

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Scienze Biomediche
Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**IL CONSUMO ENERGETICO NEI QUATTRO STILI
DI NUOTO**

Relatore: Prof. Nicola Doria
Laureando: Claudio Mondelli
N° di matricola: 1231425

Anno Accademico 2021/2022

Indice

INTRODUZIONE.....	5
1.0 I sistemi bioenergetici del corpo umano	6
1.1 ATP	6
1.2 Via della Fosfocreatina (CP)	8
1.3 Glicolisi.....	11
1.4 Metabolismo aerobico: carboidrati.....	16
1.5 Metabolismo aerobico: lipidi.....	20
2.0 IL CONSUMO ENERGETICO.....	25
2.1 Misurazione del costo energetico	27
2.2 Fattori influenzanti il costo energetico	32
3.0 Costo Energetico nei quattro stili di nuotata.....	40
3.1 Crawl.....	44
3.1 Dorso.....	52
3.2 Rana	56
3.3 Delfino	60
4.0 Consumo Energetico tra nuotatori medi e nuotatori d'elite.....	66
5.0 APPROFONDIMENTO: Programmazione Annuale Natatoria ...	72
CONCLUSIONE.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	78

INTRODUZIONE

Il nuoto lo considero la mia passione e vocazione per la quale nutro interesse essendo nuotatore, ex agonista e ora anche istruttore/allenatore.

Questo sport è una delle attività fisiche più diffuse in tutto il globo ed è praticato da soggetti sani e non. Difatti, l'allenamento aerobico di moderata intensità in acqua può creare benefici non solo per soggetti in buone condizioni, ma anche per individui diabetici, ipertesi, ipocinetici, per soggetti con algie nelle varie zone della rachide, oltre che per i pazienti obesi e ortopedici. Il nuoto, dunque, presenta poche controindicazioni e, con limitate eccezioni, può essere proposto ad individui di entrambi i sessi e di ogni fascia d'età, compresi i più avanzati.

Le abilità richieste nel nuoto sono molteplici e includono il senso di equilibrio, di coordinazione e di ritmo, le varie forme di velocità (tra cui anche reazione alla velocità), la resistenza, oltre che una buona mobilità articolare.

Pertanto l'obiettivo di questo elaborato è:

- approfondire con delle basi scientifiche le conoscenze e gli aspetti fondamentali che riguardano la nuotata e il consumo energetico.
- analizzare e comprendere gli aspetti tecnici, fisici e metodici che l'uomo e la scienza sono stati in grado di scoprire nell'ambito del nuoto.
- Soddisfare, in ultima analisi, un mio personale desiderio di conoscenza in maniera globale e approfondita riguardo al nuoto.

Di conseguenza è necessario introdurre i sistemi bioenergetici per produrre energia e per poi spiegare il concetto di consumo energetico in relazione al nuoto.

1.0 I sistemi bioenergetici del corpo umano

L'energia è necessaria per svolgere qualsiasi attività eseguita dall'uomo, che ci si trovi nello stato di sonno, di veglia sedentaria o si stia svolgendo un'attività fisica. Essa è fondamentale per mantenere le funzioni vitali corporee e ed è richiesta dai muscoli per esprimere forza e movimento.

I prodotti vegetali e animali che vengono assunti dall'uomo come cibo, rappresentano un vero e proprio combustibile che fornisce energia al corpo umano. Il processo biochimico che trasforma i nutrienti in energia è chiamato metabolismo o bioenergetica.

Questo processo è analogo, per molti aspetti, all'uso di qualunque altra fonte di combustibile (ad es. carbone, benzina) per fornire energia a una macchina in funzione, ovvero i legami chimici esistenti nel combustibile vengono scissi con conseguente rilascio di energia che alimenta il lavoro della macchina, oppure, nel nostro caso del corpo umano.

1.1 ATP

Gran parte delle reazioni necessarie a produrre energia sono alimentate dalla conversione di ATP (adenosina trifosfato) in ADP (adenosina difosfato); tra di esse vi sono, ad esempio, la trasmissione degli impulsi nervosi, la contrazione muscolare, i trasporti attivi attraverso le membrane plasmatiche, la sintesi delle proteine e la divisione cellulare. In sintesi, l'energia necessaria che sia espressa in forma aerobica o anaerobica, risulta sempre strutturata in forma molecolare di ATP. Essa è composta di tre principali composti: adenina, ribosio e tre gruppi fosfato.

LA MOLECOLA DI ATP adenosin trifosfato

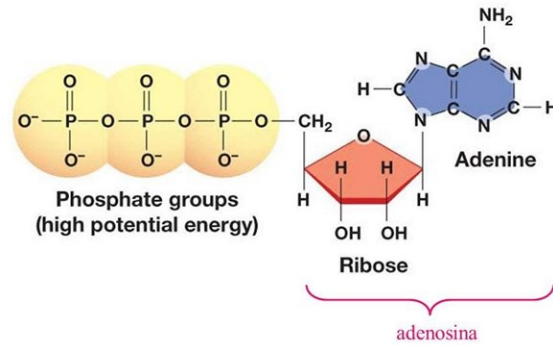


Figura 1

In combinazione, le molecole adenina e ribosio sono denominate molecola di adenosina. L'ATP può essere prodotto a partire da adenosina difosfato (ADP), più un fosfato inorganico (Pi) e uno ione idrogeno (H⁺). L'ATP può essere quindi scisso in ADP e Pi, rilasciando quindi energia che può essere usata per i diversi processi nella cellula, come ad esempio le varie azioni muscolari.

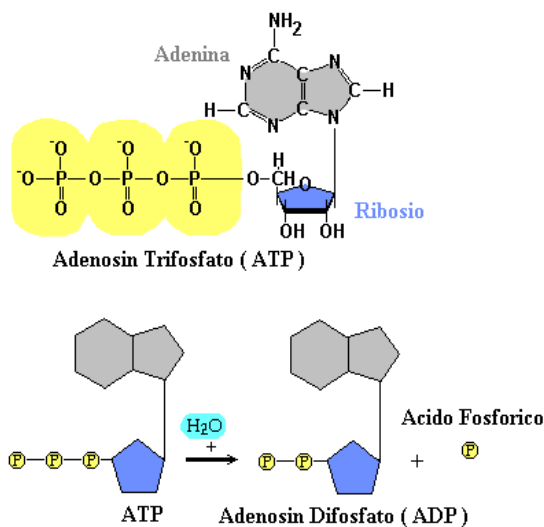


Figura 1: 2

Le molecole ADP, ATP e Pi non vengono distrutte durante queste reazioni; invece, i legami chimici che mantengono insieme i gruppi fosfato sono scissi per rilasciare energia, o una determinata quantità di energia viene aggiunta per riformare il legame che unisce il Pi ai restanti gruppi fosfato sulla molecola di adenosina, riformando così l'ATP.

La produzione di uno ione idrogeno quando l'ATP è scisso è un fattore importante poiché un aumento degli ioni idrogeno determina un aumento di acidità. Anche la

necessità di uno ione idrogeno quando ADP e Pi associano per produrre ATP è fondamentale perché determina una riduzione dell'acidità. Pertanto, se la quantità di ATP usata è maggiore di quella prodotta, vi è un aumento di acidità intramuscolare, mentre se l'uso di ATP è bilanciato da una produzione equivalente di ATP, non vi è alcun cambiamento nell'acidità intramuscolare.

Pertanto l'ATP è la via bioenergetica predominante nel corpo umano che sottende varie funzioni tra cui la contrazione muscolare, in pratica, la capacità del corpo di eseguire un lavoro dipende dalla sua capacità di generare nuovo ATP, per sostituire quello utilizzato durante il lavoro o lo sforzo fisico. Anche se vi è una quantità limitata di ATP immagazzinata nei tessuti, tra cui il muscolo scheletrico, nel tessuto vi sono vie enzimatiche che possono generare l'ATP necessario.

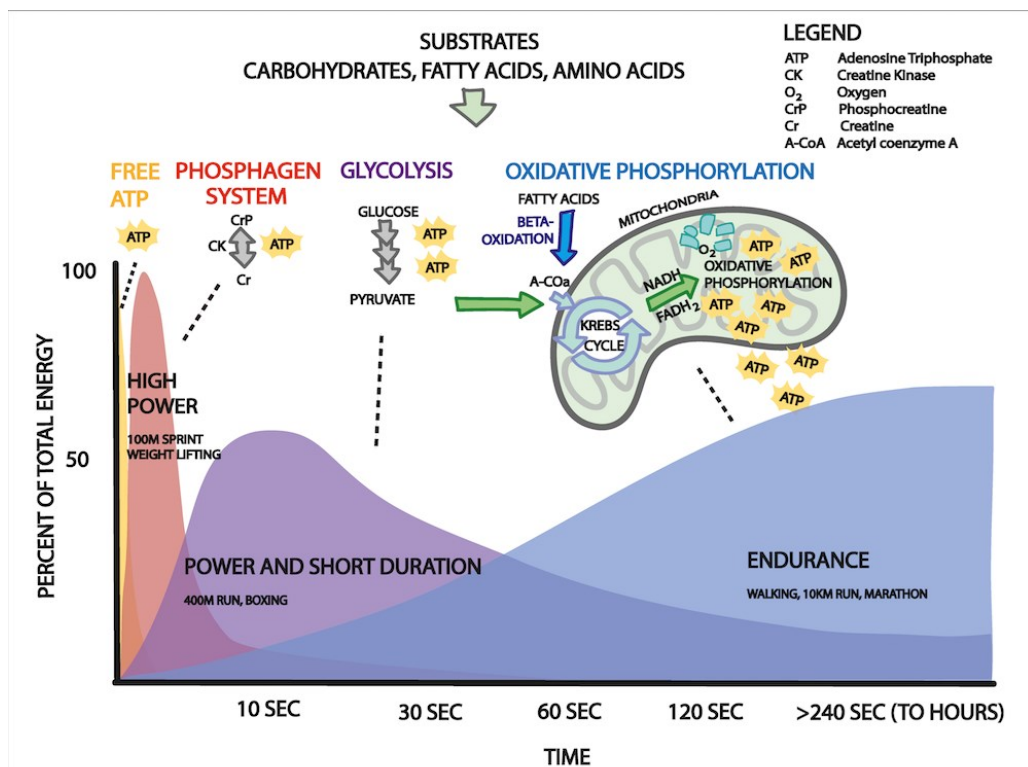


Figura 1: 3

1.2 Via della Fosfocreatina (CP)

La via metabolica della Fosfocreatina è il primo sistema che viene reclutato nel metabolismo non ossidativo in quanto è la prima fonte di energia per le attività

