,5 sec.
Piede	F.D.	F.P.	F.D.
Gamba	F.	E.	F.
Coscia	E.	F.	E.
Bacino	R.A.	R.O.	R.A.
dove:			
F.P.	=	Flessione Plantare	
F.D.	=	Flessione Dorsale	
F.	=	Flessione	
E.	=	Estensione	
R.A.	=	Rotazione Antioraria	
R.O.	=	Rotazione Oraria	

Per interpretare correttamente le caratteristiche di una pinneggiata occorre definire i seguenti parametri:

- Ampiezza di pinneggiata. E' la distanza trasversale tra le posizioni estreme assunte dalla caviglia rispetto la colonna vertebrale; a velocità normale è funzione dell'altezza del soggetto e del tipo di pinna.



Ampiezza della pinneggiata

- Periodo di pinneggiata. Cambia al variare della velocità e dell'ampiezza di pinneggiata; è generalmente compreso fra 0,5 e 2,5 secondi.
- Frequenza di pinneggiata. E' il numero di pinneggiate eseguite in un secondo; coincide con l'inverso del periodo di pinneggiata.
- Velocità media. E' la velocità media dell'intero corpo in direzione del moto.

Vediamo ora il comportamento biomeccanico degli arti e delle articolazioni, elencando i principali muscoli che intervengono nei movimenti della pinneggiata. Gli angoli massimi e minimi rilevati sperimentalmente rientrano nei limiti fisiologici articolari.

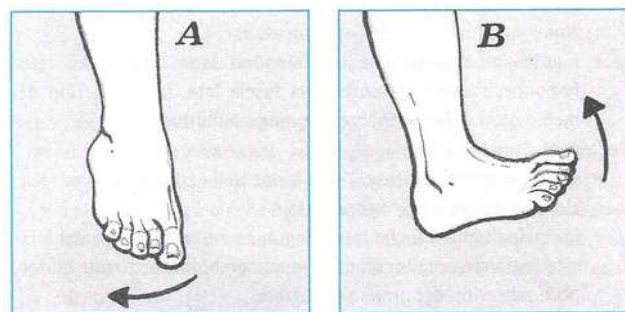
Comportamento del piede e della caviglia

Nella fase di andata:

- Si ha la flessione plantare del piede e il raggiungimento della massima rotazione anatomica di 57° sperimentalmente.
- I principali muscoli che intervengono sono: tricipite surale, tibia posteriore, peronei lungo e breve, flessore lungo dell'alluce, flessore lungo delle dita.

Nella fase di ritorno:

- Si ha la flessione dorsale del piede con una rotazione minima di 10,5° sperimentalmente.
- I principali muscoli che intervengono sono: tibiale anteriore, estensore lungo dell'alluce, estensore lungo delle dita, peroneo anteriore.
- Comportamento della gamba e del ginocchio



Comportamento del piede e della caviglia durante la pinneggiata

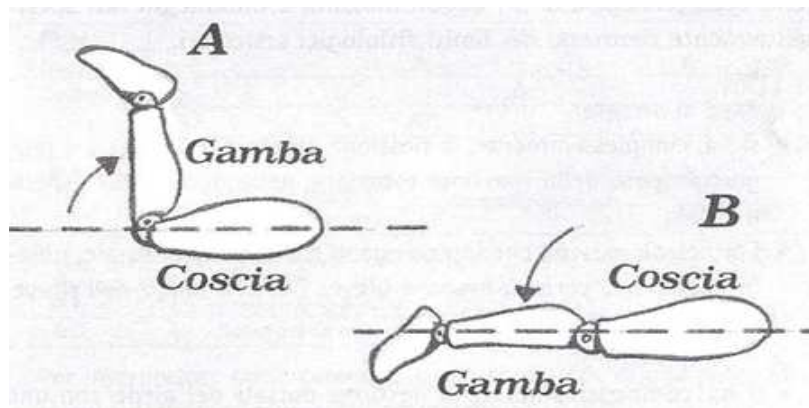
Comportamento della gamba e del ginocchio

Nella fase di andata:

- Si ha l'estensione della gamba e il raggiungimento della massima rotazione anatomica di $-5,8^\circ$ sperimentali.
- Il principale muscolo che interviene è il quadricipite

Nella fase di ritorno:

- Si ha complessivamente la flessione della gamba con una rotazione massima di $76,1^\circ$ sperimentali.
- I principali muscoli che intervengono sono: gastrocnemi, semitendinoso, semimembranoso, bicipite femorale, popliteo, gracile, sartorio.



Comportamento della gamba e del ginocchio durante la camminata

Comportamento della coscia e dell'anca

Nella fase di andata:

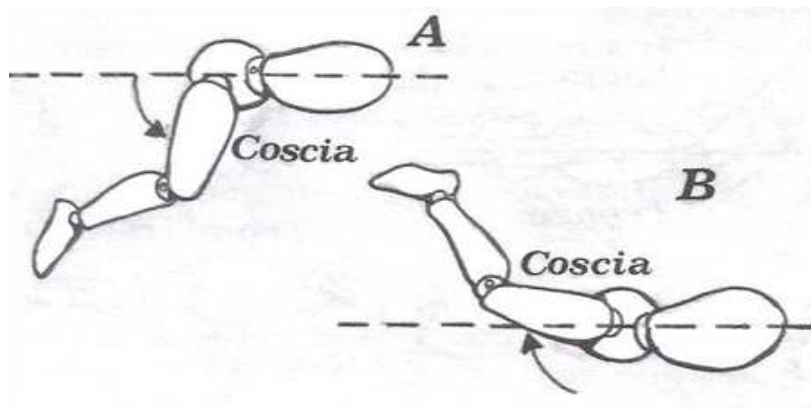
Si ha la flessione della coscia con una rotazione massima di $-39,6^\circ$ sperimentali.

I principali muscoli che intervengono sono: ileo-psoas, retto femorale, sartorio, tensore della fascia lata, fasci anteriori del medio gluteo, pettineo, breve e lungo adduttore, gracile.

Nella fase di ritorno:

si ha l'estensione della coscia con una rotazione massima di 21° sperimentali.

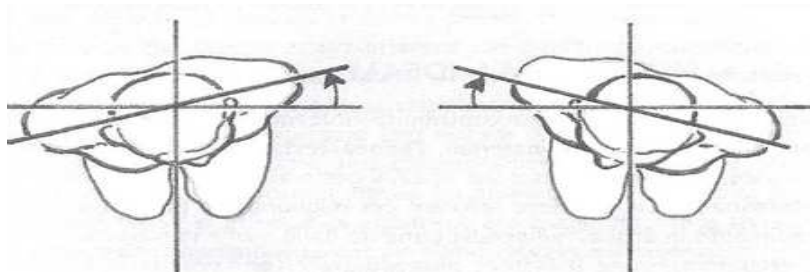
I principali muscoli che intervengono sono: capo lungo del bicipite femorale, semitendinoso e semimembranoso, grande gluteo, fibre posteriori del grande adduttore.



Comportamento della coscia durante la pinneggiata

Comportamento del bacino e della colonna vertebrale

Per semplificare l'esposizione si è assunto che sia il bacino a ruotare ma in realtà, essendo il bacino collegato rigidamente alla colonna vertebrale, è la colonna vertebrale stessa a ruotare rispetto al suo asse longitudinale.



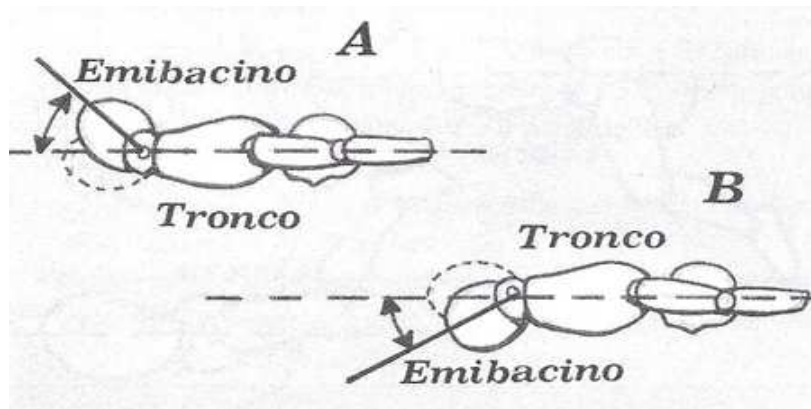
Comportamento del bacino e della colonna vertebrale durante la pinneggiata

Nella fase di andata

- Si ha la rotazione oraria del bacino con una rotazione massima di $39,3^\circ$ sperimentali.
- I principali muscoli che intervengono sono: obliquo interno sinistro dell'addome, obliquo esterno destro dell'addome, trasverso sinistro dell'addome, sacro-spinale sinistro, trasverso-spinoso destro.

Nella fase di ritorno:

- Si ha la rotazione antioraria del bacino con una rotazione massima di $-39,4^\circ$ sperimentali.
- I principali muscoli che intervengono sono: obliquo interno destro dell'addome, obliquo esterno sinistro dell'addome, trasverso destro dell'addome, sacro-spinale destro, trasverso-spinoso sinistro.



Comportamento del tronco durante la pinneggiata

LA PINNEGGIATA IDEALE

Anche se la tecnologia ha contribuito notevolmente in questi ultimi anni allo sviluppo dei materiali, l'apnea resta comunque uno sport "umano", in cui la preparazione fisica, il gesto atletico e la tecnica sono determinanti. L'atleta deve lavorare per migliorare la pinneggiata e il rendimento in acqua, indipendentemente dalla pinna impiegata.

Nell'immersione il fattore pinneggiata è fondamentale: velocità in discesa, idrodinamicità, direzionalità e consumo di ossigeno possono infatti dipendere da essa.

Il tipo di pinneggiata, inoltre, determina lo stile dell'apneista ed è la caratteristica che prima di ogni altra viene notata dagli osservatori. Attualmente esistono due scuole di apnea: europea e sudamericana.

Tra le tante differenze sicuramente quella della tecnica di pinneggiata è la maggiore: alla nostra classica viene infatti contrapposta la "pedalata" degli atleti sudamericani. Essi spingono nella fase di ritorno con la parte inferiore della pinna: in questo modo avviene un piegamento quasi a 90° del ginocchio per spingere la colonna d'acqua verso il basso e la pinneggiata risulta molto simile, soprattutto in risalita, ad una pedalata. E' comunque provato, anche in vasca ergonometrica, che la pinneggiata classica assicura un rendimento superiore.

Ogni apneista ha un suo modo di pinneggiare in funzione anche delle proprie caratteristiche antropometriche che ne determinano, in sostanza, il suo stile: la falcata può risultare veloce e leggera oppure ampia e potente. Solitamente la struttura muscolare dell'atleta influisce sul movimento della gamba: un fisico potente tende a imprimere una spinta elevata, molto aperta, che permette, con poche pinneggiate, un avanzamento notevole. Per contro, un apneista longilineo avrà tendenzialmente una falcata veloce, leggera, forse più armoniosa ma sicuramente meno redditizia.

Nell'apnea bisogna considerare soprattutto il consumo energetico: è vero che sono importanti velocità e penetrazione idrodinamica, ma è anche vero che devono essere ottenuti con il minor dispendio possibile di ossigeno. Per arrivare a ciò si deve trovare una giusta via di mezzo tra le due tecniche sopracitate: una pinneggiata ampia, ma non al limite massimo di apertura e un buon ritmo, non esageratamente veloce. Non è difficile fare proprio questo compromesso fra ampiezza e frequenza di gambata. Infatti, se si effettua una pinneggiata esageratamente ampia è praticamente impossibile tenere un ritmo elevato e viceversa.

Alla luce di quanto esposto si può quindi affermare che non esiste la pinneggiata migliore in assoluto. Esiste la pinneggiata più efficace.

La pinneggiata ideale è definita in base a:

- caratteristiche delle pinne
- abilità tecnica dell'apneista
- caratteristiche antropometriche
- caratteristiche dell'allenamento
- qualità dell'acqua (dolce o salata)

Ognuna di queste variabili concorre in maniera diversa all'efficacia del movimento; sono strettamente collegate fra loro, ma possono essere analizzate in modo distinto per facilitare la correzione e l'evoluzione della tecnica. L'analisi biomeccanica precedentemente presentata ci porta a inquadrare questo movimento fra quelli ciclici, caratterizzati dalla ripetizione della stessa azione.

Una capovolta mal eseguita disperde energia una sola volta per ogni tuffo ma se la pinneggiata non è corretta, ad ogni metro se ne vanno energie preziose. Sul piano della propulsione, una pinneggiata inefficiente, inefficace e non economica, è molto più limitante di ogni altra componente il gesto atletico nel suo complesso.

Ecco dunque una buona ragione per concentrare bene l'attenzione su questa specifica azione. L'apneista esperto manifesta una buona sensibilità nell'uso delle pinne, anche se a volte si riscontrano errori di base che, per effetto dell'acquisita automaticità dell'azione, sono più difficili da correggere, soprattutto fra gli autodidatti.

Spesso le didattiche di subacquea ignorano l'insegnamento di una tecnica di pinneggiata corretta perché chiunque con le pinne ai piedi riesce a muoversi in acqua con più efficacia di come farebbe senza. Sovente le uniche indicazioni sulla tecnica di utilizzo di questo attrezzo riguardano la posizione della gamba tesa, l'ampiezza della falcata e lo stop alla massima apertura, che è incredibilmente controproducente in termini di rendimento.

Usando pinne lunghe, la pinneggiata tecnicamente corretta richiede un'azione che, dagli addominali alle dita dei piedi, coinvolge tutti i muscoli del tronco e degli arti inferiori, sia nel movimento di spinta in avanti che in quello di ritorno.

L'arto che avanza flette appena il ginocchio per poi estendersi completamente. Nel movimento di ritorno, invece, resta esteso fino al piede che rimane sempre in completa flessione plantare. L'azione deve essere continua. Tra i due movimenti non ci deve essere alcuna pausa. Il movimento deve essere fluido e continuo, caratterizzato dal ritmo che è in funzione dell'attività svolta. L'acqua spostata in un senso deve essere compensata della spinta della stessa quantità e con la stessa energia in senso opposto.

E' evidente che il piede svolge una funzione determinante e che la pinna deve essere percepita come un tutt'uno con l'estremità degli arti inferiori, al punto di sentire l'acqua spostata in realtà dalla pala della pinna come invece spostata dal piede nudo.

Il ritmo della pinneggiata, determinato dalla frequenza e dall'ampiezza, dipende dal tipo di situazione: discesa risalita, scatto in dinamica breve, eccetera. Nell'apnea dinamica, ad esempio, è consigliabile non variare mai la frequenza della pinneggiata visto che è opportuno spostarsi alla massima velocità con la maggiore economia (nel consumo di ossigeno) possibile.

Soltanto l'allenamento e tanta sensibilità, conseguente all'esperienza, ovvero al tempo trascorso pinneggiando, permetteranno all'allievo di conoscersi e di acquisire quel ritmo che gli consentirà di percorrere la massima distanza in un tempo "economico".

Ciò non significa trascurare gli allenamenti a velocità variabili, che spesso risolvono problemi di tecnica della pinneggiata oltre a preparare la muscolatura a sopportare un carico notevole di acido lattico.

Nell'immersione ad assetto costante, invece, la pinneggiata in discesa, immediatamente dopo la capovolta, è simile a quella in fase di risalita subito dopo lo stacco dal fondo. La distribuzione dello sforzo è uguale ma invertita. In discesa la spinta di galleggiamento, nei primi metri, tende a trattenere l'apneista in superficie mentre, una volta superati i primi metri e superata la soglia dell'assetto neutro, il subacqueo diventa negativo e cade verso il fondo senza sforzo. Risalendo, invece, dopo la girata, l'apneista deve contrastare la caduta e forzare contro la spinta negativa per guadagnare la superficie. Superati i primi metri, per effetto della diminuzione della pressione idrostatica, aumenta la spinta di galleggiamento verso la superficie. Dal lato pratico questo significa che le gambe fanno meno fatica a pinneggiare a mano a mano che si sale e che i muscoli impegnati potranno svolgere un'azione complessivamente più rilassata.

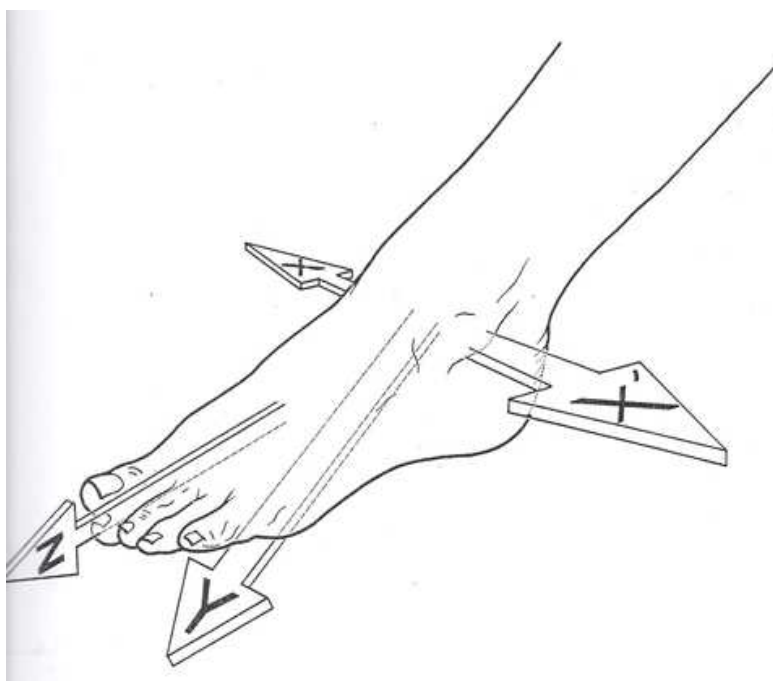
Considerando la dinamica della pinneggiata di un tuffo in assetto costante sarà importante che all'inizio della discesa, come della risalita, si inizi a pinneggiare con movimenti ampi e lenti ma potenti, necessari a vincere la resistenza idrostatica. Successivamente l'inerzia e le variazioni di assetto a favore dell'apneista consentiranno una pinneggiata più rilassata ovvero più stretta e regolare nel ritmo. In particolare, superata la zona di assetto neutro sia in discesa che in risalita, la spinta sarà più leggera e il movimento appena accennato, quasi ad accompagnare soltanto la caduta o la risalita.

IL COMPLESSO ARTICOLARE DEL PIEDE

La **tibio-tarsica** è la più importante di tutto il complesso articolare del piede. Questo insieme di articolazioni, coadiuvato dalla rotazione assiale del **ginocchio**, realizza l'equivalente di una sola articolazione con tre gradi di libertà che permette di orientare la volta plantare in tutte le direzioni, per adattarla alle asperità del terreno.

I 3 ASSI DEL PIEDE

I tre assi principali di questo complesso articolare si incontrano approssimativamente a livello del retro piede. Quando il piede è in atteggiamento normale, i tre assi risultano perpendicolari fra loro. Sullo schema l'estensione della caviglia modifica l'orientamento dell'asse Z.



I tre assi attorno i quali si può semplificare i movimenti del piede

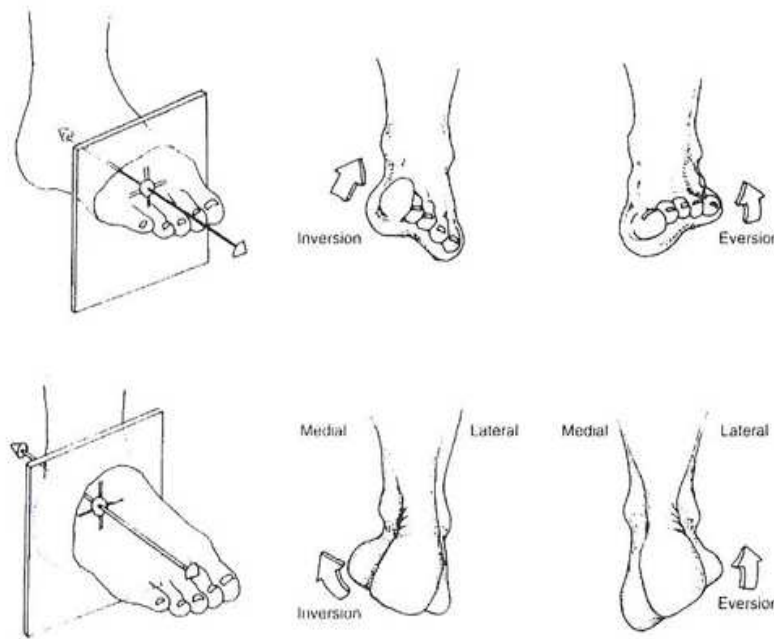
L'**asse trasversale XX'** passa attraverso i due malleoli e corrisponde all'asse della tibio-tarsica. E' compreso nel piano frontale e condiziona i movimenti di flesso-estensione del piede che si effettuano nel piano sagittale.

L'**asse longitudinale della gamba Y** è verticale e condiziona i movimenti d'adduzione-abduzione del piede, che si effettuano nel piano trasversale. Questi sono possibili grazie alla rotazione assiale del ginocchio flesso. In piccola misura questi movimenti d'adduzione-abduzione sono dovuti alle articolazioni della parte posteriore del tarso; ma in questo caso sono sempre associati a movimenti attorno al terzo asse.

L'asse **longitudinale del piede Z** è orizzontale contenuto in un piano sagittale. Condiziona l'orientamento della pianta del piede permettendole di "guardare" sia direttamente in basso, sia in fuori, sia in dentro. Questi movimenti vengono chiamati pronazione e supinazione.

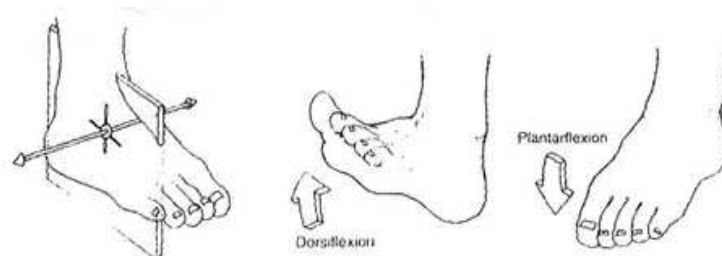
I 3 PIANI DI MOVIMENTAZIONE

Prendendo come riferimento il **piano frontale** di movimentazione, perpendicolare all'asse longitudinale Z del piede, i movimenti possono essere due: di **inversione** e di **eversione**, in funzione di dove "guarda" la pianta del piede.



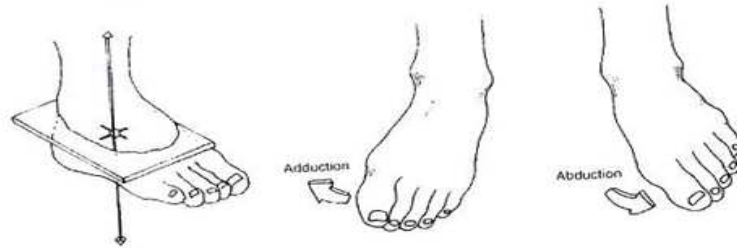
Movimenti di inversione e pronazione

Secondo il **piano sagittale**, perpendicolare all'asse trasversale XX', i movimenti sono di **flessione della caviglia** (anche detto flessione dorsale o dorso-flessione) e di **estensione della tibio-tarsica** (o flessione plantare).



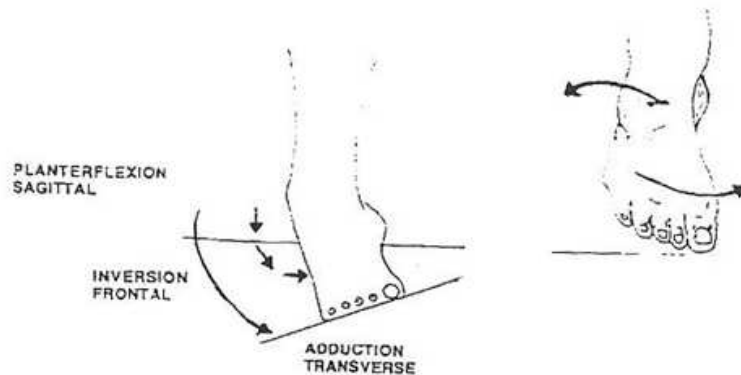
Movimenti di flessione ed estensione della caviglia

Considerando invece il **piano trasversale** i movimenti che si generano prendono il nome di **adduzione** e **abduzione**.



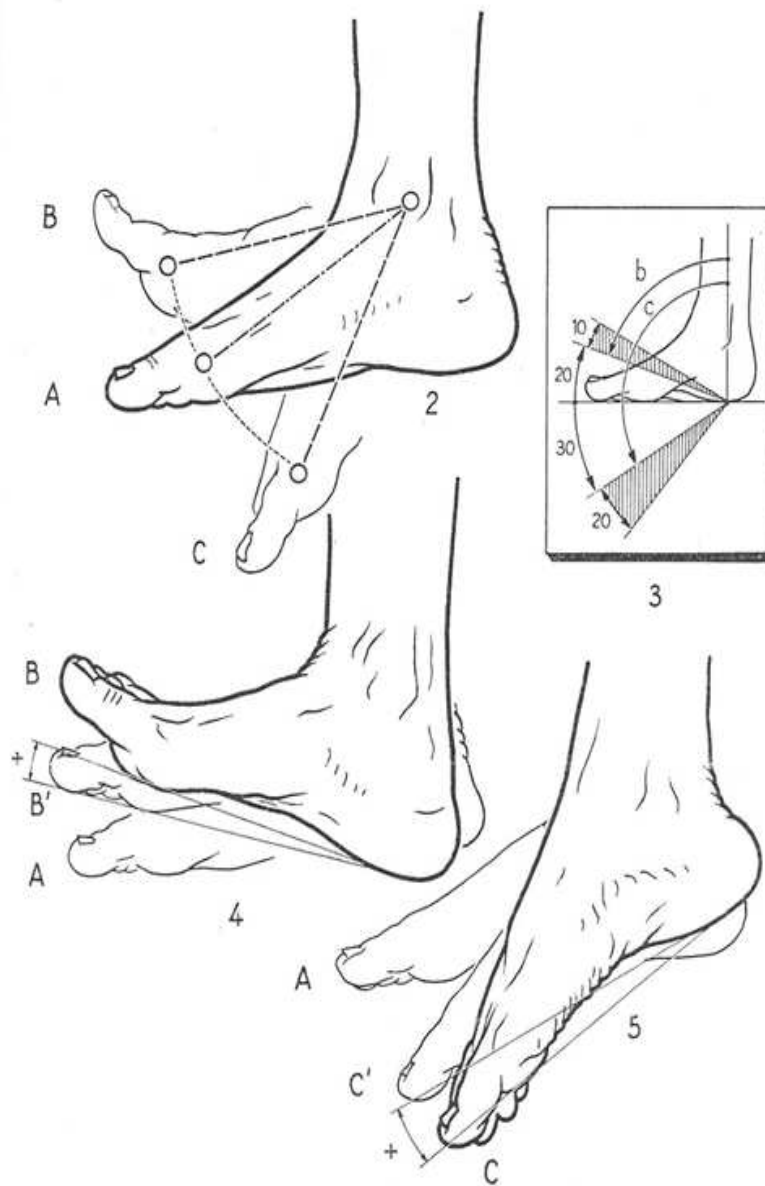
Movimenti di adduzione e abduzione

Durante la locomozione il piede si muove contemporaneamente in tutti e tre i piani. Questi movimenti prendono il nome di **pronazione** (dorso-flessione+eversione+abduzione) e **supinazione** (flessione plantare+inversione+adduzione).



Movimenti di pronazione e supinazione

GLI ANGOLI DELLE ARTICOLAZIONI



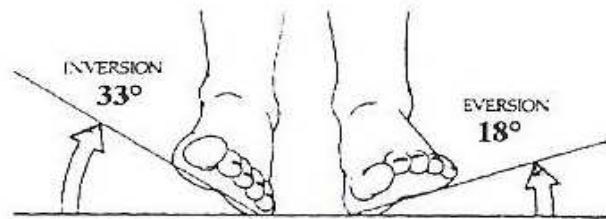
Gli angoli che riesce raggiungere il piede in fase di flessione ed estensione della caviglia

Per quanto riguarda la **flesso-estensione** dalla figura si constata che l'ampiezza dell'estensione è molto maggiore di quella della flessione. Per una misurazione angolare, anziché riferirsi al centro della tibio-tarsica, è più comodo misurare l'angolo formato dalla pianta del piede con l'asse della gamba.

Quando questo è acuto si tratta di flessione. La sua ampiezza varia da 20 a 30°. La zona tratteggiata indica il margine delle variazioni individuali d'ampiezza, ossia 10°.