fisiche che richiedono grandi quantità d'energia al secondo, come uno sprint, il sollevamento di carichi, o, nel nostro caso, i primi metri di una gara di nuoto di breve distanza. Tuttavia questa fonte energetica può fornire energia solamente per un periodo di tempo relativamente breve (la stima è di 10/15 secondi). Questo è in parte dovuto alle caratteristiche e ai limiti di questo sistema. La fonte di ATP-CP, dunque, consente di svolgere un'attività fisica di alta intensità e di breve durata.

Il contenuto di ATP intracellulare delle cellule, tra cui quelle del muscolo, è particolarmente ridotto, di conseguenza, durante le attività fisiche, le concentrazioni di ATP all'interno della cellula muscolare diminuiscono abbastanza velocemente e, se i livelli di ATP non vengono rapidamente ricostituiti dall'energia proveniente dai vari cicli metabolici, vi è un concomitante declino dell'espressione di forza muscolare. La Fosfocreatina (CP) intramuscolare fornisce una via bioenergetica semplice e rapida per produrre ATP. All'interno delle cellule muscolari, l'enzima ATPasi facilita la scissione di ATP in ADP e Pi, producendo energia utile per le azioni muscolari. In una reazione distinta ma collegata, l'enzima creatinchinasi facilita la scissione di Cp in Pi e creatina, determinando la donazione di Pi all'ADP per formare ATP (figura 4).

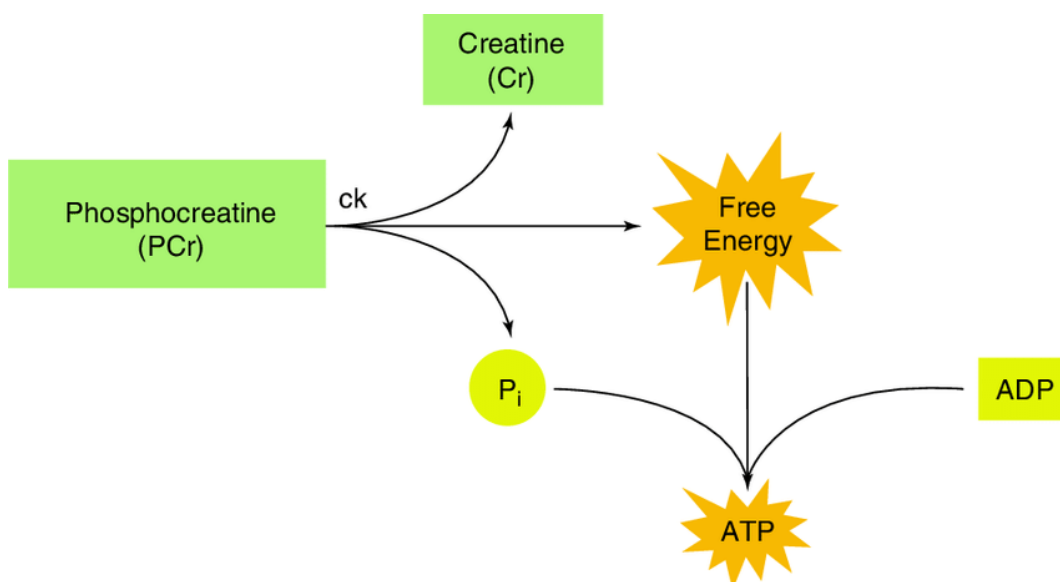


Figura 1:4

Va sottolineato il fatto che, dopo che la CP e ATP intramuscolari sono stati

consumati durante un'attività fisica ad alta intensità, non possono essere efficacemente ricostituiti finché l'intensità dello sforzo non sia diminuita, oppure durante il recupero dopo l'attività. La capacità di ricostituire l'ATP e CP intramuscolari durante il recupero è una considerazione importante per le attività sportive e di allenamento che implicano un'attività ripetuta ad alta intensità di breve durata, come ad esempio la pallacanestro, il calcio o, nel caso del nuoto, ci si riferisce a scatti di breve distanza (25 metri e inferiori). Dopo la realizzazione di un programma di allenamento, la capacità di eseguire un'attività fisica ad alta intensità di breve durata migliora, poiché viene potenziata la capacità del muscolo di ristabilire adeguati livelli di fosfogeno. Come nel caso di tutte le fonti energetiche, un aumento degli enzimi associati a quella via energetica, o un aumento del substrato disponibile potrebbe potenzialmente aumentare la produzione o la ricostituzione di ATP. Ci si può aspettare quindi, un aumento potenzialmente della performance nelle attività che si collegano propriamente al sistema ATP-CP che, pertanto, comprendono cambiamenti dell'enzima creatinchinasi e del contenuto intramuscolare di ATP e CP a riposo.

L'allenamento con pesi e l'allenamento tipo sprint hanno determinato sia aumenti significativi che nessun cambiamento delle concentrazioni di ATP e CP intramuscolare. Al contrario, la ricerca ha dimostrato con certezza che l'allenamento di resistenza (endurance) non ha nessun effetto significativo sulle concentrazioni di ATP e CP intramuscolari. Dopo 5 mesi di allenamento contro resistenza (pesi, sovraccarico), le concentrazioni intramuscolari a riposo di ATP e CP sono aumentate, rispettivamente del 22 % e del 18%, mentre la forza massimale è aumentata del 28%. In un altro studio, è stato mostrato che, dopo sei settimane di allenamento di tipo sprint, le concentrazioni a riposo di questi fosfogeni sono risultate invariate, sebbene si siano verificati miglioramenti nel tempo di sprint sui 40 metri e sulla capacità di ripetere lo sprint (tempo totale per sei sprint da 40 metri separati da 24 secondi) di circa il 2%.

Questi risultati dimostrano che un aumento delle prestazioni nell'attività ad alta intensità e di breve durata possono verificarsi con e senza un aumento significativo dell'ATP e CP intramuscolari. Questo può dipendere dal fatto che si verifichi o meno una deplezione dei fosfogeni durante queste attività (la deplezione completa

di ATP-Cp può non verificarsi nelle attività ad alta intensità che durano 30 secondi o meno).

Pertanto, aumenti del contenuto di ATP-CP intramuscolari a riposo possono non essere necessari per migliorare la prestazione ad alta intensità a breve termine.

1.3 Glicolisi

La glicolisi è costituita da una serie di reazioni enzimatiche che metabolizzano il glucosio. Questa via bioenergetica è funzionale per la produzione di energia nelle attività anaerobiche e aerobiche.

Il risultato della glicolisi è la produzione di ATP dalla scissione di glucosio, mediante una serie di 10 reazioni chimiche che hanno luogo nel sarcoplasma delle cellule muscolari. Il glucosio può essere ottenuto dal glucosio ematico, dai depositi intramuscolari di glicogeno.

Vi è sola una differenza tra la produzione di ATP dal glucosio e quella dal glicogeno. Se viene usato il glucosio, è necessario un ATP per una reazione che converte il glucosio in glucosio 6-fosfato (sostanzialmente viene aggiunto un gruppo fosfato: fosforilazione). Partendo invece dal glicogeno, non si necessita energia, dunque ATP, per scindere una molecola di glucosio dal resto della molecola di glicogeno; pertanto la molecola di glucosio proveniente dal glicogeno viene fosforilata da un Pi già presente, determinando la formazione del glucosio 6 fosfato.

LE TAPPE DELLA GLICOLISI

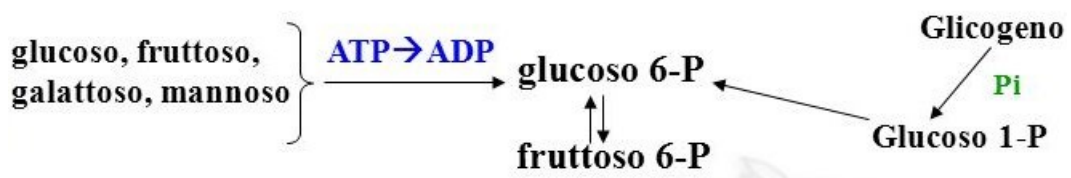


Figura 1: 5

Dopo la formazione di questa molecola (glucosio 6 fosfato), le rimanenti fasi della glicolisi sono identiche.