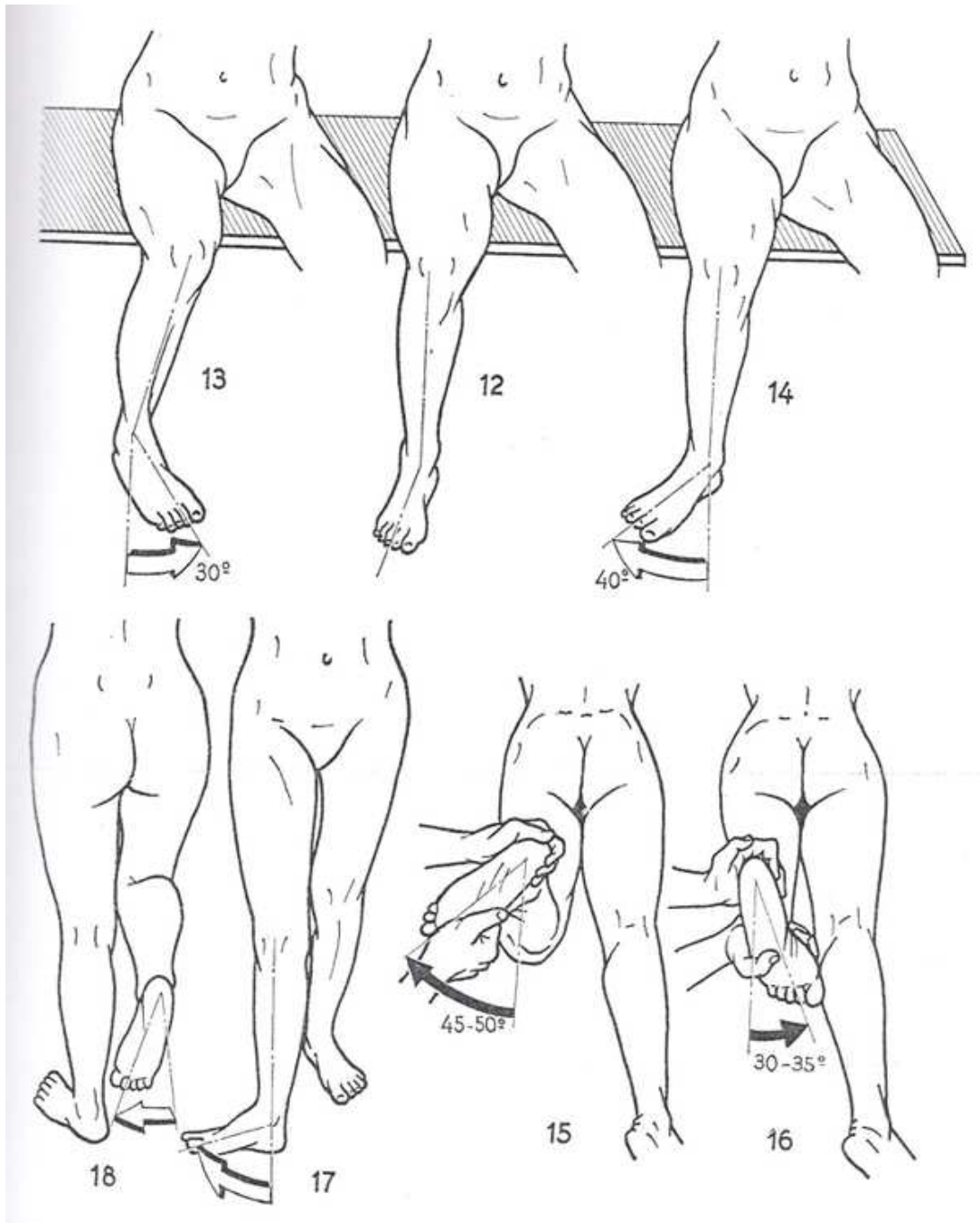
Quando questo angolo è ottuso si ha l'estensione. La sua ampiezza varia da 30° a 50°. Il margine delle variazioni individuali è più grande (20°) che per la flessione.

Nei movimenti estremi non interviene solamente la tibio-tarsica, s'aggiunge anche il contributo delle articolazioni del tarso che, sebbene sia meno importante, non è trascurabile. Nella flessione estrema le articolazioni del tarso aggiungono qualche grado, mentre la volta si appiattisce. Inversamente, nell'estensione estrema l'ampiezza supplementare deriva da un infossamento della volta.



Gli angoli che raggiunge il piede in fase di eversione ed inversione

Gli angoli misurati sul piano frontale di **inversione ed eversione** sono rispettivamente di 33 e 18°.



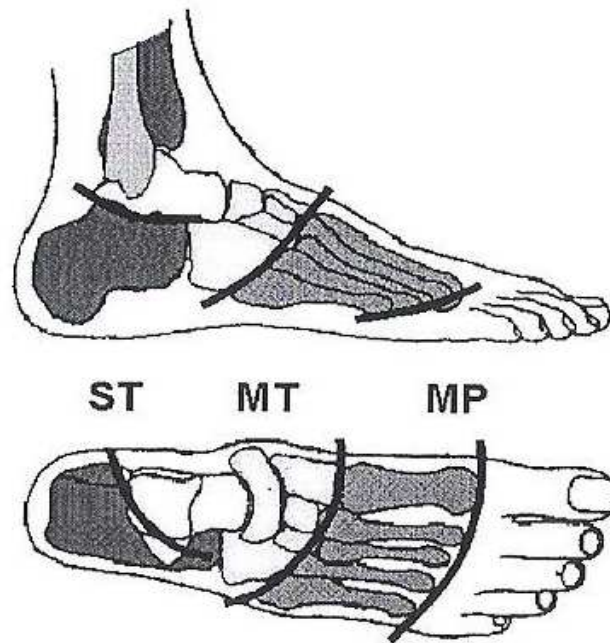
Gli angoli che raggiunge il piede con un movimento di adduzione o di abduzione

Come precedentemente accennato il movimento del piede lungo l'asse longitudinale della gamba, rotazione determinante per i movimenti di **adduzione e abduzione**, non è imputabile alla tibio-tarsica ma al ginocchio. Tale rotazione può essere effettuata solamente quando il ginocchio è flesso. La rotazione interna porta la punta del piede in dentro ed ha una parte importante nel movimento di adduzione del piede. La rotazione esterna porta la punta in fuori ed interviene nel momento di abduzione del piede.

Questa ampiezza varia in rapporto al grado di flessione poiché la rotazione esterna è di 32° quando il ginocchio è flesso a 30° e di 42° quando è flesso all'angolo retto.

LE ARTICOLAZIONI COINVOLTE NEL MOVIMENTO DEL PIEDE

- Ginocchio
- Tibio-tarsica
- Articolazioni del piede
 - Subtalare
 - Mediotarsica
 - Metatarsofalangea

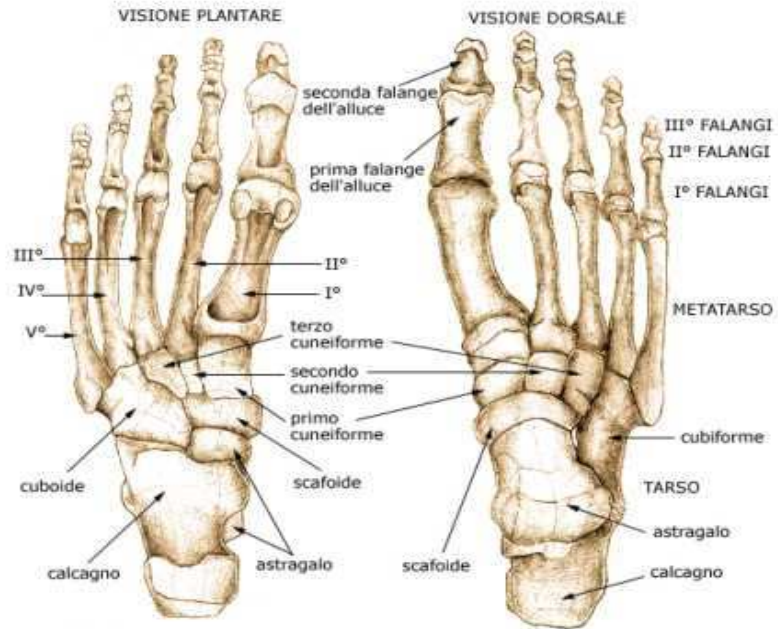


Le tre linee di articolazione del piede

Le articolazioni del piede sono complesse e numerose. Le principali sono la sub talare, la mediotarsica e la metatarsofalangea. Tutte queste articolazioni hanno un doppio ruolo. Il primo è quello di orientare il piede negli altri due assi (essendo dovuto alla tibio-tarsica l'orientamento del piano sagittale) per presentare la pianta del piede correttamente al suolo, qualunque sia la posizione della gamba e l'inclinazione del terreno. In secondo luogo, il complesso articolare del piede deve poter modificare la curvatura della volta plantare per poter adattare il piede alle asperità del terreno e creare anche tra il suolo e la gamba, che trasmette il peso del corpo, un sistema di ammortizzatori che dia al passo elasticità e scioltezza.

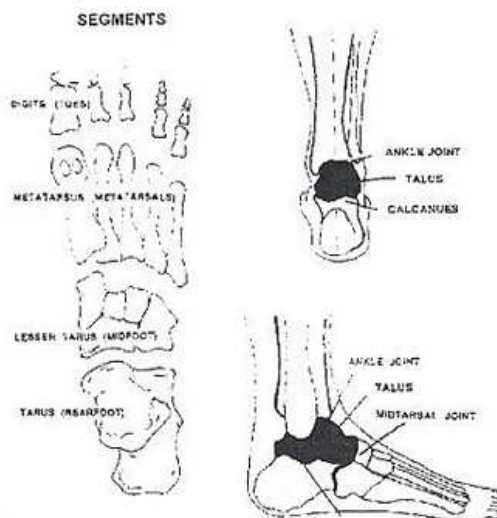
DIVISIONE FUNZIONALE DEL PIEDE

Il piede è costituito da 28 ossa e 57 congiunzioni.



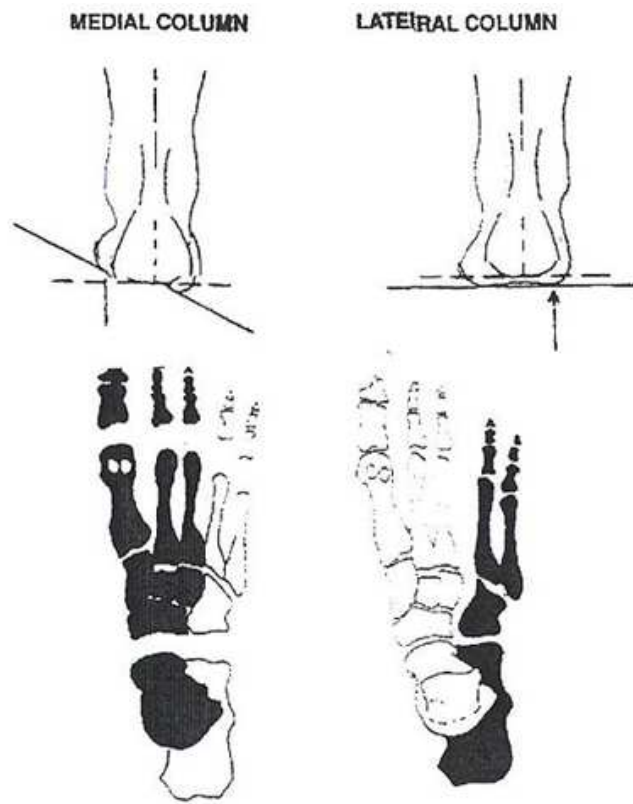
Le ossa che costituiscono il piede

Queste vengono raggruppate in:



Raggruppamento delle ossa che costituiscono il piede

Un altro tipo di divisione può essere fatto considerando il compito delle diverse ossa durante la camminata.

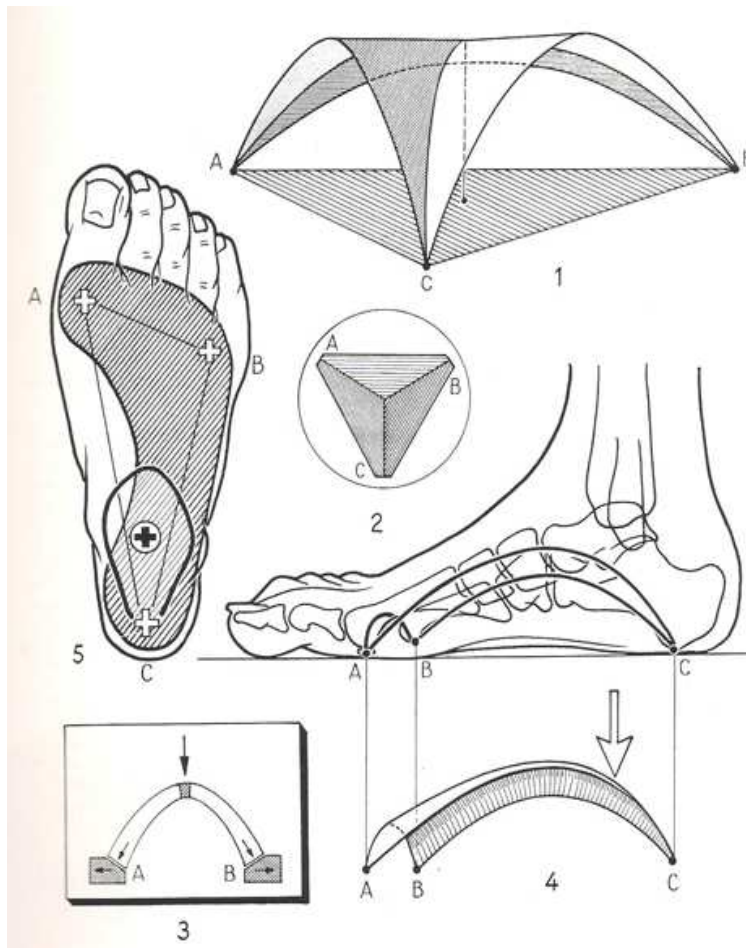


Divisione delle ossa che costituiscono il piede in funzione della distribuzione dei carichi durante la camminata

Si può distinguere una **colonna mediana** (1, 2 e 3° metatarsal, cuneiforms, navicular and talus) che rappresenta la parte dinamica del piede. La parte statica è invece rappresentata dalla **colonna laterale** (4 e 5° metatarsal, cuboid and calcaneus).

LA VOLTA PLANTARE: LA DISTRIBUZIONE DEI CARICHI

Considerata nel suo insieme, l'architettura della pianta del piede, può essere definita come una volta sostenuta da tre archi. Questa non realizza un triangolo equilatero ma possedendo tre archi e tre punti di appoggio, la sua struttura ne è somigliante: i suoi punti d'appoggio sono compresi nella zona di contatto con il suolo, o impronta plantare, Corrispondono alla testa del primo metatarso (A), alla testa del quinto metatarso (B) e alla tuberosità posteriori del calcagno (C). Ogni punto d'appoggio è comune a due archi contigui.



Schematizzazione della volta plantare e dei punti di distribuzione dei carichi

Fra i due punti d'appoggio anteriori A e B è teso l'**arco anteriore**, il più corto ed il più basso. Fra i due punti di appoggio esterni B e C è situato l'**arco esterno**, di lunghezza e di altezza intermedia. Infine fra i due punti d'appoggio interni C e A si estende l'**arco interno**, il più lungo ed il più alto. E' il più importante dei tre, tanto sul piano statico quanto su quello dinamico.

La forma della volta plantare assomiglia così ad una vela. Il suo apice è nettamente spostato all'indietro ed il peso del corpo si applica sul suo versante posteriore in un punto (indicato dalla croce in figura) posto al centro del collo del piede.

Ipotizzando un carico di 6 Kg la distribuzione avverrebbe per 3 kg nel punto C, 2 kg all'interno in A e il restante 1 Kg nel punto esterno B.

TIPOLOGIE DI PIEDI

Quando deve essere realizzata una calzatura, i suoi progettisti devono fare molta attenzione a trovare una forma che unisca gruppi diversi di piedi in una categoria media. I metodi più comuni per dividere in categorie i piedi sono:

- per razza
- per tipo di arco plantare
- per tipo di avampiede

Tipi di piedi

Il piede negroide

Il classico piede negroide è largo nella parte anteriore e stretto nel tacco. Le punte dei piedi sono sfasate, probabilmente riflettono le generazioni passate che hanno camminato a piedi scalzi su terreni morbidi. Le donne di colore tendono ad avere dei piedi più dritti e stretti.