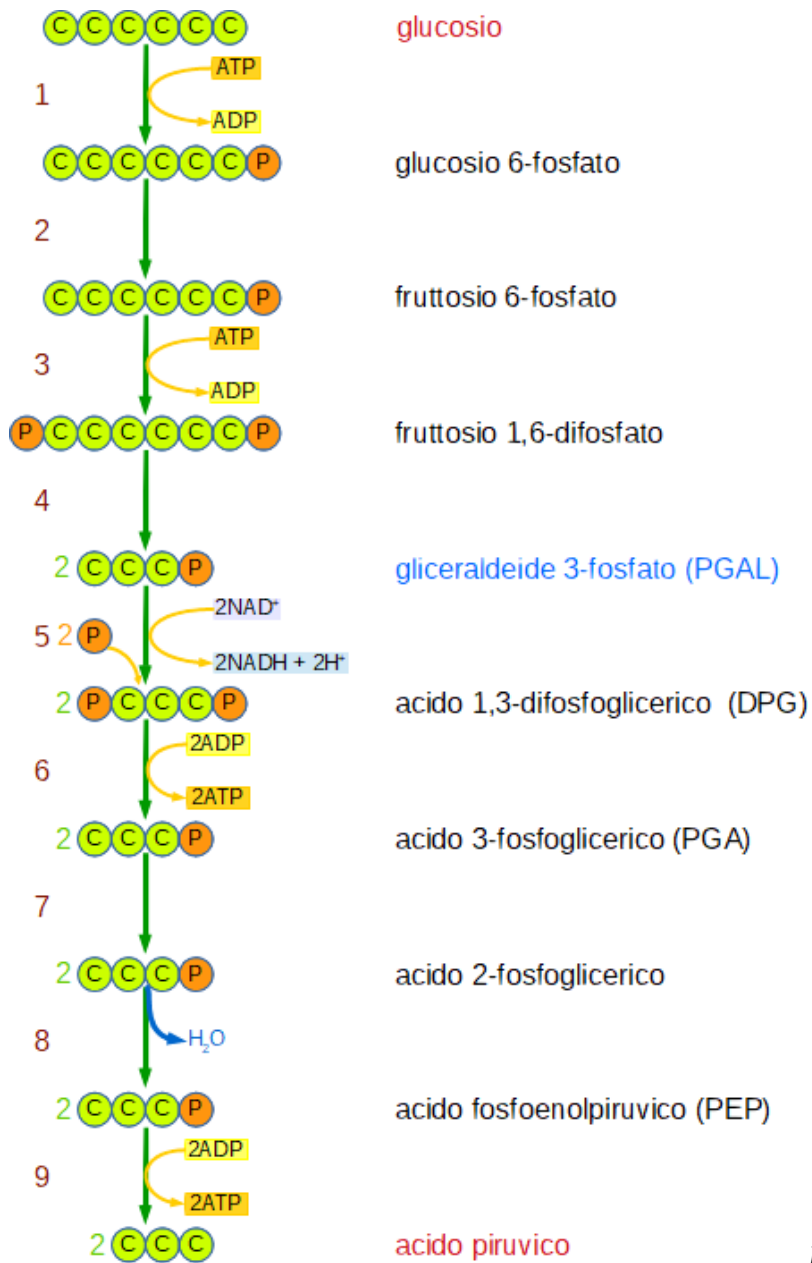


Figura 1: 6

Durante la glicolisi, il glucosio ematico o il glicogeno viene metabolizzato,

producendo piruvato. Il piruvato può alla fine entrare nel sistema bioenergetico aerobico o essere trasformato in lattato (rimane nel sistema anaerobico). Per ciascuna molecola di glucosio si verifica un aumento netto di ATP rispettivamente, di due molecole partendo direttamente dal glucosio e di tre molecole partendo dal glicogeno, attraverso le reazioni della glicolisi.

Le prime reazioni della glicolisi devono consumare ATP per procedere e le ultime reazioni producono ATP e idrogeno, che può essere utilizzato sia nel metabolismo aerobico per produrre ATP, sia per produrre lattato dall'acido piruvico nel sistema anaerobico. Il risultato netto sono due molecole di ATP se la glicolisi inizia col glucosio e tre molecole di ATP se invece la glicolisi parte da una molecola di glicogeno. L'idrogeno trasportato da NADH, una molecola trasportatrice di H⁺, (nicotinamide adenina dinucleotide idrogeno) alla fine porterà alla produzione da parte del metabolismo aerobico di ulteriori 2, 5 molecole di ATP, non incluse nel calcolo dell'ATP netto prodotto dalla glicolisi.

Come nel caso dell'ATP e della CP intramuscolari, gli adattamenti dell'allenamento si verificano negli enzimi della glicolisi e nel substrato disponibile, in questo caso, glicogeno intramuscolare. La capacità tampone per controbilanciare l'impatto negativo del lattato potrebbe anche aumentare la produzione di ATP dalla glicolisi e, pertanto, la prestazione. Se questi tipi di cambiamenti si verificano a causa dell'allenamento anaerobico o aerobico e se il cambiamento influenzerà positivamente la performance sembra dipendere da diversi fattori, tra cui il particolare enzima glicolitico esaminato, le specifiche (volume, intensità, durata) di un particolare programma di allenamento e la definizione del tipo di prestazione (sprint eseguito una sola volta, o ripetuti, sprint brevi, lunghi).

Gli enzimi frequentemente studiati nella via bioenergetica della glicolisi sono il glicogeno fosforilasi, la fosfofruttochinasi (PFK), la lattato deidrogenasi (LDH).

Si sono osservati aumenti dei livelli di questi enzimi in seguito all'allenamento con i pesi, allenamento con sprint e allenamento di resistenza.

Ad esempio, i programmi di allenamento che durano meno di dodici settimane in genere non sono riusciti a mostrare un aumento dell'attività della PFK, aumenti invece riscontrati dopo l'esecuzione di programmi di 5/6 mesi.

Risulta difficile determinare l'effetto di cambiamenti enzimatici nel muscolo a

causa dell'ipertrofia muscolare che potrebbe verificarsi in virtù dell'allenamento, in quanto l'allenamento con i pesi stimola un aumento volumetrico delle fibre muscolari che determina la riduzione dell'attività della PFK. Pertanto, dimostrare un aumento veritiero dell'attività enzimatica glicolitica risulta difficile per il fatto che può dipendere anche dalle caratteristiche specifiche del programma di allenamento eseguito (intensità, volume, durata e frequenza delle sedute). Riepilogando, anche se aumenti delle attività degli enzimi glicolitici potrebbero migliorare la prestazione, l'effetto di tali aumenti sulla performance non è chiaro e dipendono da numerosi fattori.

Per quanto riguarda il glicogeno, è largamente condiviso che l'allenamento di resistenza aumenti il glicogeno intramuscolare. Gli allenamenti con i pesi o allenamenti di sprint possono creare aumenti del glicogeno intramuscolare come anche nessun tipo di cambiamento; questo perché può dipendere da molteplici fattori, come la lunghezza del programma di allenamento e il tipo specifico di allenamento eseguito (ad es. sprint inferiori di 10 sec o sprint brevi e lunghi maggiori di 10 sec non determinano nessun tipo di cambiamento nel glicogeno intramuscolare, tuttavia, ripetizioni di sprint lunghi, maggiori di 10 sec, determinano un aumento del glicogeno intramuscolare, poiché la produzione glicolitica di ATP diventa più importante nella prestazione).

Un'altra modalità per aumentare la performance e il recupero dopo qualunque attività in cui l'acidità intramuscolare aumenta è la capacità di tamponare gli ioni idrogeno (H^+) prodotti. Il muscolo scheletrico possiede tamponi intracellulari, i più comuni sono le proteine e i gruppi fosfato, senza dimenticare il sistema tampone del bicarbonato di sodio (si lega con H^+ formando un acido più debole e riducendo l'acidità ematica).

Evidenze scientifiche dimostrano che le capacità tampone aumentano grazie ad allenamenti contro resistenza e allenamenti di tipo sprint, sebbene non tutti gli studi dimostrino un miglioramento significativo dell'effetto tampone. Pertanto, se le capacità tampone sono aumentate, la performance può essere potenziata in quanto è possibile produrre maggiore quantità di ATP prima che un aumento dell'acidità riduca la possibilità di esprimere la forza muscolare e la produzione di potenza.

Parlando invece di energia aerobica, essa prevale in attività a bassa intensità e di

lunga durata. Quanto più lunga è la durata dell'attività, tanto maggiore è il contributo di energia proveniente dal metabolismo aerobico. Questo tipo di stime fa presupporre che l'attività sia eseguita a un'intensità quasi massimale per tutta la durata. Questo significa che la stima dei contributi di energia anaerobica e aerobica per una corsa di 10 minuti presuppone che la corsa sia eseguita con l'intento di correre la maggiore distanza possibile in 10 minuti.