Il piede orientale

Il classico piede orientale è corto e largo nella parte anteriore e nel tacco. Le punte sono dritte con un grande spazio tra il primo e il secondo dito che probabilmente è giustificato dalla popolarità della scarpa orientale di tipo cinghiato con infradito. I piedi delle donne orientali sono simili alla forma maschile, sono solamente un po' più piccoli.

Il piede caucasico

Questo tipo di piede è un uguale insieme di piede normale con alto, basso arco plantare. E' stato molto influenzato dalle mode e dalle condizioni climatiche. Nei climi più miti come in Australia, negli Stati Uniti del Sud e parte dell'America del Sud, il piede maschile tende ad essere largo con le dita dritte. Le mode e le tradizioni hanno giocato un ruolo molto importante nelle strutture dei piedi durante la crescita per l'uso. Le donne, per esempio, tendono ad avere dei piedi più stretti per l'influenza che ha ed ha avuto la moda per le scarpe a punta, specialmente di tipo italo-europeo.

Tipi di archi plantari

Sebbene la percentuale vari da una razza all'altra, tutti i tipi di archi plantari sono stati ritrovati in tutte le razze.



Diverse altezze di archi plantari

Piede cavo con arco alto

Questo tipo di piede ha un'accentuata altezza dell'arco plantare con conseguente aumento di pressione e di peso nell'area del tallone e della zona metatarsale. Il piede di questo tipo richiede un assorbimento eccezionale degli shock e una superficie di appoggio plantare anatomica poiché l'esercizio fisico aggrava ulteriormente l'aumento di peso che, con una soletta anatomica, può essere ben distribuito su tutta la pianta del piede.

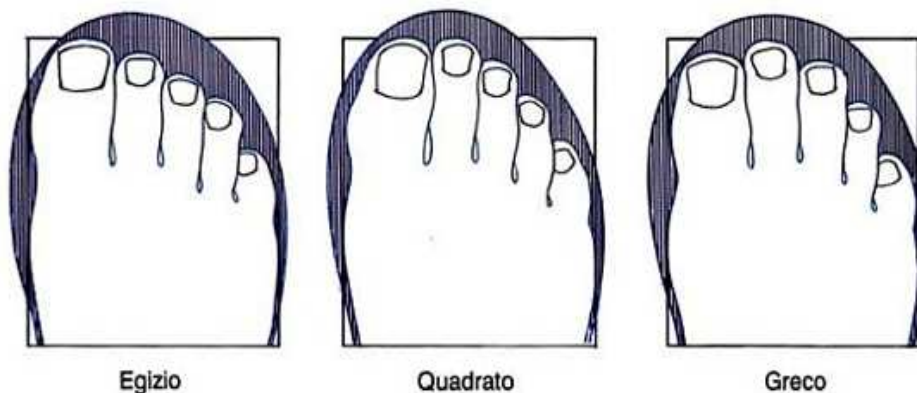
Arco plantare normale

L'arco plantare normale distribuisce il peso sulla parte anteriore del piede, sul bordo laterale e sulla area del tallone, mentre l'arco plantare interno è sollevato.

Arco plantare piatto

L'arco plantare piatto distribuisce il peso del corpo sull'area totale del piede. Questo contribuisce ad avere una pressione extra sull'area del bordo mediale interno del piede.

Classificazione delle forme dell'avampiede



Diverse forme di avampiede

Alluce più corto del secondo dito: si riscontra nel 14,8% della popolazione e si suddivide in due tipi: piede greco (2° dito > 1° dito > 3° dito > 4° dito > 5° dito) e piede standard (2° dito > 3° dito > 1° dito > 4° dito > 5° dito).

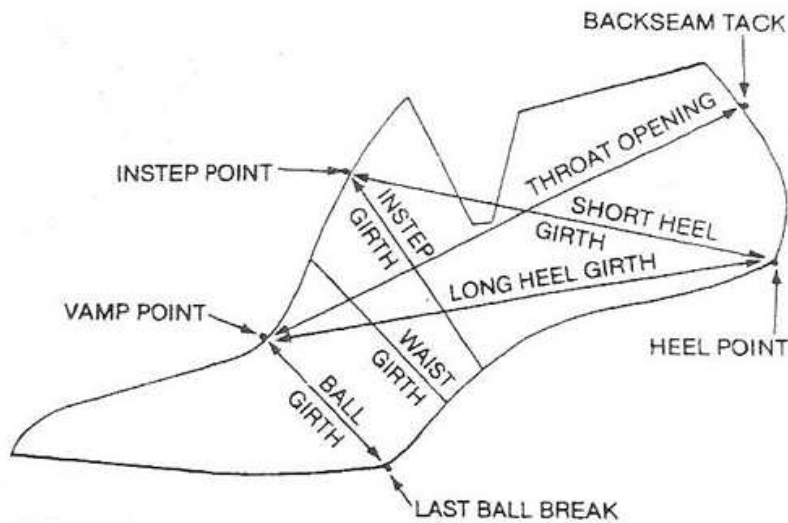
Alluce più lungo del secondo dito: si riscontra nel 64,2% della popolazione e si suddivide in 2 tipi: piede egiziano e leggera allomegalia (1° dito > 2° dito > 3° dito > 4° dito > 5° dito).

Alluce uguale al secondo dito: si riscontra nel 20% della popolazione e si suddivide in due tipi: piede quadrato (1° dito = 2° dito = 3° dito = 4° dito > 5° dito) e uguaglianza (1° dito = 2° dito > 3° dito > 4° dito > 5° dito).

Gli altri casi rappresentano in media l'1%. Il piede destro è diverso dal piede sinistro per lo 0,01% negli uomini e per lo 0,04% nelle donne.

LA MISURA DELLA SCARPA

Dal punto di vista di chi prende le misure, la taglia della scarpa dipende principalmente da due parametri: la lunghezza completa del piede (overall length) e la larghezza dalla testa del primo metatarso a alla testa del quinto metatarso (ball width).



Misure che descrivono la forma di un piede

Tuttavia, come si può immaginare, la questione è più complicata di quel che sembra. Trovare una scarpa che corrisponda a queste due misure del proprio piede non è garanzia di un corretto fitting. Esistono, infatti, una serie di misure che influenzano la misura della scarpa. Si potrebbe pensare, tuttavia, che tutte queste misure secondarie variano proporzionalmente con il variare della overall length e la ball width. Per consuetudine (e per semplificazione) si utilizza quest'approccio ma è bene tener conto che questo metodo non è sempre corretto. Questo perché l'overall length e la ball width non devono essere considerate come delle misure principali ma, invece, delle misure da cui si inizia il corretto fitting del piede.

Un altro parametro che influisce sulla comodità della calzatura è il **volume o spazio interno** (volume o inner space), la cosiddetta terza dimensione della scarpa. Per esempio, se si considerano due paia di piedi con le stesse dimensioni (overall length e ball width) ma uno di questi è magro e ossuto mentre l'altro più grasso e carnoso. E' ovvio che non calzeranno nella stessa maniera nella medesima scarpa. La differenza sta nel volume, lo spazio interno alla scarpa occupato dalla parte superiore del piede.

Un altro aspetto che è bene tener conto è che nessun piede ha un'unica o singola misura ma, invece, ha diverse taglie e forme. Il piede ha una misura quando è a riposo, un'altra quando è caricato del peso del corpo e un'altra ancora quando è in movimento, ad esempio si sta camminando o correndo. Esistono anche variazioni di taglia che dipendono dalle condizioni atmosferiche (caldo, umidità, freddo, ...) o dal normale gonfiore. Quindi, paradossalmente, alla domanda "qual'è la mia taglia di scarpe?" non c'è una risposta. Questo indica che la misura finale non è altro che una sorta di compromesso più o meno orientato verso l'uso che della scarpa si farà (da passeggio, attività sportiva, ...).

Nonostante tutti questi parametri da tenere conto per raggiungere la giusta taglia, bisogna anche considerare le necessità commerciali dei negozi. Considerando le diverse taglie e misure di calzature per uomini, donne e bambini si raggiungono 300 diverse combinazioni possibili. E' chiaro che sarebbe impossibile per qualsiasi negozio avere a disposizione un simile inventario. Quindi, riassumendo, è bene ricordare che la taglia non dipende esclusivamente dalla overall length e dalla ball width ma esistono altri parametri che influiscono sulla comodità della calzatura.

Il sistema di misura delle calzature

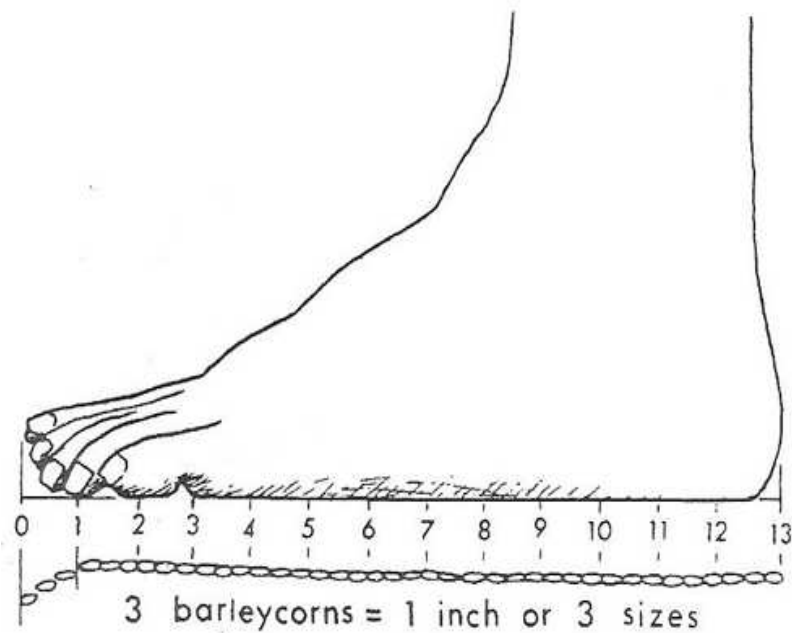
La misura delle calzature è una pratica relativamente recente. La prima traccia di pubblicazioni in merito è del 1688 da parte dell'inglese Randle Holme a cui si deve il testo: "The Academy of Armony and Blazon". Qui fa riferimento a una gilda di calzalai che, di comune accordo, aderì ad un sistema di misura che prevedeva un incremento progressivo di taglia ogni quarto di pollice. Tale sistema di misura rimase tuttavia un caso circoscritto all'Inghilterra.

Per vedere un successivo passo avanti in tale campo è stato necessario aspettare fino al 1856 quando Rober Gardiner pubblica il suo "The Illustrated Handbook of the Foot" a Londra. Da questo testo si viene a conoscenza che le misure, secondo un altro accordo raggiunto dai calzalai inglesi, variassero non più di un quarto di pollice ma solo di un terzo.

Alla fine, nel 1880, un sistema di misura maggiormente diffuso a livello mondiale venne introdotto dall'americano Edwin B. Simpson di New York. Benché riprendesse il suo predecessore impiegando scarti di misura di un terzo di pollice, questo sistema è da considerare molto più approfondito ed ingegnoso in quanto prevedeva alcune importanti innovazioni rispetto ai precedenti tentativi di unificazione dei sistemi di misura delle taglie. Innanzitutto venne introdotto per la prima volta la mezza taglia (un sesto di pollice). In secondo luogo, si introdussero le "misure proporzionali". Ossia per ogni incremento di lunghezza del piede corrispondeva un proporzionale maggioramento di misure secondarie quali larghezza, collo del piede e tacco. Inoltre, per la prima volta veniva presa in considerazione un parametro di primaria importanza come la ball width. Infine Simpson declinò tale sistema in quattro categorie: uomini, donne, bambini e infanti così da coprire le necessità di tutti in base al sesso e allo stadio di sviluppo.

Benché nei primi tempi ci furono delle resistenze da parte dell'industria americana delle calzature ad accettare questo nuovo sistema, soprattutto nei confronti delle mezze taglie, all'inizio del ventesimo secolo tutti i produttori l'avevano adottato. Tutt'oggi tale sistema, con alcune minime variazioni, rimane in uso.

Overall length

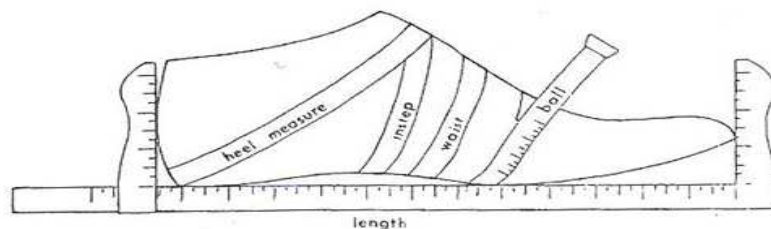


La lunghezza del piede

La lunghezza del piede viene comunemente definita come la distanza tra due linee parallele perpendicolari al piede ed in contatto con la punta del dito più lungo e il tacco. Tale lunghezza è misurata con il soggetto in piedi e con il peso del corpo equamente distribuito su entrambi i piedi.

Ball width

Come precedentemente detto, fu Simpson a introdurre questo parametro in base al quale standardizzare le taglie. Non che prima non si fosse consapevoli dell'influenza della ball width alla comodità della calzatura, solo che non gli si dava la dovuta importanza. Infatti le calzature sino circa al ventesimo secolo venivano distinte fra "fat" e "slim".

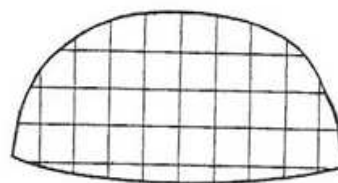


Fra le diverse misure una di grande importanza è la cosiddetta ball width

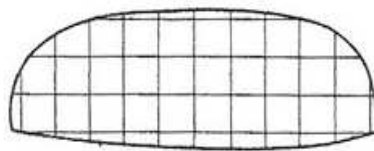
Il sistema di Simpson stabilì che ogni taglia relativa alla ball width sarebbe variata per ogni scarto di un quarto di pollice nella misura della circonferenza intorno al piede all'altezza della testa del primo e del quinto metatarso.

Tutt'oggi alcune calzature vengono fatte con questo metodo che prevede ben 12 larghezze diverse (dalla AAAAA alla EEEEE). Tuttavia la quasi totalità della produzione mondiale di calzature prevede un'unica ball width.

A questo punto è necessario fare una precisazione. La ball width rappresenta una linea dritta. Tuttavia il piede, così come la forma per fare la scarpa, è un corpo tridimensionale che mal si adatta a sistemi di misurazioni bidimensionali. Così, benché la misura fra i due metatarsi può non variare, il perimetro misurato alla medesima altezza del piede può avere un contorno molto diverso a seconda della conformazione del piede stesso.