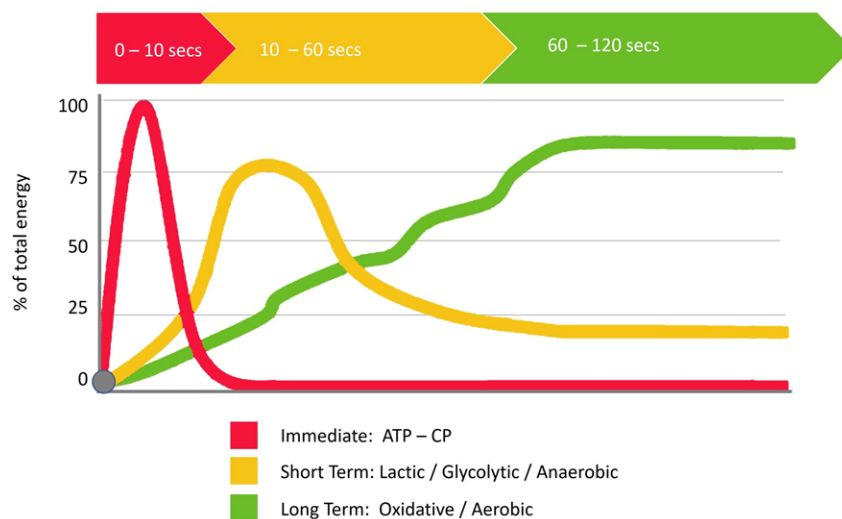


Figura 1: 7

Va sottolineato il fatto che, sebbene alcune attività traggono la maggior parte dell'ATP necessaria da una fonte particolare, vi è una notevole interazione tra le fonti di ATP in molte attività (le vie bioenergetiche non sono compartimenti stagni, bensì sistemi che interagiscono tra loro per raggiungere l'obiettivo prefissato tramite la massima efficienza). Un esempio che dimostra quanto detto è uno sprint ciclistico di 30 secondi. Si è potuto notare che il 38% dell'ATP richiesto dallo sprint fosse derivato dal sistema aerobico, il 45% dalla glicolisi lattacida, e il 17% dalla

via della Fosfocreatina (ATP-CP).

1.4 Metabolismo aerobico: carboidrati

La via metabolica aerobica (ossidativa) è il principale generatore di ATP in condizioni di riposo e durante l'esercizio a intensità da lieve a moderata. Tra le caratteristiche di questo tipo di sistema rientra la sua richiesta di una quantità adeguata di ossigeno, un tasso relativamente lento di produzione di ATP, ma anche la capacità di produrne grandi volumi. Grazie a queste caratteristiche, il metabolismo aerobico determina gran parte della prestazione nelle attività di resistenza come, ad esempio, la maratona.

Come riportato precedentemente è utile ribadire che quando un'attività persiste per oltre 30 secondi circa, per produrre ATP si deve fare affidamento sulla glicolisi o sul metabolismo non ossidativo. Il prodotto finale, della via glicolitica è il piruvato e il destino di questa sostanza dipende dalla quantità di ossigeno presente nella cellula. In caso di ossigeno inadeguato, il piruvato viene convertito in lattato (da qui il termine "anaerobico" per descrivere la scissione dei carboidrati). Ma nel caso in cui fosse presente un'adeguata quantità di ossigeno, il piruvato prodotto dalla glicolisi penetrerà invece nei mitocondri per partecipare al metabolismo aerobico ("Ciclo di Krebs", "Catena di trasporto degli elettroni") evitando così la produzione di acido lattico.

Pertanto il metabolismo aerobico presenta dei vantaggi evidenti:

- Evita l'instaurarsi di condizioni di maggiore acidità intracellulare (evita la

produzione di acido lattico)

- Genera un'elevata quantità di molecole di ATP dalla stessa molecola di glucosio. La quantità di ATP prodotto dal metabolismo aerobico è nettamente superiore rispetto alla quantità di ATP prodotto dal metabolismo anaerobico.
- Il sistema bioenergetico aerobico, rispetto a quello anaerobico, utilizza due fonti distinte per produrre energia; ovvero i carboidrati e i lipidi; a differenza del solo glucosio/glicogeno utilizzato dal metabolismo anaerobico.
- Mentre il metabolismo aerobico genera ATP, viene prodotto CO₂ (anidride carbonica) e acqua come “prodotti di scarto”. L'acqua generata, può essere utilizzata a vantaggio del corpo per le sue varie funzioni.

La produzione di ATP è ovviamente importantissima per le attività di resistenza in virtù del fatto che rende possibile la produzione di grandi quantità di ATP, senza generare prodotti associati alla crescita di fatica (acido lattico). Questa produzione aerobica ha luogo nei mitocondri e implica due sistemi enzimatici principali coinvolti. Il primo è il “Ciclo di Krebs” (ciclo dell'acido citrico), la cui funzione sta nel ossidare (ovvero, rimuovere H⁺ ed elettroni) a partire dai substrati e produrre ATP. I prodotti derivati dal metabolismo dei carboidrati, dei lipidi, e delle proteine possono tutti entrare nel ciclo di Krebs. In tale ciclo, gli atomi di H⁺ rimossi da tutti i substrati da molecole trasportatrici dell'idrogeno (NADH, FADH) sono trasportati all'altro sistema enzimatico principale: la “catena di trasporto degli elettroni”, detta anche ETC, ovvero Electron Transport Chain.

Le molecole NADH (nicotinammide adenina dinucleotide) e FADH (flavina adenina nucleotide) hanno la rilevante funzione di trasportare gli elettroni e gli H⁺ dal ciclo di Krebs al sistema ETC. L'azione svolta da questi trasportatori permetterà la produzione di molte molecole d'energia ATP. La produzione di ATP nel sistema di ETC è denominata “Fosforilazione Ossidativa”.

Il ciclo di Krebs, pertanto, parte dall'ultimo prodotto della glicolisi, il piruvato, che, convertito in acetil-coA entra nel ciclo producendo per ogni molecola di acetil-coA:

- Una molecola di ATP
- Due molecole di CO₂
- Tre molecole di FADH₂
- Una molecola di NADH

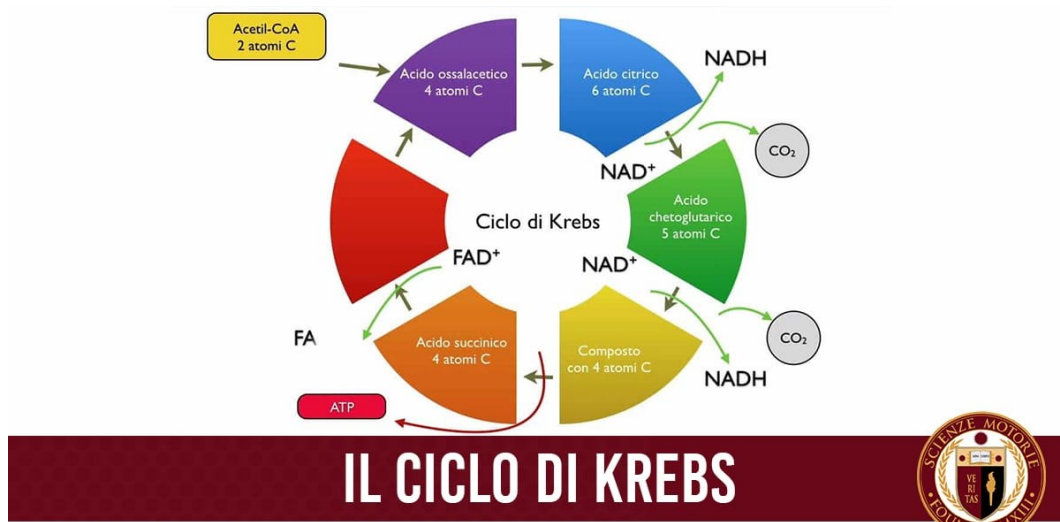


Figura 1: 8

Va ribadito che, sebbene non sia prettamente energetico, il ciclo dell'acido citrico prepara i trasportatori di elettroni alla fosforilazione ossidativa.

I trasportatori di H⁺ ed elettroni, NADH e FADH, portano dal ciclo di Krebs all'ETC queste molecole che determineranno la produzione di ATP. Nella catena di trasporto di elettroni avvengono due processi che riguardano gli elettroni e gli ioni idrogeno H⁺. Il primo processo coinvolge coppie di elettroni che passano da un citocromo all'altro rilasciando una quantità sufficiente di energia tale in tre punti all'ADP fosforilato, determinando la formazione di ATP. Tuttavia questo fatto non descrive completamente come viene in realtà prodotto l'ATP. I mitocondri hanno membrane esterne ed interne e compartimenti interni ed esterni. L'energia rilasciata quando, nell'ETC; gli elettroni passano da un citocromo all'altro è usata per pompare gli ioni idrogeno da un compartimento all'altro dei mitocondri (esterno ed interno nello spazio dell'intermembrana). Ciò determina un gradiente di concentrazione, con un numero maggiore di ioni idrogeno nel compartimento esterno. Questo gradiente di concentrazione è la fonte di energia per produrre ATP. Nella membrana interna si trovano tre pompe. Per ogni coppia di elettroni che si muovono lungo la ETC, ognuna delle tre pompe sposta gli elettroni dal

compartimento interno a quello esterno. Gli ioni idrogeno di NADH penetrano nella ETC prima della prima pompa, mentre gli elettroni trasportati da FADH₂ penetrano nella ETC dopo la prima pompa. Ciò fa sì che più elettroni vengono pompati dal compartimento interno a quello esterno, quando H⁺ è trasportato alla ETC da NADH. Questa differenza determina la capacità di produrre più ATP quando H⁺ è trasportato alla ETC da NADH rispetto a FADH₂ (1,5 ATP). Il gradiente di concentrazione degli ioni idrogeno produce un'energia potenziale che può essere usata per fosforilare ADP in ATP solo se gli H⁺ possono abbassare il loro gradiente di concentrazione dal compartimento interno a quello esterno.