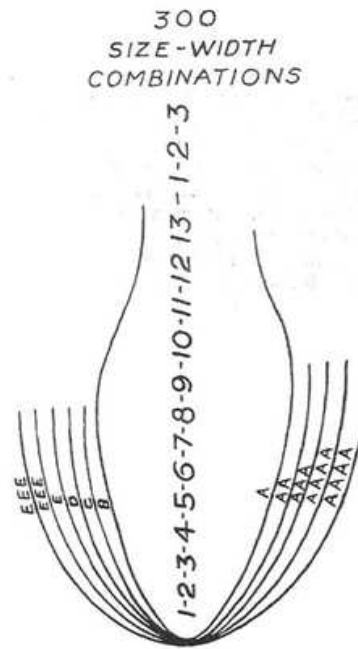


Shape A



Shape B

Ad esempio, le due sezioni hanno lo stesso perimetro e volume. Tuttavia hanno una ball width differente che sta ad indicare la diversa ripartizione del volume del piede all'interno della calzatura.



Diverse misure di ball width

Ad ogni aumento di taglia in lunghezza (di un terzo di pollice), secondo Simpson, corrisponde un incremento di un quarto di pollice nel perimetro del piede misurato all'altezza della ball width. Alla stessa maniera, ogni taglia della ball width (ad esempio da B a C) rappresenta uno scarto di un quarto di pollice nella misura del perimetro.


A questo sistema di misura c'è chi preferisce il più semplice ed economico sistema a tre misure N-M-W. N per "narrow", M per "medium" e W per "wide". In alcuni casi sono previste anche le diciture NN per "extra small" e WW per "extra wide".

Riferimenti dimensionali

Nonostante questa grande varietà di taglie, ne esistono alcune che sono maggiormente vendute di altre perché maggiormente diffuse (“heart size”).


“Heart” Or Best-Selling Sizes, Men’s

		MEN'S BASIC SHOES																		
Sizes		5	5½	6	6½	7	7½	8	8½	9	9½	10	10½	11	11½	12	12½	13	13½	14
% of total		*	*	4.6	7.6	9.7	11.8	13.0	13.2	11.9	10.3	7.3	6.0	.6	2.3	*	*	*	*	*
Widths																				
A	2.5			.1	.4	.3	.3	.2	.2	.2	.2	.1	.1	*	*	*	*	*	*	
B	10.5		*	.3	.8	.9	1.0	1.2	1.4	1.4	1.3	1.0	.8	*	.3	—	*	—	*	
C	16.0		*	.6	1.0	1.3	1.7	2.0	2.2	2.1	1.8	1.4	1.1	*	.5	—	*	—	*	
D	60.5		*	3.3	4.8	6.1	7.4	8.0	8.0	7.0	6.0	4.3	3.6	.6	1.3	—	*	—	*	
E	7.5		*	.3	.6	.8	1.0	1.1	1.0	.9	.7	.5	.4	*	.2	—	*	—	*	
	3.0		*	*	*	.3	.4	.5	.4	.3	.3	*	*	*	*					

 indicates “sweet spot” * indicates production of insignificant measure

Le taglie più richieste per scarpe da uomo

		WOMEN'S BASIC SHOES																
Sizes		4	4½	5	5½	6	6½	7	7½	8	8½	9	9½	10	10½	11	11½	12
% of total		*	.7	2.1	4.7	6.5	11.4	13.9	15.1	13.6	11.7	9.6	3.8	4.0	1.1	1.4	.3	.3
Widths																		
AAAAA	*						*	*	*	*		*	*	*	*	*	—	*
AAAA	.4					*	.02	.04	.05	.06	.06	.06	.04	.04	*	.02	*	*
AAA	7.7					.2	.5	1.0	1.3	1.3	1.1	1.0	.7	.4	*	*	*	*
AA	25.9			*	.4	1.4	2.9	3.8	4.1	3.9	3.7	3.0	1.0	1.1	*	*	*	*
A	2.1			*	*	.1	.2	.3	.4	.5	.3	.2	.1	.1	*	*	*	*
B	49.5	*	.6	1.9	3.5	4.9	6.0	6.7	6.9	5.9	5.0	4.3	1.5	1.9	*	*	*	*
C	11.3		*	.2	.6	1.0	1.4	1.6	1.8	1.5	1.2	.8	.3	.4	*	.2	*	*
D	3.1		*	*	.2	.3	.4	.5	.5	.4	.3	.3	*	.1	*	*		
E-EE	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				

 indicates “sweet spot” * indicates production of insignificant measure

Le taglie più richieste per scarpe da donna

Al di fuori di questa gamma si trovano le cosiddette fuori taglia. E' ben noto, inoltre, che le misure delle scarpe sono aumentate di generazione in generazione. Questo processo è stato lento e graduale per circa 200 anni per poi accelerare bruscamente negli ultimi 75.

Per decenni il modello di riferimento per gli uomini è stato 7C, mentre per le donne il 4B. Oggi la misura più diffusa fra gli uomini è 8C, mentre fra le donne il 6B.

I diversi sistemi di misura

American Versus European Shoe Size Scales

English Scale	Inches	American Scale	French Scale	Metric Scale
			1/2" = 1	1cm = 1
			2	2
	1		3	3
			4	4
	2		5	5
			6	6
			7	7
	3		8	8
			9	9
			10	10
			11	11
			12	12
			13	13
			14	14
0	4 3/4"	0	15	15
1/2"	4 1/2"	1/2"	16	16
1	4 1/4"	1	17	17
2	4"	2	18	18
3	5 4/16"	3	19	19
4		4	20	20
5		5	21	21
6		6	22	22
7		7	23	23
8		8	24	24
9	7	9	25	25
10		10	26	26
11		11	27	27
12	8	12	28	28
13		13	29	29
1			30	30
2			31	31
3			32	32
4			33	33
5	10		34	34
6		6	35	35
7		7	36	36
8		8	37	37
9		9	38	38
10		10	39	39
11	12	11	40	40
			41	41
			42	42
			43	43
			44	44
			45	45

Confronto fra diversi sistemi di misura

In Europa continentale il sistema utilizzato è il cosiddetto **Sistema Francese**. Questo è in uso in Francia, Germania, Italia, Spagna e molti altri paesi europei. In questo sistema la lunghezza della scarpa è da considerare come la lunghezza della forma necessaria a realizzare la calzatura espressa in "Paris point". Questa classificazione è uguale indifferentemente da sesso o che si tratti di adulti o di bambini. Poiché un "Paris point" è uguale a due terzi di centimetro, ne risulta che:

$$shoe\ size = \frac{3}{2} \times last\ length\ (cm)$$

In base alla lunghezza del piede, e non della forma, è necessario aggiungere 1,5cm:

$$shoe\ size = \frac{3}{2} \times [last\ length\ (cm) + 1,5(cm)]$$

Per passare dal sistema americano a quello europeo è sufficiente aggiungere 32. Per quanto riguarda la larghezza 0 equivale ad AA, 1 ad A, 2 a B, 3 a C e così via. Ad esempio:

40 0 = 8 AA

39 1 = 7 A

38 2 = 6 B

...

Molti paesi hanno il loro sistema di misura delle calzature, la maggior parte dei quali rappresenta una lieve variazione da uno dei due principali sistemi: quello Europeo e quello Americano. Tuttavia, molti di questi paesi, dopo anni di discussioni, sono vicini ad adottare un unico sistema universale chiamato **Mondopoint**.

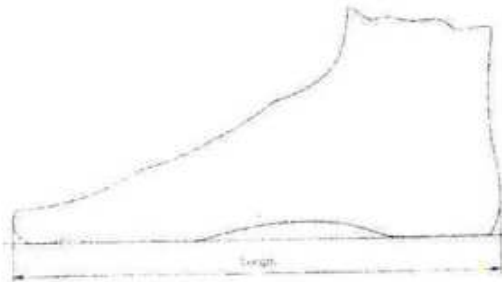


Figure 1 - Length of foot

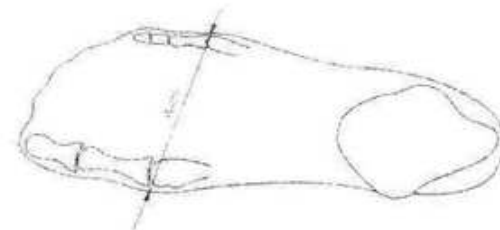


Figure 2 - Width of foot

Il sistema di misura Mondopoint

Come descritto dalla normativa internazionale ISO 9407:1991, "Shoe sizes-Mondopoint system of sizes and marking", questa si basa sulla principale lunghezza del piede e sulla larghezza misurati in mm. Per esempio una taglia 280/110 indica una lunghezza del piede di 280mm ed una larghezza di 110mm. Tale sistema è già stato sperimentato con successo per la fornitura di calzature per le forze militari NATO.

PROGETTO

OBIETTIVI

Uno dei principali problemi che si riscontra negli attuali modelli di pinne per apnea disponibili sul mercato è la difficoltà ad aderire efficacemente al piede di chi la indossa. Questo si traduce in una dispersione di energia considerevole che riduce significativamente la quantità di lavoro trasmessa alla pala e quindi, in termini pratici, la spinta di avanzamento.

Lo scopo del progetto di tesi è proprio questo: partendo dall'esistente ripensare la pinna ed in particolare la scarpetta per realizzare un nuovo prodotto che abbia un'"indossabilità" sensibilmente migliore al fine trasmettere, con minime perdite, l'energia generata dal movimento di pinneggiata.

Nello specifico, **il progetto di tesi si è diviso in due proposte distinte di prodotto**: uno, che benché sia più complesso ed economicamente oneroso per quanto riguarda il processo di industrializzazione, è ergonomicamente e funzionalmente più avanzato rispetto alla seconda proposta che, invece, è più orientata verso un credibile futuro produttivo e commerciale.

Lo spunto per la realizzazione di una tesi riguardante questo tema particolare è venuto dal mio Relatore: il Prof. Mario Guagliano e da Federico Mana un apneista di professione che detiene attualmente il record italiano di apnea ad asseto costante.

RILIEVO DELLA FORMA DEL PIEDE

Come ogni progetto, anche questo è cominciato con una fase di ricerca. Poiché questo è un progetto che riguarda lo sviluppo di una calzatura, gran parte di questa ricerca ha riguardato studi relativi all'ergonomia, alla fisiologia, all'anatomia e alla biomeccanica del piede.

Per poter produrre un modello tridimensionale della scarpetta della pinna che stavo andando a progettare era necessario disporre di una serie di misure o meglio ancora di una forma di un piede intorno alla quale cominciare la modellazione.

A questo punto è necessario fare una puntualizzazione. I modelli di pinne per apnea reperibili sul mercato non hanno, nella quasi totalità dei casi, nessuna distinzione fra il piede destro e quello sinistro. Questa scelta è dettata da ragioni esclusivamente economiche volte a dimezzare l'investimento in stampi necessari alla loro realizzazione. Per ridurre ulteriormente i costi di produzione le pinne vengono fornite in taglie che hanno uno scarto di due numeri alla volta (es. 40/41, 42/43, ...).

Dato che una delle soluzioni progettuali sviluppata prevede una calzata asimmetrica (una scarpetta dedicata per ogni piede) mentre l'altra prevede una soluzione uguale a quella in commercio (un'unica scarpetta per ogni piede), è stato necessario costruire due differenti modelli di piede.

Modello di piede asimmetrico

Per la realizzazione della prima versione; quella che prevede una calzata asimmetrica e quindi diversa fra piede destro e piede sinistro, è stata fatta una ricerca ergonomica volta a reperire tutte quelle misure necessarie per produrre un modello tridimensionale che funga da base antropometrica per la modellazione dell'intero prodotto. I manuali consultati erano degli elenchi di misure di porzioni di corpo eseguite su campioni di popolazione del 98° percentile.

Incontrando però una certa difficoltà ad incrociare queste misure fra di loro è stato necessario adottare un'altra tattica. Come un calzolaio usa delle forme in legno sulle quali lavorare e costruire le scarpe, anch'io ho preso una forma di un piede per costruire il mio modello di pinna. In particolare si trattava di un tendiscarpe, un oggetto pensato per essere inserito nelle calzature per mantenerne la forma quando non vengono indossate.

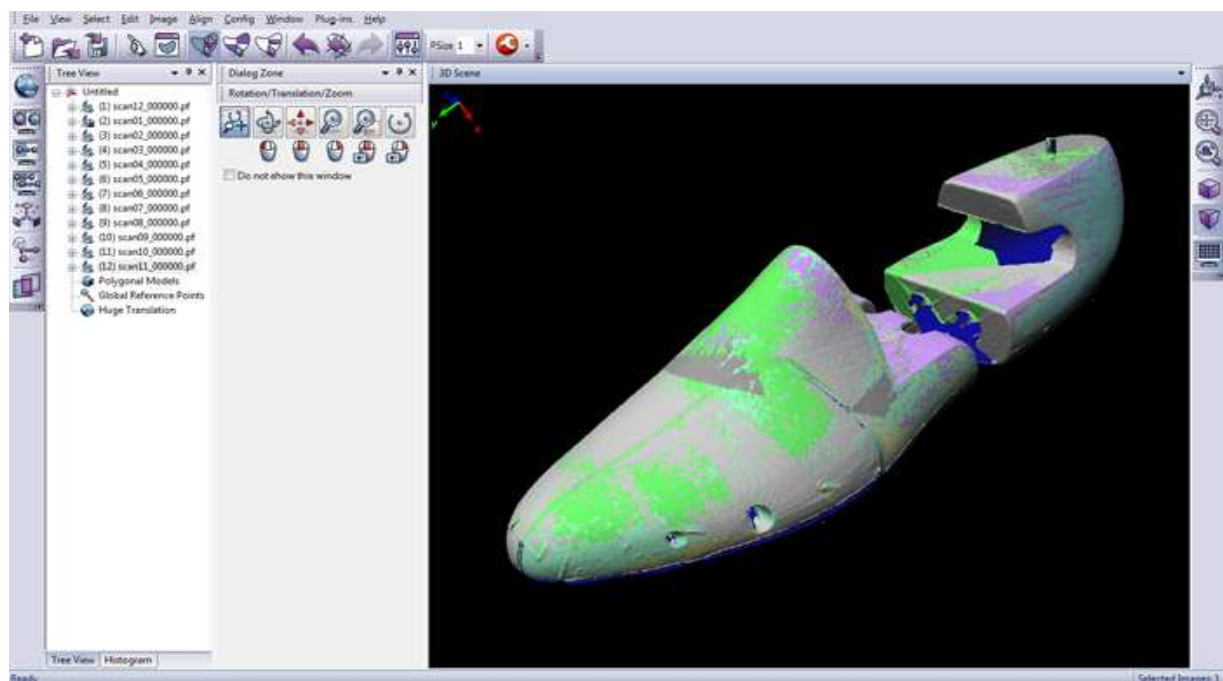


Tendiscarpe

La scansione è stata effettuata utilizzando uno scanner laser Minolta VIVID 910. La baseline dello strumento è stata impostata a 250mm. La fase di scansione è stata preceduta da uno studio preliminare del set di presa in cui sono stati tenuti in considerazione i vari elementi che avrebbero potuto pregiudicare la buona riuscita dell'operazione. In base alla complessità dell'oggetto è stato previsto il numero di scansioni da effettuare in modo da garantire una sovrapposizione del 30-40% tra riprese adiacenti.

Le scansioni così ottenute sono state importate nel software Windows4 Perspective per poi essere salvate in formato STL.

Successivamente le scansioni sono state importate nel modulo IMAlign del software PolyWorks. In questa fase sono state allineate le scansioni rispetto allo stesso sistema di riferimento per permettere la costruzione del modello del tendiscarpe. L'ultima fase ha riguardato la verifica del corretto allineamento delle scansioni utilizzando gli appositi strumenti forniti dal programma.



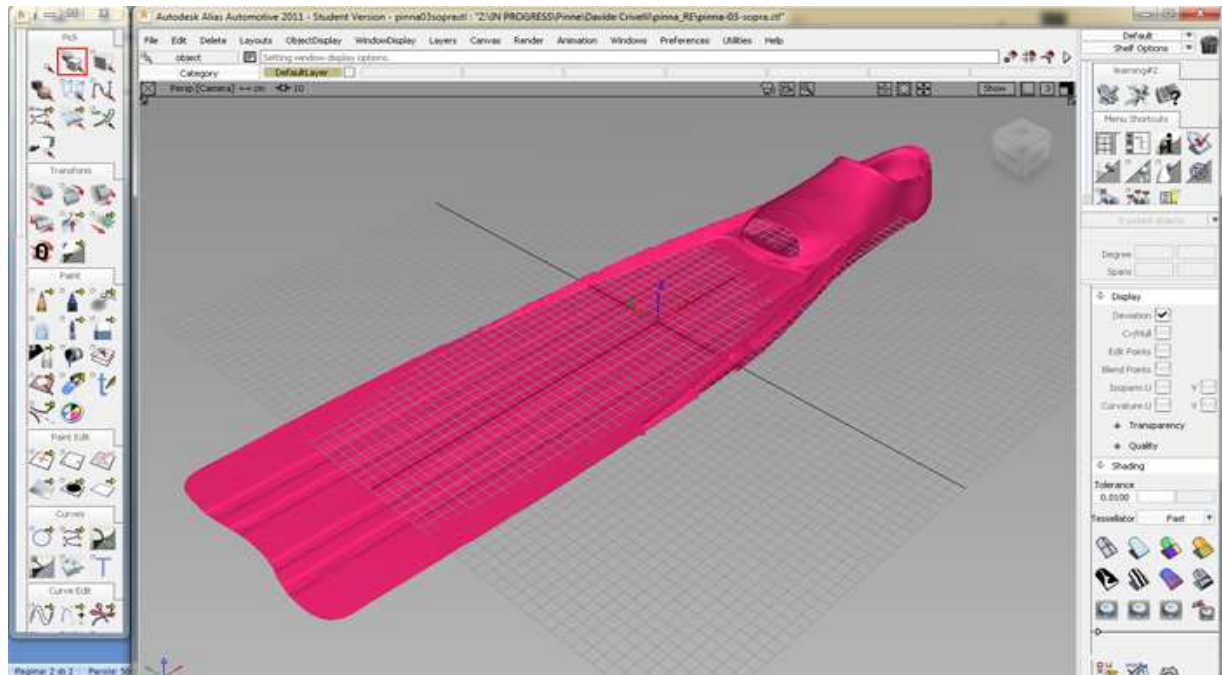
Allineamento delle scansioni con Polyworks

Una volta che ho ottenuto la forma del piede in formato STL è stato necessario "ricalcarla" ricostruendola per superfici così da ottenerne un modello utilizzabile per i successivi passi della modellazione. Questo modello ricavato dalla scansione è stato poi confrontato con i dati ergonomici precedentemente citati ed ottimizzato.

Così facendo ho ricavato una perfetta forma di piede su cui cominciare la modellazione. Grazie agli studi ergonomici è stato anche possibile constatare quali sono le misure del piede che maggiormente variano fra individuo e individuo prendendone così spunto per la realizzazione del mio concept orientato alla realizzazione di una scarpetta capace di adattarsi quanto più possibile a differenti tipi di piede.

Modello di piede simmetrico

La seconda proposta progettuale, a differenza della prima, è stata più conservativa e prevedeva una calzata simmetrica fra piede destro e piede sinistro. Il modello precedentemente realizzato risultava pertanto inutilizzabile. E' stato però possibile riutilizzare parte delle informazioni precedentemente ricavate dalle letture ergonomiche e dalla scansione del modello di tendiscarpe per realizzare una forma che risulti confortevolmente indossabile con entrambi i piedi con il minimo gioco possibile.



Modello ottenuto dalla scansione di una pinna commerciale

Il risultato è stato poi confrontato, modificato ed ottimizzato confrontandolo con una scansione di una pinna commerciale. Questa è stata misurata ottenendone così tutta una serie di misure utili per correzione del modello che avevo preparato.



Sezione di una pinna modello Omer Stingray

Altre misure utili alla realizzazione della forma del piede simmetrica sono state ricavate dal rilievo eseguito su un altro modello di pinna commerciale. Nello specifico si trattava di una pinna modello Omer Stingray che è stata sezionata per mostrare andare a prendere tutte le misure necessarie della forma del piede. Queste sezioni hanno anche messo in evidenza i diversi spessori previsti dal produttore per irrigidire maggiormente alcune zone rispetto alle altre.



Sezione in prossimità dell'attaccatura del longherone con la scarpetta

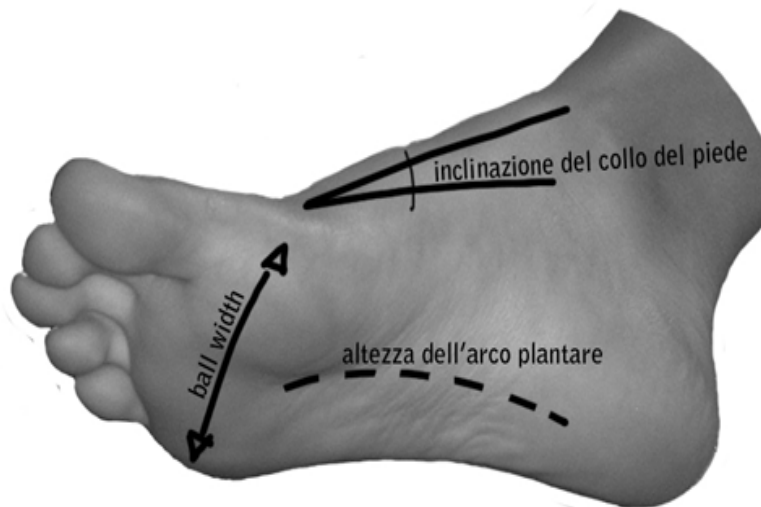
Una volta ricavati le due forme del piede è stato facile avviare la successiva fase di modellazione delle pinne.

PRIMA PROPOSTA

L'innovazione di questo tipo di pinna si concentra nella sua scarpetta che è stata pensata per adattarsi con facilità ad ogni tipo di piede pur mantenendo invariati i processi produttivi e i materiali rispetto ai modelli di pinna appartenenti all'attuale offerta commerciale.

Nonostante la scarpetta venga prodotta in diverse taglie, questo parametro, che fa riferimento esclusivamente alla lunghezza del piede, da solo non è in grado di garantire una vera e propria comodità della pinna. Pertanto, sono state prese in considerazione una serie di altri parametri che, presi complessivamente, descrivono al meglio quella che è la reale morfologia del piede assicurando una migliore comodità e al contempo aderenza della scarpetta al piede così da consentire una spinta più potente con una minor dispersione di energia. Questi parametri sono:

- *Larghezza del piede o ball width*: descrive la larghezza del piede all'altezza della testa del primo e quinto metatarso.
- *Altezza dell'arco plantare*: esistono diversi gradi di altezza dell'arco plantare, la sua completa aderenza con il fondo della scarpetta è fondamentale per una distribuzione ottimale dei carichi e delle forze espresse dal piede.
- *Altezza del collo del piede*: questo parametro rappresenta l'inclinazione della parte superiore del piede che varia sensibilmente da soggetto a soggetto.



Parametri che, oltre alla lunghezza del piede (taglia), varia da soggetto a soggetto

Questa possibilità di personalizzare la scarpetta consente, oltre che di farla aderire al meglio al piede, di avere una certa tolleranza sul tipo di calzare utilizzato. Infatti vengono impiegati calzari con differente spessore in funzione della stagione. I normali calzari hanno uno spessore di 3mm mentre quelli invernali hanno uno spessore maggiore di 5 mm per un miglior isolamento.

La scarpetta presenta degli intagli e delle fessure per compensare queste variazioni morfologiche dei diversi tipi di piede.



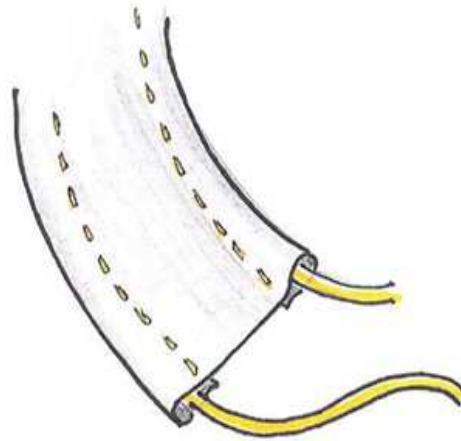
Immagine degli intagli presenti nella scarpetta per permetterne la personalizzazione

Su questa vengono montate delle fascette regolabili tramite delle chiusure micrometriche che consentono di intervenire singolarmente su ognuno dei parametri precedentemente citati. La forma di queste fascette si ispira al tradizionale elastico fissa pinne che va a bloccare tallone e collo del piede.



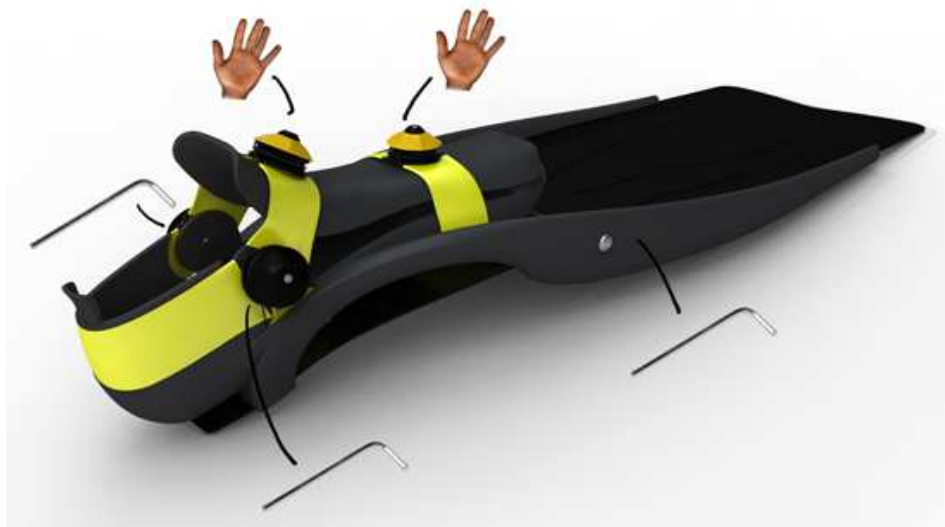
Fissa pinne

Le fascette sono realizzate in tessuto elasticizzato. Le estremità sono ripiegate su se stesse e cucite creando un'asola all'interno della quale scorre il cavo che mette in tensione il sistema rendendo possibile la regolazione. Tale cavo non è altro che una stringa di piccolo diametro che si connette al sistema di regolazione micrometrica.



Fascetta con i passanti per il passaggio delle stringhe

Il percorso delle fascette è stato disegnato per permettere ad esse di andare a serrare la scarpetta nelle zone più significative precedentemente analizzate. Ognuna di esse rappresenta quindi una regolazione.



Metodi di regolazione dei diversi sistemi di chiusura

I sistemi di chiusura si distinguono fra chiusure che è possibile regolare ogni volta a mano e chiusure su cui si può intervenire solamente con una chiave a brugola. La differenza è dettata da ragioni pratiche e funzionali. Alcune regolazioni infatti devono essere eseguite ogni volta per permettere l'entrata e l'uscita del piede dalla scarpetta mentre altre regolazioni è sufficiente eseguirle una sola volta per adattare la scarpetta alla morfologia del proprio piede o per riadattarla all'uso di un calzare di diverso spessore.

CHIUSURE REGOLABILI A MANO



Sistema di regolazione dell'altezza del collo del piede

- **Altezza del collo del piede.** Questa regolazione permette di aggiustare l'altezza del collo del piede facendo aderire la linguetta al piede. Chiaramente questa regolazione deve essere ripetuta ogni volta che si indossa la scarpetta per permettere al piede di entrare e uscire.



Sistema di regolazione della base del piede

- **Base del piede.** Anche questa regolazione come la precedente deve essere aggiustata di volta in volta per ottenere la massima precisione di chiusura. Si va ad intervenire a livello del metatarso serrando il piede alle pareti della scarpetta e portandolo a contatto, nella parte superiore, con la linguetta. Nella parte inferiore invece si va ad aggiustare l'altezza dell'arco plantare alzando leggermente parte della scarpetta intagliata.

CHIUSURE REGOLABILI CON CHIAVE A BRUGOLA



Sistema di regolazione dell'altezza dell'arco plantare

- **Altezza dell'arco plantare.** Agendo su questa chiusura micrometrica si va a stringere o ad allentare la fascetta che preme sul sostegno dell'arco plantare. Questo elemento è mobile e permette di adattarsi a diverse altezze. La regolazione di questo elemento avviene anche con

l'ausilio della regolazione precedentemente vista (Chiusura regolabile a mano alla base del piede). Poiché questo aggiustamento non impedisce l'ingresso o l'uscita del piede dalla scarpetta è sufficiente effettuarla una sola volta con l'ausilio di una chiave brugola.



Sistema di regolazione del tallone

- **Tallone.** Questa regolazione va a stringere la scarpetta al tallone prevenendo che questa venga scalzata durante la pinneggiata o evitando che questo si muovi in continuazione con il movimento alternato del piede. Un tallone regolabile permette anche di adattare la larghezza della scarpetta a spessori differenti di calzare.



Sistema di regolazione della larghezza della scarpetta per mezzo di una vite che agisce su un inserto filettato

- **Larghezza del piede.** Anche per questa regolazione è necessaria una chiave a brugola. Al posto delle chiusure micrometriche che abbiamo visto prima, in questo caso c'è una vite che unisce i due longheroni. Nel suo percorso la vite passa attraverso la parte inferiore della scarpetta in un inserto filettato. Girando la testa della vite si andrà quindi ad aprire o stringere una fessura posta sulla suola della scarpetta modificando la larghezza della scarpetta. Questa vite permette di cambiare la geometria della calzatura pur non modificando l'interasse fra i due longheroni

che deve rimanere costante per poter alloggiare la pala al loro interno. La vite permette inoltre di trasferire al meglio la forza impressa dal piede all'altezza del metatarso trasferendola direttamente ai longheroni a cui si attacca.