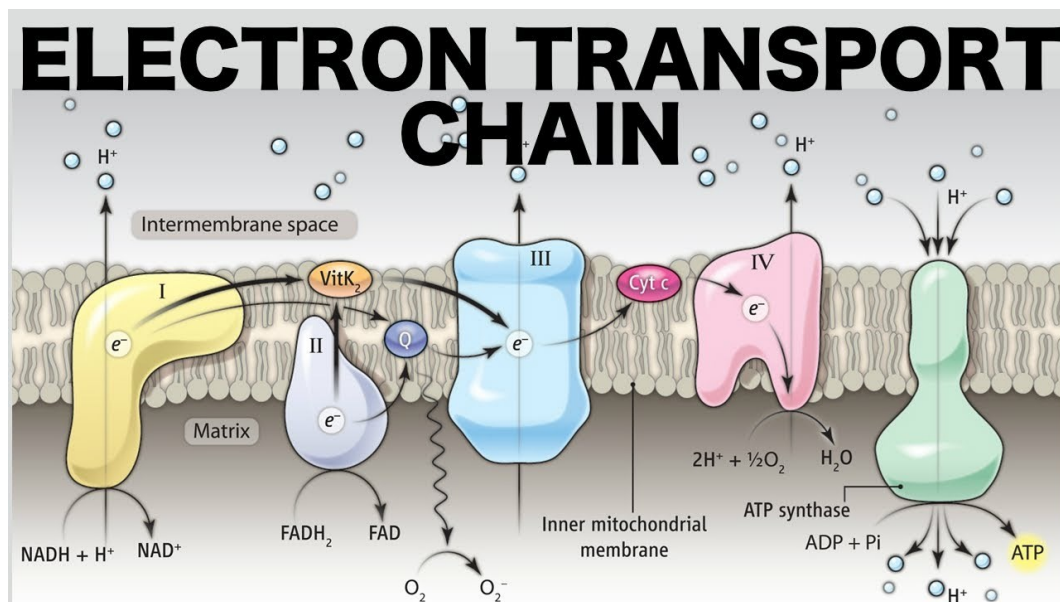


Figura 1: 9

In conclusione, la produzione totale di ATP derivante dall'ossidazione dei carboidrati dipende dalla quantità di ATP prodotta nella glicolisi, nel ciclo di Krebs e nella ETC. Riepilogando, la glicolisi determina la produzione di due ATP netti (tre se derivanti dal glicogeno), il ciclo di Krebs sempre due molecole di ATP per molecola di glucosio. Inoltre, la glicolisi, il ciclo di Krebs e la conversione di piruvato in acetil-coA producono ioni idrogeno H⁺ che vengono trasportati da NADH e FADH₂ alla ETC. Il risultato netto dell'ossidazione di glucosio e glicogeno è, rispettivamente, 32 e 33 molecole di ATP. Tuttavia, questi totali sono da considerare come stime in quanto vi possono essere leggere variazioni nella

produzione di ATP dovute al pompaggio di H⁺ nella ETC, al processo di sintesi di ATP e alla modalità in cui gli elettroni dell'idrogeno sono trasportati alla ETC.

GLICOLISI	ATP DERIVANTE DAL GLUCOSIO	ATP DERIVANTE DAL GLICOGENO
Fosforilazione del glucosio	-1	0
Fosforilazione del fruttosio-6-fosfato	-1	-1
Produzione in due fasi nella glicolisi	+4	+4
Due molecole di NADH alla catena di trasporto degli elettroni (ETC)	+5	+5
DA PIRUVATO AD ACETIL-COA		
Due molecole di NADH alla ETC	+5	+5
CICLO DI KREBS		
Produzione a partire dalla guanosina trifosfato	+2	+2
Sei molecole di NADH alla ETC	+15	+15
Due molecole di FADH ₂ alla ETC	+3	+3
Totale	+32	+33

TABELLA 3-1 L'adenosintrifosfato (ATP) totale formato a partire dai carboidrati durante il metabolismo aerobico^a
^a I calcoli ipotizzano 2,5 molecole di ATP per NADH e 1,5 molecole di ATP per FADH₂.

Figura 1: 10

1.5 Metabolismo aerobico: lipidi

Un'altra importante fonte di energia utilizzata dal sistema aerobico proviene dai lipidi, più esattamente dai trigliceridi (tre catene di acidi grassi legati da una molecola di glicerolo). La quantità di ATP prodotta dal metabolismo aerobico dei trigliceridi dipende in gran parte dalla lunghezza dei tre acidi grassi del composto lipidico e, se l'acido grasso sia saturo o insaturo (dipende se i legami sono singoli o doppi). Tuttavia, sia la porzione di acido grasso sia la porzione di glicerolo del trigliceride possono essere metabolizzati poiché due molecole di glicerolo possono essere trasformati dal fegato in glucosio per poi diventare piruvato ed entrare nel ciclo di Krebs e generare la stessa quantità di ATP derivante da una molecola di glucosio.

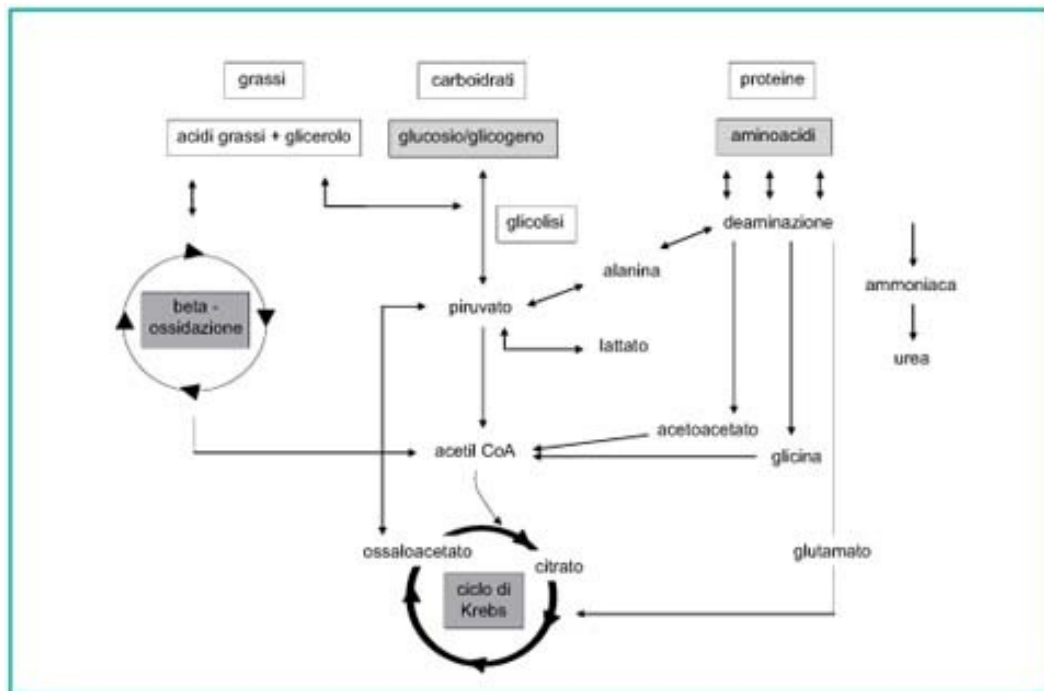


Figura 1: 11

La “Beta Ossidazione” è il processo durante il quale gli acidi grassi sono scomposti in molecole a due atomi di carbonio (acido acetico), che possono essere trasformate in acetil-coA ed entrare nel ciclo di Krebs. Come per la glicolisi, è necessario inizialmente l’utilizzo di due molecole di ATP per scomporre ogni acido grasso. Il numero di Acetil-coA che risulta da un acido grasso dipende dalla lunghezza della catena carboniosa dell’acido grasso. La produzione tipica di ATP da una tipica molecola di acido grasso a 16 atomi di carbonio è di 106 molecole di ATP (per una molecola di acido grasso di 18 atomi di carbonio, vengono prodotte 14 molecole di ATP ulteriori dato che può essere prodotta un’altra molecola di Acetil-coA, determinando un risultato netto di 120 molecole di ATP durante un ciclo di metabolismo aerobico completo).

PROCESSO METABOLICO		ATP
BETA OSSIDAZIONE		
Energia di attivazione per acido grasso		-2
Una molecola di NADH/acetil-CoA alla ETC		+2,5
Una molecola di FADH ₂ /acetil-CoA alla ETC (nessun NADH o FADH ₂ prodotti dall'ultimo acetil-CoA formato)		+1,5
ATP/acetil-CoA totali (ignorando l'energia di attivazione e l'ultimo acetil CoA formato)		+4
CICLO DI KREBS		
Una molecola di ATP/acetil-CoA		+1
Tre molecole di NADH/acetil-CoA alla ETC		+7,5
Una molecola di FADH ₂ /acetil-CoA alla ETC		+1,5
ATP totale/acetil-CoA		+10
ATP TOTALE/ACETIL-COA		
Beta ossidazione 4 ATP/acetil-CoA + ciclo di Krebs 10 ATP/acetil-CoA (ignorando l'energia di attivazione e l'ultimo acetil-CoA formato)		+14
ATP TOTALE FORMATO DA UNA MOLECOLA DI ACIDO GRASSO A 16 ATOMI DI CARBONIO		
Beta ossidazione e ciclo di Krebs per 7 molecole di acetil-CoA (7 x 14 ATP)		+98
Beta ossidazione e ciclo di Krebs per l'ultima molecola di acetil-CoA		+10
Energia di attivazione per acido grasso		-2
ATP TOTALE		+106
Nota: A destra di ciascun titolo vi è il numero di ATP netto per quella serie di reazioni. Il totale di 106 ATP è la somma delle ultime tre righe composite nella colonna destra.		