Nonostante ci siano ben cinque chiusure micrometriche per scarpetta la fase di allacciatura della scarpetta risulta veloce poiché sono solo due le chiusure su cui si va ad intervenire di volta in volta. Le restanti tre richiedono un aggiustamento di personalizzazione la prima volta che si indossa le pinne ed ogni volta che si indossa un calzare di diverso spessore (regolazione stagionale).

IL SISTEMA DI CHIUSURA MICROMETRICA



Le fascette con i sistemi di regolazione micrometrica

Il sistema di chiusura micrometrica prevede una ghiera che può essere messa in rotazione in un unico senso. Questa comanda un avvolgitore che mette in tensione i cavi passanti per le fascette elastiche. Il sistema, una volta che la ghiera viene rilasciata, rimane in tensione grazie a un rocchetto i cui dentini triangolari vengono tenuti premuti sulla base della chiusura per mezzo di una molla. Tale rocchetto può essere sbloccato premendo sul tasto posto alla sommità della ghiera facendo così svolgere il cavo dall'avvolgitore facendo rifluire i cavi all'interno delle fascette elastiche.

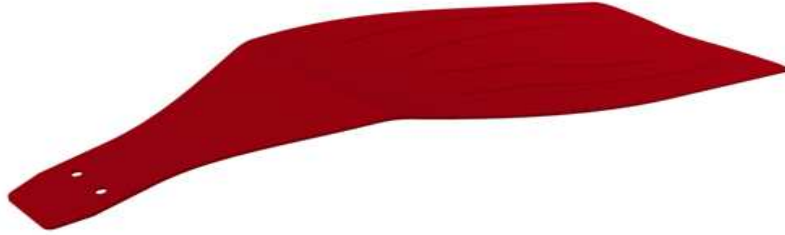


Esploso sistema di regolazione micrometrica regolabile a mano

La differenza fra il sistema di chiusura a mano e il sistema di chiusura tramite brugola differisce solo per alcune componenti (la testa del sistema di sblocco, la mancanza della ghiera e un rocchetto leggermente diverso) mantenendo inalterate altra parti (la base del sistema di regolazione, l'avvolgitore e la molla).



Esploso sistema di regolazione micrometrica regolabile mediante chiave a brugola



Pala

La pala è un unico componente che può essere montato sia sulla pinna destinata al piede destro come su quella per il piede sinistro. E' stata concepita anche per poter essere montata su scarpette di diversa taglia limitando così il numero degli stampi ad uno. Cambia solamente la posizione dei fori dove avviene il passaggio delle viti di fissaggio di questo componente con la scarpetta.

L'inclinazione della pala come in molte altre soluzioni in commercio è di 20° permettendo così all'apneista di discendere con la pala quanto più verticale rendendo minima la resistenza idrodinamica e quindi la resistenza all'avanzamento.

SECONDA PROPOSTA

Rispetto alla precedente proposta questa è meno radicale nelle soluzioni che propone. In vista di un possibile futuro commerciale è stato necessario ripensare la precedente versione rendendola più semplice.



Prima proposta

I limiti della precedente soluzione sono:

- **Costo:** i sistemi di regolazioni micrometrica presenti innalzano inevitabilmente il costo per il cliente. Anche l'idea di realizzare una scarpetta differente per il piede destro e quello sinistro è un notevole aggravio economico in quanto raddoppia gli investimenti necessari alla realizzazione degli stampi.
- **Peso:** anche in questo caso i sistemi di chiusura micrometrica rappresentano un limite poiché aumentano il peso della pinna. A questi si aggiungono la vite di regolazione della larghezza della scarpetta.
- **Idrodinamica:** l'attaccatura dei longheroni alla scarpetta creano dei disturbi poiché la superficie non è continua ma presenta delle interruzioni che generano dei vortici. Anche in questo caso le chiusure micrometriche sia sulla linguetta sia sui lati della pinna sono degli ostacoli allo scorrimento nel fluido.
- **Innovazione radicale:** il fatto che la scarpetta sia così diversa da quanto si può tutt'oggi trovare in commercio è un limite in quanto non tutti i clienti sono propensi ad accettare un prodotto tanto diverso specie se più costoso e se sono già soddisfatti di quanto propone al momento il mercato. Il limite inoltre sono le aziende che sono poco propense a rischiare di mettere sul mercato un prodotto così diverso da quanto fatto finora perché inconsapevoli di come potrebbe rispondere il mercato.

Queste riflessioni critiche sono state prese in considerazione per realizzare una seconda proposta.

Il risultato è molto simile alle attuali pinne d'apnea attualmente in commercio, presenta solamente alcune differenze nella scarpetta in gomma per permettere di installare un sistema di chiusura micrometrica commerciale. Il sistema è quello dell'americana BOA, tecnologia che si è diffusa negli ultimi anni con alcuni tipi di calzature come scarponi per snowboard, scarpe da ciclismo, scarponi da montagna, ...



Scarpa da ciclismo prodotta dalla Specialized che utilizza il sistema BOA

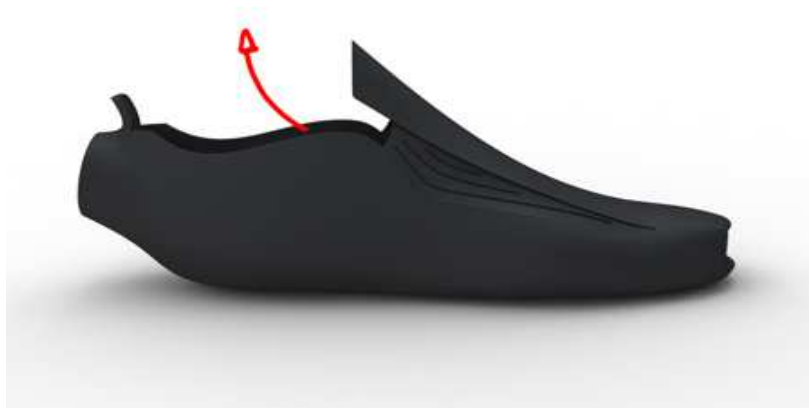
LA TECNOLOGIA BOA

La tecnologia BOA presenta alcuni vantaggi che sono tutt'ora sconosciuti agli attuali sistemi di chiusura (lacci, velcro, ...). Alcuni di questi punti di forza sono:

- permette una chiusura personalizzata con una distribuzione dei carichi ben distribuita
- la regolazione avviene in maniera rapida e facile
- è facilmente regolabile anche in condizioni d'uso della calzatura semplicemente agendo sull'apposita ghiera
- la chiusura è sicura e ben collaudata
- e facilmente pulibile

LA LINGUETTA

Una caratteristica evidente rispetto a quanto si trova sul mercato è la presenza della linguetta che permette una chiusura personalizzata sul collo del piede.



Direzione d'uscita dell'anima interna dello stampo dalla scarpetta

Dal punto di vista produttivo questa viene realizzata sempre con la medesima tecnica impiegata per la produzione di una tradizionale pinna. Come si vede dalla figura precedente quel che cambia è solamente il disegno del collo del piede della scarpetta che in questo caso è molto più alto.



Taglio eseguito su un singolo bordo della linguetta

Successivamente avviene il taglio creando una sovrapposizione che varierà in funzione dell'altezza del collo del piede di chi l'andrà ad indossare. Il risultato è una calzatura asimmetrica con la linguetta che pende verso l'esterno della pinna. Questo impone di effettuare un taglio su un lato o sull'altro della scarpetta a seconda del piede che andrà ad indossarla.



Linguetta con taglio simmetrico

Un'alternativa a questa soluzione è quella di prevedere un doppio taglio così da realizzare una linguetta perfettamente simmetrica. Questa scarpetta potrà essere indossata indifferentemente dal piede destro o sinistro.

IL SISTEMA DI CHIUSURA

Il sistema di chiusura della scarpetta è molto più semplice se confrontato al precedente. Nonostante questo il percorso del cavo è studiato per permettere di fare aderire la scarpetta in molti punti seppur con un unico sistema di regolazione.





Confronto fra due pinne

La ghiera di regolazione micrometrica è stato posizionato dietro al tallone in modo da creare il minor disturbo idrodinamico durante la fase di discesa e risalita. L'intera superficie della scarpetta è stata rivista rispetto alla precedente versione per essere più liscia ed idrodinamica possibile minimizzando tutti i possibili elementi di disturbo e creando una superficie con un andamento regolare.

La presenza di un unico sistema di regolazione micrometrica rispetto ai quattro della versione precedente non è solo dettata dalla necessità di avere una linea più pulita ma anche dall'esigenza di contenere i costi e il peso della pinna.



Il percorso del cavo del sistema BOA

Il percorso del cavo è stato studiato per far aderire al meglio la scarpetta al piede. Inizialmente il cavo va ad incrociarsi sotto la pianta del piede in prossimità del tallone per poi risalire e incrociarsi nuovamente sulla parte alta del collo del piede. Questo percorso va a toccare i tre punti che in genere vengono raggiunti dal fissa pinne. Si va così a stringere il tallone nella parte posteriore ed inferiore della scarpetta tenendolo ben saldo ed evitando che si muova durante i cicli alternati di pinneggiata.

Successivamente il cavo torna in basso andando ad agganciarsi all'attaccatura dei longheroni e ritorna verso l'alto chiudendosi sulla linguetta. Così il piede viene premuto fra la linguetta e il fondo della scarpetta. Anche i bordi vengono leggermente flessi e portati a contatto con il piede.

La maggiore differenza rispetto alla versione precedente per quel che riguarda il sistema di chiusura è l'assenza di una regolazione per la larghezza del piede.

GLI SPESSORI DIFFERENZIATI



Sezione pinna modello Omer Stingray

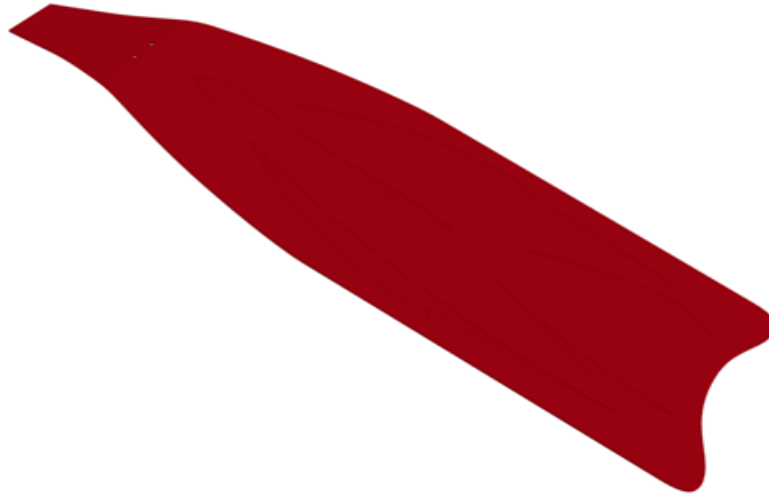
La pinna, nonostante sia realizzata interamente con lo stesso materiale (gomma), deve avere delle zone più rigide e altre più flessibili. Il fondo della scarpetta è una zona che deve avere un'elasticità limitata per poter trasmettere al meglio l'energia dal piede alla pala. E' stata pertanto previsto uno spessore maggiore in questo punto disegnando un fondo con un andamento leggermente squadrato per permettere all'apneista di rimanere in piedi facilmente con le pinne indossate sul bordo del molo o della barca.



Sezione longitudinale della pinna che mette in risalto gli spessori differenziati

Un altro punto che richiede una maggiore rigidità è l'attaccatura del longherone alla scarpetta che deve essere solidamente ancorato al fondo della scarpetta per creare una continuità fra suola, longheroni e pala.

LA PALA



Pala

La pala ha un disegno simile alla maggior parte di pinne d'apnea in commercio. E' intercambiabile ossia può essere montata e smontata con l'ausilio di due viti mordenti che si fissano ad un tassello in PP che trova posto all'interno della suola della scarpetta. Questa scelta permette di montare pale di PP con diversa rigidità o in carbonio per adattarsi al meglio alle esigenze d'uso e all'allenamento dell'apneista.

CONCLUSIONI

Come abbiamo visto il progetto ha seguito un percorso evolutivo passando da una prima proposta, più orientata verso l'ergonomia del prodotto, per arrivare ad un'altra soluzione più attenta invece agli aspetti produttivi. Il percorso può essere anche visto come un processo di maturazione del progetto che è stato stimolato dal confronto fra diverse discipline. Nello specifico i contributi sono provenuti da diversi campi: quello di ergonomia di design, quello di ingegneria meccanica e quello sportivo.

RINGRAZIAMENTI

Prof. Giuseppe Andreoni

Prof.ssa Laura Anselmi

Prof.ssa Marita Canina

Ing. Marco Cavallaro

Prof.ssa Fiammetta Costa

Ing. Davide Crivelli

Roberta Gorno

Prof. Mario Guagliano

Prof. Matteo Ingaramo

Federico Mana

Giorgia Morlando

Matteo Moroni

Prof. Francesco Trabucco

BIBLIOGRAFIA

Testi

ADULTDATA. The Handbook of Adult Anthropometric and Strength Measurements – Data for Design Safety.

Laura Peebles and Beverley Norris
Institute for Occupational Ergonomics
Department of Manufacturing Engineering and Operations Management
University of Nottingham

Fisiologia articolare. Schemi commentate di meccanica umana

Volume II. Arto inferiore

I. A. Kapandji

Marrapese Editore Demi, Roma, 1983

Le misure dell'uomo e della donna: dati di riferimento per il progetto.

Alvin R. Tilley, Henry Dreyfuss, Associates. Milano BE-MA 1994

Gait & Posture, Elsevier

Volume 15, Issue 3, June 2002

Foot type classification: a critical review of current methods

Mohsen Razeghi, Mark Edward Batt

EUROShoE

Biomechanical reference Document, issue 1

Anatomical and functional description of the musculo skeletal system and the biomechanical implications related to the selected motor performance

Corso di apnea. Umberto Pelizzari, Stefano Tovaglieri. Mursia 2010.

Articoli ergonomia

Recommendation to suppliers and manufactures of orthopaedic footwear concerning sizes of shoes and lasts. A report from The Swedish Institute, Swedwn Bengt Andersson, 2004-02-04

Foot measurement from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods.

Channa P. Witana, Shuping Xiong, Jianhui Zhao, Ravidra S. Goonetilleke

Human Performance Laboratory, Department of Industrial Engineering and Logistics Management, Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Hong Kong.

Available online from 8 August 2006 at www.sciencedirect.com

Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit.

Channa P. Witana, Jiejian Feng and Ravindra S. Goonetilleke

Human Performance Laboratory, Department of Industrial Engineering and Logistics Management, Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Hong Kong.

www.tandf.co.uk/journals, 10 October 2004

Foot Shape Modeling

Ameersing Luximon and Ravindra S. Goonetilleke, Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong

Human Factors, Summer 2004; 46,2; ProQuest Medical Library, pag. 304

Tesi consultate

Studio preliminare per la definizione di un modello numerico per l'analisi del comportamento di una pinna d'apnea.

Ettore Zamboni, relatore: Mario Guagliano, 21 dicembre 2005, Facoltà di Ingegneria Industriale, Politecnico di Milano

Ergorace: una scarpa sportiva. Mauro Zuliani, Corrado Luisa. Relatore: Francesco Trabucco. Politecnico di Milano. Laurea in Architettura. Indirizzo disegno Industriale e Arredamento. A.a. 1995/96

Una scarpa da sci ergonomica. Fabio Allemagna. Relatore: Antonio Grieco. Politecnico di Milano. III Facoltà di Architettura. A.a. 2000/01

Normativa

ISO 9407:1991

Shoes sizes – Mondopoint system of sizing and marking

Sitografia

Benchmark pinne per apnea

<http://www.subrovigo.it/notiziario/rubriche/apnea/pinne/pinne.htm>

Shoe size

http://en.wikipedia.org/wiki/Shoe_size

Lavorazioni della gomma

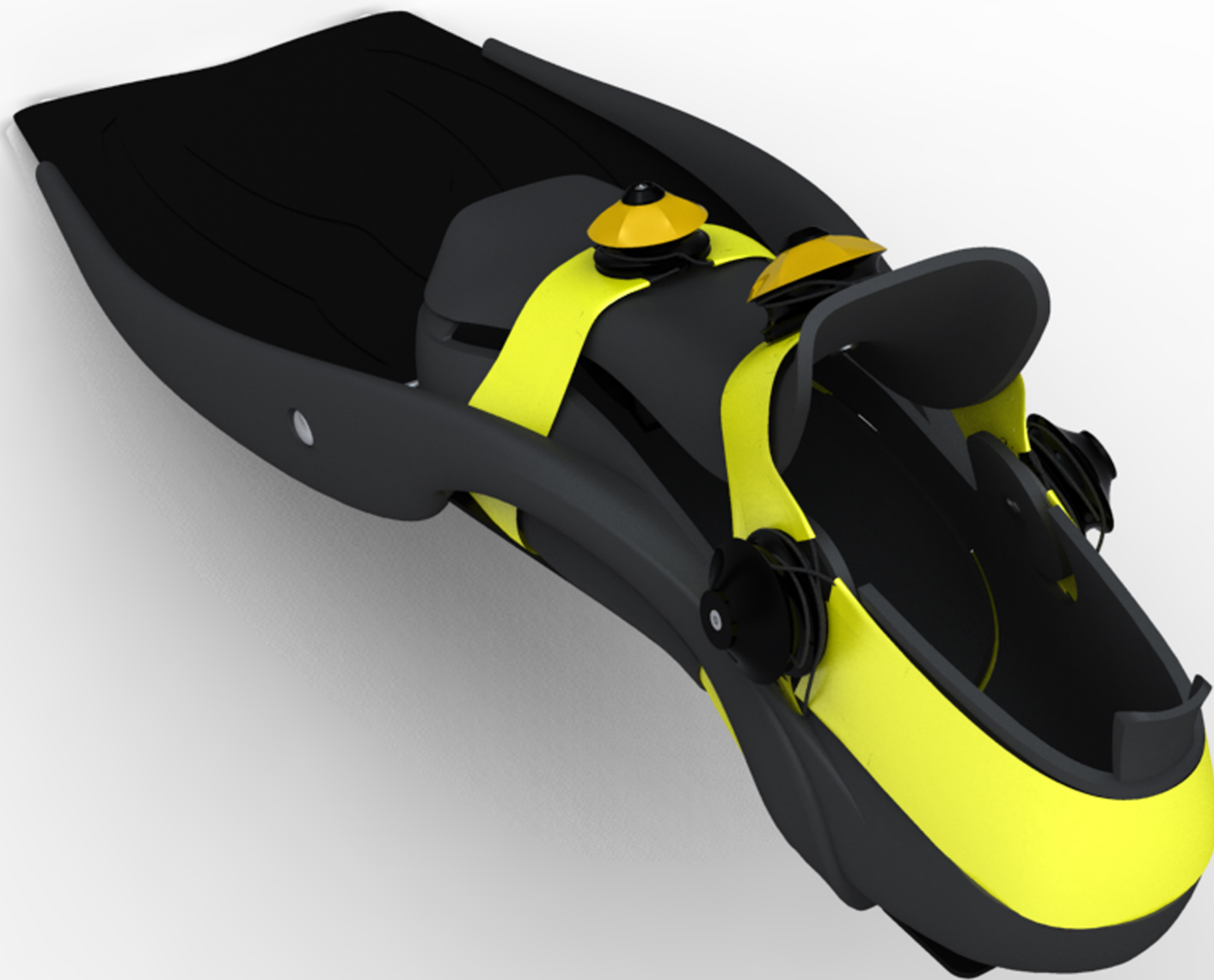
http://it.wikipedia.org/wiki/Gomma#Polimeri_dell.E2.80.99isoprene_.28gomma_naturale_o_caucci.C3.B9.29



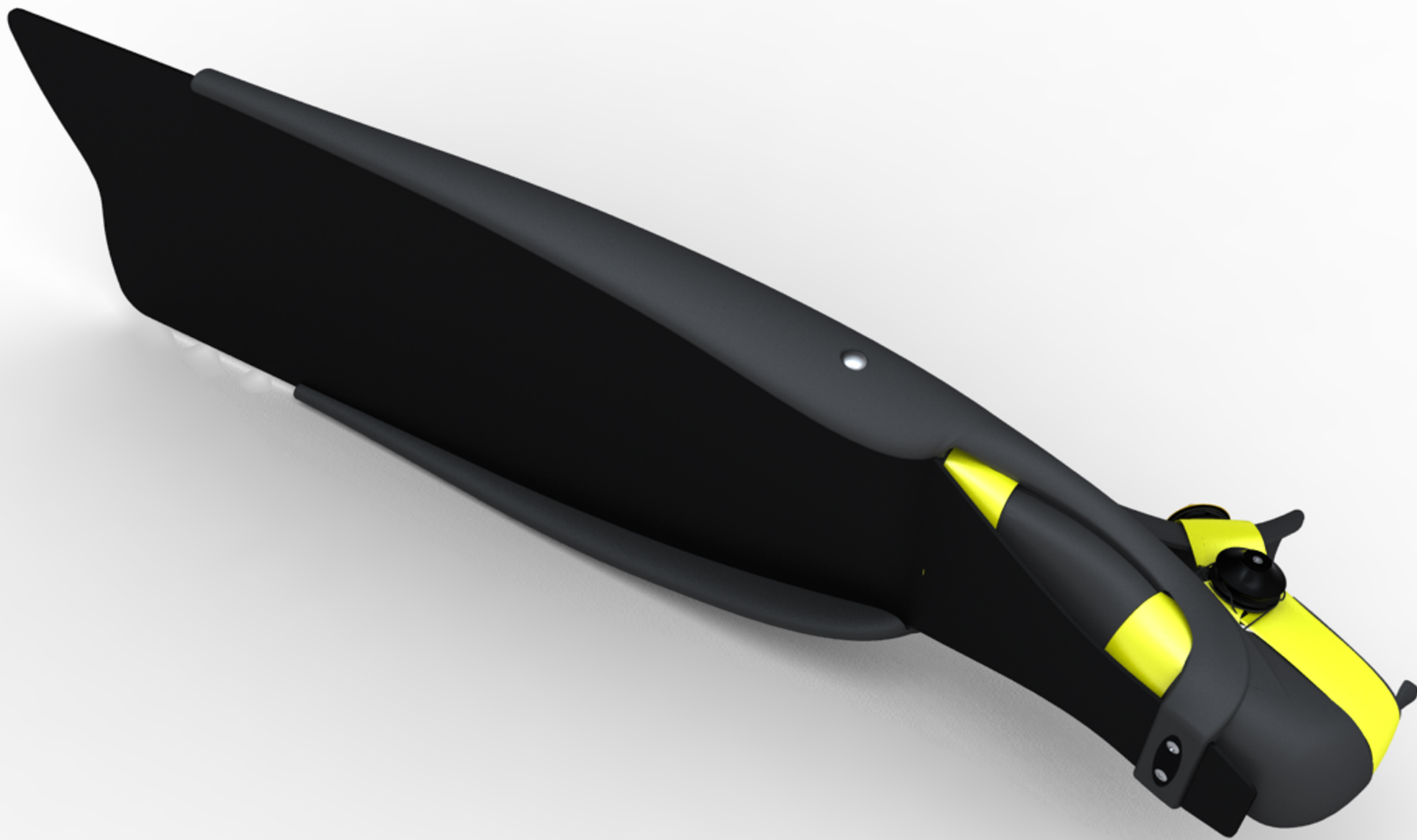
Rendering Prima versione



Rendering Prima versione



Rendering Prima versione

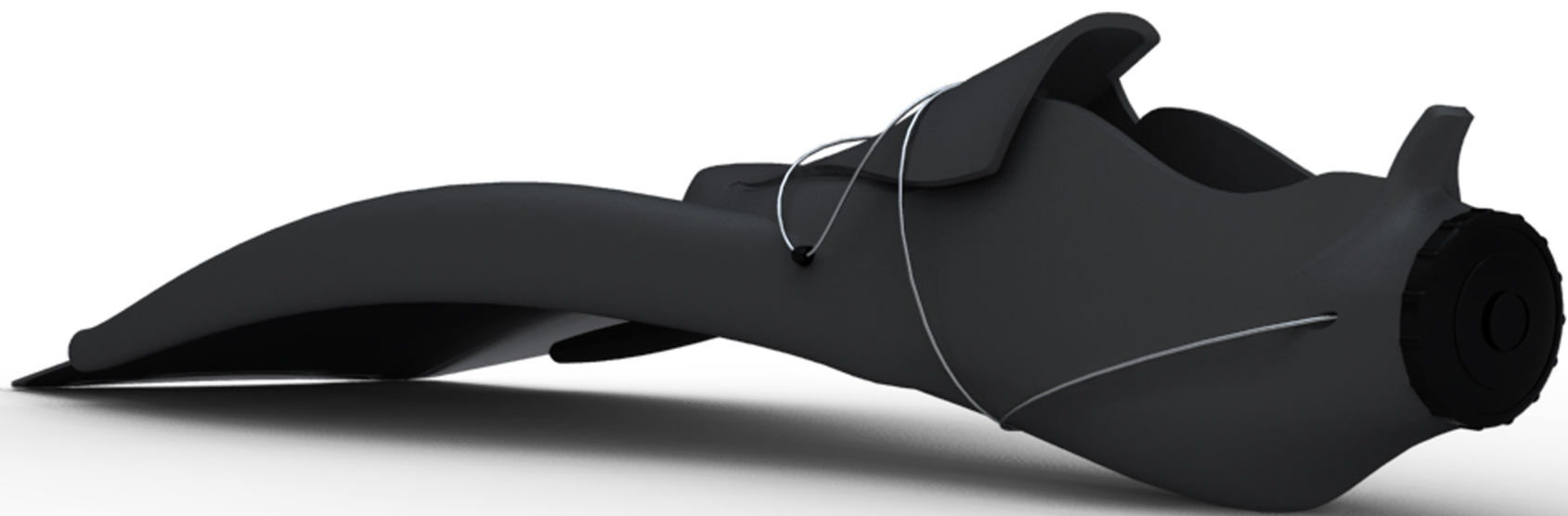


Rendering Prima versione





Rendering Prima versione



Rendering Seconda versione



Rendering Seconda versione



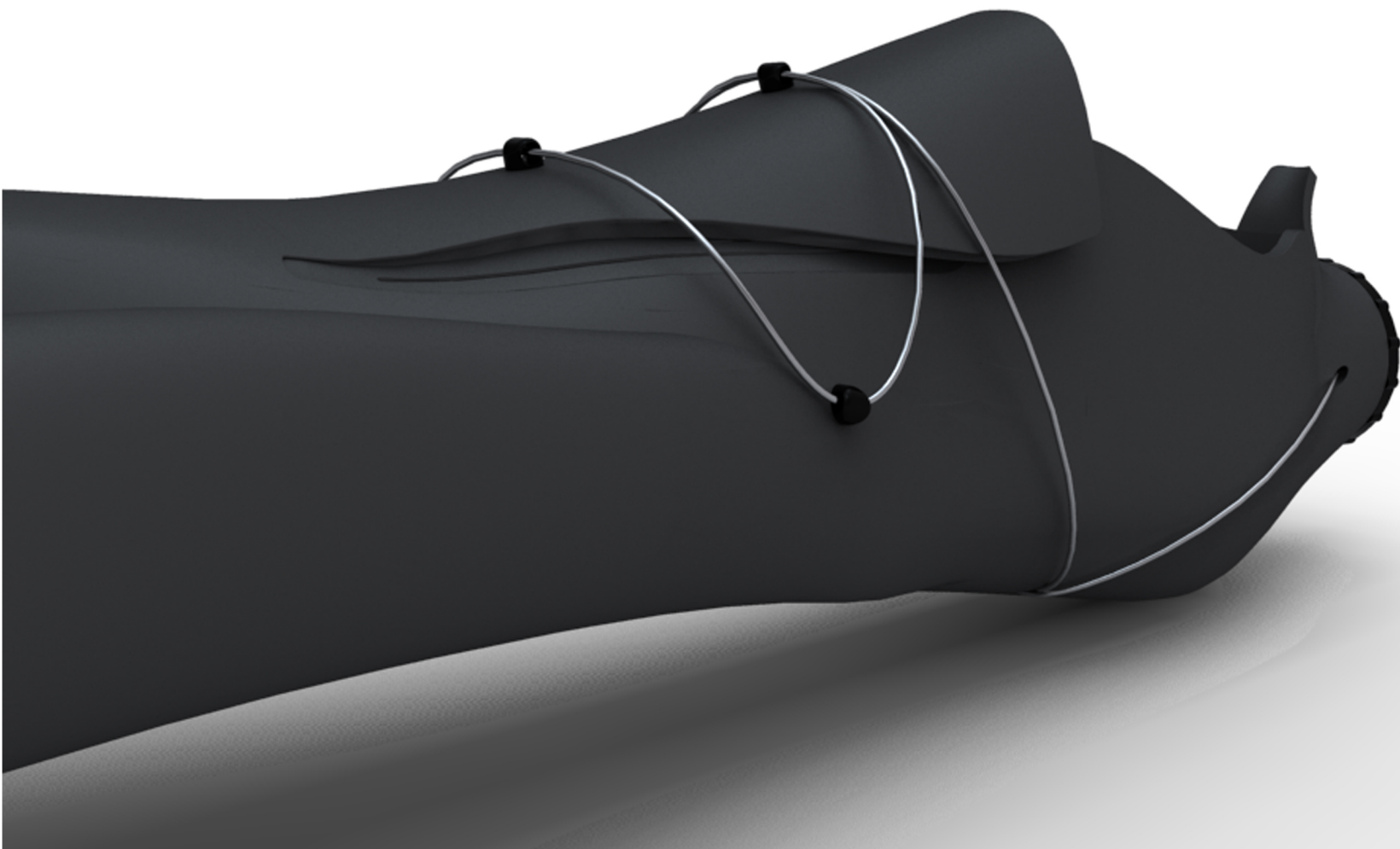
Rendering Seconda versione



Rendering Seconda versione



Rendering Seconda versione



Rendering Seconda versione



Rendering Seconda versione