Figura 1: 12

In conclusione, si può pertanto affermare che i trigliceridi o gli acidi grassi, rispetto ai glucidi, determinano sostanzialmente una maggiore produzione di ATP durante un ciclo completo del sistema bioenergetico aerobico. Questo vantaggio dei lipidi è dovuto al fatto che dispongono di quantità maggiori di molecole di carbonio e idrogeno disponibili per il ciclo di Krebs e nella ETC per la produzione di ATP. L'impressionante quantità di energia nei trigliceridi è in parte quello che rende il deposito dei lipidi un buon modo per immagazzinare grandi quantità di energia.

Compreso il funzionamento del sistema aerobico, sorge spontanea una domanda, ovvero a quale intensità dell'attività fisica è metabolizzata la maggior parte dei lipidi?

Il metabolismo dei lipidi è massimizzato ad un'intensità media di circa il 64% del massimo consumo di ossigeno e di circa il 74% della massima frequenza cardiaca (ci possono essere scostamenti soggettivi maggiori o minori dal valore medio a seconda di vari fattori genetici ed ambientali). Al di sopra di questa intensità, il metabolismo dei lipidi diminuisce sostanzialmente e prevale il consumo dei glucidi. Va sottolineato il fatto che oltre a conoscere l'intensità adeguata per il consumo ottimale dei lipidi, è importante saper mantenere quell'intensità per una durata sufficiente a che si realizzi un impiego sostanziale dei lipidi. Pertanto, ciò che si deve tenere ben presente nello scegliere la corretta intensità di esercizio non è solo il tasso di energia ottenuta dal metabolismo dei lipidi, ma anche la durata per la quale quell'intensità, può essere mantenuta. Per la maggior parte delle persone, a meno che non siano ben condizionate aerobicamente, tale intensità si collocherà all'estremità inferiore delle zone di massima frequenza cardiaca e del massimo consumo di ossigeno presentate in precedenza. Va sottolineato il fatto che, per le maggior parte di attività aerobiche, c'è una vera e propria mescolanza di metabolismo lipidico e glicidico che fornisce la grande maggioranza di ATP necessaria per la fornitura di energia. La maggior parte delle molecole di ATP sono ottenute dal metabolismo dei carboidrati o dei trigliceridi, in base alla durata e all'intensità dell'attività fisica. A riposo, il 66% dell'ATP necessario proviene dai lipidi e il 33% dai carboidrati. Con l'aumentare dell'intensità dell'attività fisica, vi è un graduale spostamento, per la trasformazione dell'energia, dall'uso predominante dei trigliceridi all'uso dei carboidrati. Questo cambiamento permane fino all'intensità massimale dell'attività fisica, quando il 100% dell'energia necessaria per i muscoli in attività è fornito dal metabolismo dei carboidrati. Questo è dovuto al fatto le fonti anaerobiche richiedono l'uso esclusivo dei carboidrati per fornire energia alla massima intensità di sforzo. Inoltre, all'aumentare dell'intensità di sforzo fisico, prevale maggiormente il reclutamento di fibre muscolari a contrazione rapida o di II tipo. Questo tipo di fibre muscolare hanno un elevato livello di enzimi glicolitici e un basso livello di enzimi aerobici prediligendo pertanto un sistema anerobico per la produzione di ATP.

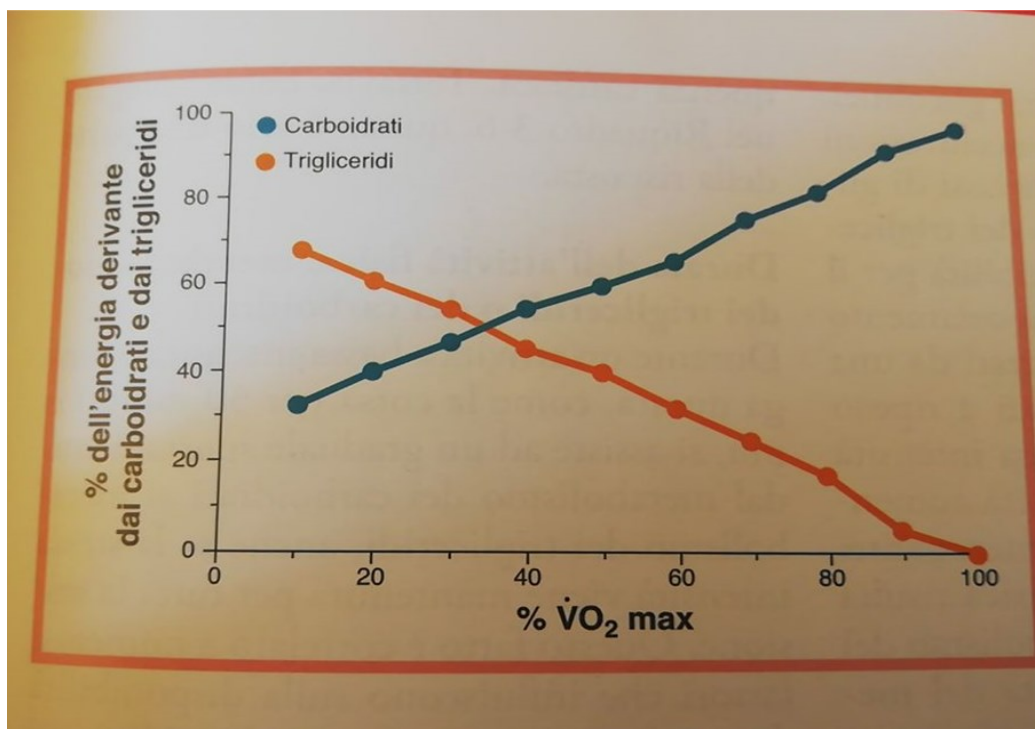


Figura 1: 13

2.0 IL CONSUMO ENERGETICO

Il consumo energetico è la quantità di energia metabolica spesa per coprire un'unità di distanza nel tempo. Il consumo energetico (C) è generalmente espresso in $\text{kJ} \times \text{km}^{-1}$, anche se spesso è più conveniente esprimerlo in kcal o in L di ossigeno. Queste unità possono essere facilmente trasformate poiché: il consumo di 1L di O_2 nel corpo umano produce circa 5 kcal (da 4.68 a 5.05 kcal, dipende dal quoziente respiratorio) e 1 kcal corrisponde a 4,186 kJ. Per comparare soggetti di diverse caratteristiche, è utile normalizzare il costo energetico di locomozione per alcuni soggetti di dimensioni corporee differenti (massa o superficie corporea).

Il prodotto tra il costo energetico (C) e la velocità (v) ci permette di ottenere il consumo di energia per unità di tempo, definito potenza metabolica (E).

$$\begin{array}{c}
 \text{ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1} \\
 \text{oppure} \\
 \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}
 \end{array}
 \leftarrow \text{CE} = \frac{\text{E} \dot{}}{\text{v}}$$

$\text{E} \dot{}$
 \swarrow
 litri O₂ · min⁻¹
oppure
 ml O₂ · kg⁻¹ · min⁻¹

v
 \searrow
 m · sec⁻¹
oppure
 Km · h⁻¹
oppure
 Km · min⁻¹

dove:
E = **POTENZA METABOLICA**: dispendio energetico per unità di tempo (V'O₂/min)*
v = **VELOCITA'**: m/sec, Km/h, km/min (1 m/sec = 3.6 Km/h)

Figura 2: 1

Dando uno sguardo ulteriore alla formula, si può notare che la velocità massima, v_{\max} è stabilita dal prodotto tra la massima potenza metabolica e il costo energetico al momento dello sforzo (il tutto applicato a sforzi massimali).

$$v_{\max} = \dot{E}_{\max} \cdot C^{-1}$$

Figura 2: 2

Gli atleti d'élite sono caratterizzati da valori piuttosto vicini alla potenza metabolica massima. Quindi, questa equazione dimostra che i diversi valori di v_{\max} ottenuti, sono dovuti ai diversi valori di C. In questa equazione, il termine E, sta per la massima potenza metabolica ottenuta dalle fonti di energia anaerobica ed aerobica. L'equazione, pertanto, diventa particolarmente utile ed interessante in condizioni in cui la fonte di energia è aerobica poiché la massima potenza metabolica è direttamente proporzionale al massimo consumo di O₂ (VO_{2max}). L'equazione pertanto può essere riscritta in questo modo:

$$v_{\text{aer}_{\text{max}}} = F \cdot \dot{V}O_{2\text{max}} \cdot C^{-1}$$

Figura 2: 3

La $V_{\text{aer}_{\text{max}}}$ sta per velocità massima aerobica, F è la frazione di $\dot{V}O_{2\text{max}}$ che può essere mantenuta nel tempo.

La F può arrivare a 1.0 (circa) in atleti ben allenati e può perdurare per circa 8/10 minuti di attività fisica e poi decresce in maniera sostanziale negli esercizi più prolungati (circa 0.80 per esercizi di 120/150 minuti).

Per quanto concerne il nuoto, il costo energetico per nuotare una distanza unitaria (C) è data dal rapporto E/v dove E è la potenza metabolica netta espressa dall'atleta e v sta per la velocità del nuotatore in acqua.

Secondo gli studi di Prampero e dei suoi collaboratori negli anni '70, il contributo delle fonti di energia aerobica e anaerobica E nelle competizioni del nuoto è indipendente dallo stile di nuoto, dal sesso o abilità e dipende essenzialmente dalla durata del esercizio. Il costo energetico C è essenzialmente determinato dalla resistenza idrodinamica (Drag): maggiore è il drag, maggiore è il C ; e dall'efficienza propulsiva (Pe): maggiore è Pe minore è C . Quindi, tutti i fattori che influenzano il drag e/o Pe risultano variazioni proporzionali in C . Massima potenza metabolica E_{max} e C sono i principali determinanti del nuoto prestazione; un miglioramento del tempo di prestazione migliore di un soggetto può essere ottenuto più facilmente con una riduzione di C piuttosto che da un (uguale) aumento di E_{max} (in uno dei suoi componenti, aerobici o anaerobici). Questi concetti hanno contribuito significativamente alle conoscenze moderne sull'energia del nuoto. Tuttavia, grazie alle ricerche scientifiche più attuali, si è riusciti a comprendere meglio quali siano i fattori intrinseci che influenzano maggiormente il costo energetico nel nuoto.

2.1 Misurazione del costo energetico

La misurazione del costo energetico nel nuoto può avvenire in tre diversi modi:

- unità MET** : l'equivalente metabolico, detto in maniera abbreviata "MET", corrisponde ai ml di O₂ consumati per kg di peso corporeo al minuto. Il MET, inizialmente, veniva utilizzato per individuare i parametri necessari per la determinazione del bilancio termico. Tra questi parametri vi è il carico di lavoro, espresso come Kcal/h (1Kcal/h = 1.163 Watt), che indica la potenza media erogata da un soggetto durante un'attività lavorativa, oppure il MET (1MET = 58,15 Watt/m²) che esprime invece la potenza totale media erogata da un soggetto durante un'attività lavorativa divisa per la superficie corporea dell'individuo. Per quanto riguarda l'attività fisica, il MET equivale a 3,5 ml/kg/min, che è il consumo medio di un soggetto a riposo, seduto. Le varie attività possono essere classificate in base alle rispettive richieste di ossigeno: per esempio l'attività di guidare un'auto implica l'utilizzo di 2 MET, ovvero l'individuo sta usando due volte il consumo metabolico a riposo. Per quanto riguarda il nuoto, così come la corsa o la bici, i MET utilizzati variano a seconda del tipo di intensità, di durata e di abilità tecniche del soggetto.

Level	Energy expenditure			
	kcal/min	ml/kg/min	W	METS
Men				
Light	2.0-4.9	6.1-15.2	28-69	1.6-3.9
Moderate	5.0-7.4	15.3-22.9	70-104	4.0-5.9
Heavy	7.5-9.9	23.0-30.6	105-139	6.0-7.9
Very heavy	10.0-12.4	30.7-38.3	140-174	8.0-9.9
Unduly heavy	12.5-	38.4-	175-	10.0-
Women				
Light	1.5-3.4	5.4-12.5	21-48	1.2-2.7
Moderate	3.5-5.4	12.6-19.8	49-76	2.8-4.3
Heavy	5.5-7.4	19.9-27.1	77-104	4.4-5.9
Very heavy	7.5-9.4	27.2-34.4	105-132	6.0-7.5
Unduly heavy	9.5-	34.5-	133-	7.6-

Note: ml/kg based on 65-kg man and 55-kg woman; one MET is equivalent to 250 ml O₂ per minute, or the average resting oxygen consumption.

Figura 2: 4

Swimming (pool) (km/h)		
2.0	4.3	75
2.5	6.8	119
3.0	8.9	156
3.5	11.5	201
4.0	13.6	238

Figura 2: 5

- Consumo di Ossigeno** : è espresso con ml/min. Tramite l'utilizzo di strumenti tecnologici applicati nel nuotatore, si riesce ad individuare il **quoziente respiratorio** (abbreviato in "QR" o "RER", *respiratory exchange ratio*), ovvero il fattore di misurazione diretta del costo energetico. Esso indica il rapporto tra l'anidride carbonica emessa (CO₂) e l'ossigeno inspirato (O₂). In base al valore ottenuto dal QR, si riesce a comprendere quale substrato energetico (carboidrati, lipidi e proteine) viene utilizzato maggiormente(nei carboidrati il QR = 1; nei lipidi il QR = 0,7).

Equivalenti calorici (kcal/litro di ossigeno) e percentuale di calorie totali fornite da carboidrati e grassi a seconda del diverso R non-proteico.

R	kcal/litro di O_2	Percentuale di calorie totali fornite da	
		Carboidrati	Grassi
0,707	4,686	0,0	100,0
0,71	4,690	1,02	98,98
0,72	4,702	4,44	95,6
0,73	4,714	7,85	92,2
0,74	4,727	11,3	88,7
0,75	4,739	14,7	85,3
0,76	4,751	18,1	81,9
0,77	4,764	21,5	78,5
0,78	4,776	24,9	75,1
0,79	4,788	28,3	71,7
0,80	4,801	31,7	68,3
0,81	4,813	35,2	64,8
0,82	4,825	38,6	61,4
0,83	4,838	42,0	58,0
0,84	4,850	45,4	54,6
0,85	4,862	48,8	51,2
0,86	4,875	52,2	47,8
0,87	4,887	55,6	44,4
0,88	4,899	59,0	41,0
0,89	4,911	62,5	37,5
0,90	4,924	65,9	34,1
0,91	4,936	69,3	30,7
0,92	4,948	72,7	27,3
0,93	4,961	76,1	23,9
0,94	4,973	79,5	20,5
0,95	4,985	82,9	17,1
0,96	4,998	86,3	13,7
0,97	5,010	89,8	10,2
0,98	5,022	93,2	6,83
0,99	5,035	96,6	3,41
1,00	5,047	100,0	0,00

(Da: Lusk G. *Science of Nutrition*, 4^a ed. Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1926, pag. 65).

Figura 2: 6

Ad esempio, in una persona che segue una dieta mista, il QR è di 0,8 a riposo. Questo indica che si sono bruciati principalmente grassi e una piccola parte di carboidrati. Nel nuoto, e durante le attività fisiche, all'aumentare dell'intensità dello sforzo, prevale il consumo dei carboidrati e diminuisce quello dei grassi fino al punto in cui i carboidrati saranno il carburante preferenziale (oltre il 70% del $VO_2\max$).

Il QR, pertanto, permette di risalire alla quantità di Kcal consumate e dunque al nostro costo energetico C e, in base all'intensità dello sforzo, si comprende quale

substrato energetico viene maggiormente utilizzato.

- Consumo Energetico** : ha come unità di misura kcal/min. Questa misurazione è di tipo indiretto, difatti si basa sulla **frequenza cardiaca**. La FC, essendo non invasiva e più economica di altri tipi di misurazione, è la tecnica più utilizzata per verificare non solo il costo energetico, bensì per valutare il livello di intensità dello sforzo e il tipo di metabolismo utilizzato. La FC viene considerata una misura indiretta in quanto rappresenta la risposta metabolica che il nostro organismo dà in relazione ad un carico esterno o uno stimolo e determina una risposta adattiva altamente specifica. Le ricerche degli ultimi anni hanno dimostrato che la FC abbia un valore massimo che non può essere superato, né con l'aumento dell'intensità dell'esercizio né tramite adattamenti indotti dall'allenamento. L'aumento della FC viene assunto come specchio dell'aumento del *cardiac output* e la massima frequenza cardiaca è interpretata come il tetto massimo per l'aumento della funzione cardiovascolare centrale.

%VO ₂ max	%FC _{max}	Substrato energetico principalmente utilizzato	Finalità dell'allenamento
35	50	lipidi	dimagrimento
48	60	lipidi	dimagrimento
60	70	glucidi lipidi	potenza aerobica
73	80	glucidi	massima potenza aerobica
86	90	glucidi	potenza anaerobica lattacida
100	100	creatina fosfato	potenza anaerobica alattacida

Figura 2: 7

La formula più diffusa per calcolare la FC_{max} è quella attribuita a Cooper che applica la percentuale di lavoro desiderato direttamente alla FC_{max} (per esempio, la FC_{max} di un uomo di 20 anni corrisponde al $220-20 = 200$ b/min; il 70% di 200 b/min = 140 b/min).

Quindi un individuo di 20 anni dovrà lavorare a 140 b/min se ricerca il 70% della FC_{max} . Il metodo di calcolo di Karvonen, che tiene conto della frequenza cardiaca a riposo (FC_{rip}), si ritiene essere più attendibile e più preciso; oltretutto va sottolineato il fatto che questo calcolo è verosimilmente legato al VO_2 . La formula pertanto è: FCT (frequenza cardiaca di Lavoro) = $(FC_{max} - FC_{rip}) \times \% \text{ desiderata} + FC_{rip}$. In conclusione, la frequenza cardiaca risulta lo strumento più accessibile per misurare il costo energetico, sebbene la misurazione non sia totalmente precisa.

In ultima analisi, si può pertanto affermare che la misura diretta, ovvero l'analisi del consumo di ossigeno risulta essere la misurazione più precisa e puntuale. Il costo per la strumentazione e la scomodità durante la misurazione sono gli aspetti difficoltosi e svantaggiosi di questa misura. La Frequenza Cardiaca, invece, presenta le caratteristiche opposte in quanto è lo strumento indiretto più economico ed accessibile, sebbene, come riportato precedentemente, la misura non è precisa e puntuale. Per quanto riguarda il MET, va detto che questi valori permettono di classificare rapidamente l'intensità dell'attività fisica e la corrispondente richiesta energetica. D'altro canto va precisato che l'equivalente metabolico è una stima, non una misura reale specifica per un determinato individuo, inoltre esso è standardizzato su le caratteristiche antropometriche di un uomo di 65 kg e una donna di 55 kg.

2.2 Fattori influenzanti il costo energetico

Il costo energetico C nel nuoto è determinato da alcuni fattori intrinseci che ne modificano la prestazione.

- **Sesso/Genere:** nella letteratura è sempre stato sottolineato il fatto che le donne consumino meno energia degli uomini in acqua. Difatti, nei nuotatori agonisti il C nel crawl alla v di 0.9 m/s^{-1} è approssimativamente del 30% più

basso nelle donne rispetto agli uomini. Per quanto riguarda il dorso, Klentrou e Monpetit trovarono delle differenze del 14% nel costo energetico a vantaggio delle donne rispetto agli uomini in tutte le velocità analizzate. Lo studio scientifico di Pendergast ha confermato queste differenze di consumo energetico tra i sessi inserendo nei calcoli anche l'area di superficie corporea (BSA: body surface area). Tuttavia, altri studi hanno dimostrato che le differenze fra i diversi generi scomparivano con il calcolo della BSA. Questa differenza tra uomo e donna nel nuoto, può essere spiegata dalla diversa densità corporea e dalle caratteristiche antropometriche. Le donne, generalmente presentano maggiore concentrazione di massa grassa rispetto agli uomini; il tessuto lipidico essendo meno denso dell'acqua, tende a galleggiare, mentre le ossa così come il tessuto muscolare (quest'ultimo è solitamente presente in maggiori concentrazioni negli uomini) sono più densi dell' H_2O e, dunque tendono ad andare a fondo.

Inoltre le caratteristiche antropometriche, come la lunghezza del tronco e la distanza di esso dai piedi, è un fattore vantaggioso per le donne poiché il busto tende a galleggiare mentre gli arti inferiori tendono ad affondare. Si crea, perciò una forza rotazionale ("torque") data dal prodotto del peso dei piedi immersi nell'acqua e dalla distanza dei piedi dal centro del volume dei polmoni. Questo fattore antropometrico è un altro aspetto che avvantaggia le donne rispetto agli uomini. Le donne, dunque, necessitano meno energia per mantenere il corpo orizzontale in acqua e questo aspetto riduce significativamente il drag. Pendergast, riguardo questo concetto, sostiene che le donne hanno un costo energetico del 30% minore rispetto agli uomini proprio perché contrastano meno drag, hanno meno resistenza in acqua. Altri studi, come quelli di Monpetit, Chatard e Kjendlie, invece hanno dimostrato che il consumo energetico per nuotare a diverse velocità è strettamente correlato alla dimensione dei nuotatori (pertanto, secondo questi scienziati l'area di superficie corporea, BSA, influisce il consumo energetico C). Questi fattori a vantaggio della donna, pertanto, oltre che essere considerati singolarmente, vanno messi in relazione con la resistenza in H_2O , ovvero il drag.

- **Effetto dell'Età:** i cambiamenti che si verificano dall'infanzia all'adolescenza sono importanti poiché determinano cambiamenti nelle caratteristiche non solo morfologiche e fisiologiche, ma anche nelle capacità meccaniche. I bambini tendono ad galleggiare meglio rispetto agli adulti in quanto dimostrano un "torque" passivo minore, soprattutto per il fatto che la distanza tra il centro di massa e il centro di galleggiamento sono minori nel bimbo essendo i punti i quali interferiscono nella posizione in acqua dell'individuo. Si pensa che è proprio il "torque" passivo il fattore che determina il consumo energetico C , indipendentemente dal genere o dalle abilità del nuotatore. Questo si pensa che sia dovuto al fatto che il "torque" sia strettamente correlato con il drag attivo (la resistenza che si crea in H_2O mentre nuoto, dunque in movimento), specialmente a velocità superiori del $1,2 \text{ m/sec}^{-1}$.

Alcuni studi hanno messo a confronto nuotatori con prestazioni analoghe di 11-12 anni e adolescenti di 14 anni e hanno valutato il costo energetico C . I risultati hanno dimostrato che i valori di C nei nuotatori di 11-12 anni sono più bassi rispetto ai nuotatori adolescenti (14 anni). Inoltre, si è potuto notare che il costo energetico C tra nuotatori di 14 anni e nuotatori adulti risulta analogo.

Questa evidenza scientifica viene ribaltata se il costo energetico C viene messo in relazione con l'area di superficie corporea (BSA). Difatti, i risultati si invertono, indicando che i bambini e gli adolescenti hanno valori simili tra loro e comunque superiori rispetto agli adulti. In aggiunta, quando il C è in relazione con l'altezza del soggetto (H), non ci sono differenti costi energetici tra bimbi e adolescenti. Se invece, si analizza il rapporto tra la massa corporea di un nuotatore (M) e la distanza tra il centro di massa e il centro di galleggiamento si scopre esserci una correlazione con il consumo energetico (le dimensioni del nuotatore non vengono analizzate). In altre parole, quando si analizza un gruppo di individui, i soggetti che presentano una peso maggiore (M) hanno un costo energetico C maggiore. Questo è dovuto dal fatto che ci sia un'alta correlazione tra la massa corporea, il torque con il drag. Pertanto, il ricercatore Kjendlie suggerisce che la similarità di C tra adulti e bambini è determinata da una tecnica migliore dell'adulto (bracciata più lunga e maggiore

superficie di propulsione) e da una minore resistenza in acqua dei bambini (massa M più leggera e “torque” minore).

Un altro ricercatore, Poujade ha riscontrato che il C non era correlato a diverse variabili, come il galleggiamento e l'antropometria nei bambini (H , M e BSA). Questi risultati contrastano con studi simili condotti su adulti in cui la massa M , e l'altezza H erano correlati con il costo energetico C .

In conclusione, per una popolazione specifica come quella dei bambini, sembra che l'abilità tecnica, la maturazione, il metabolismo energetico e il “torque” passivo sembrano essere i fattori principali del costo energetico C .

- **Livello di prestazione e effetti della specializzazione:** Il costo energetico, ad una velocità determinata, è significativamente variabile da un nuotatore ad un altro. Queste differenze di C , dipendono specialmente dall'abilità tecnica. Il ricercatore Chatard ha esaminato 101 nuotatori e divisi in 3 gruppi con diverse performance. L'autore ha osservato che quanto maggiore fosse la dimensione del nuotatore, tanto migliore fosse il livello di prestazione. Detto questo, il gruppo con la maggiore dimensione e con le migliori prestazioni ha reso difficile l'analisi del livello tecnico sul costo energetico. Tuttavia, quando il C era messo in relazione con l'area di superficie corporea (BSA), la differenza tra i gruppi si è verificata dimostrando che i nuotatori con maggiori abilità tecniche hanno una minore area di superficie corporea (BSA) per la stessa velocità (Un simile risultato è stato ottenuto sempre da Chatard con 58 nuotatrici femmine).

Dato che il costo energetico C aumenta con la BSA a parità di abilità tecnica, gli individui più alti sono svantaggiati nelle gare di lunga distanza. Pertanto, i migliori nuotatori di lunga distanza sono più bassi e più leggeri, secondo Lavoie e Montpetit, mentre nelle gare di velocità i nuotatori più alti con una maggiore massa muscolare possono nuotare più velocemente, grazie alla loro grande quantità di energia espressa in un breve periodo di tempo.

Lo scienziato Chatard ha dimostrato col suo studio che per nuotare a una determinata velocità, i nuotatori di lunghe distanze utilizzano in media due colpi di

gambe per ogni ciclo di bracciata, mentre i velocisti utilizzano in media sei colpi di gambe per ogni ciclo di bracciata. I nuotatori che hanno utilizzato un numero inferiore di calci delle gambe per ciclo di bracciata esprimono un consumo energetico minore rispetto ai nuotatori che hanno usato un numero maggiore di gambate per ciclo di bracciate. Holmer e Hollander hanno dimostrato che i calci di gambe sono dai 3 a 4 volte meno efficienti delle bracciate. I colpi di gambe richiedono un consumo di ossigeno proporzionalmente maggiore rispetto alle bracciate, oltre che a contribuire poco per la propulsione. Questi risultati non concludono il fatto che i nuotatori i quali sfruttano maggiormente la bracciata sono più veloci di quelli che usano maggiormente i colpi di gambe. Al contrario, i nuotatori che usufruiscono maggiormente dei colpi di gambe possono nuotare più velocemente dei nuotatori che usano maggiormente le braccia se hanno una grande potenza aerobica e anaerobica. Tuttavia, è bene ricordare che un'elevata potenza aerobica e un'alta efficienza non sono necessariamente correlate.

- **Effetti del livello delle abilità tecniche:** La tecnica di nuotata è un fattore determinante in quanto influisce sul drag e soprattutto sul consumo energetico C. Alcuni studi hanno osservato che negli ultimi decenni sono apparse delle alterazioni nelle caratteristiche antropometriche dei nuotatori e nelle loro performance. Dal 1964 al 1992, i dati hanno dimostrato che i nuotatori olimpici hanno incrementato la loro altezza senza un aumento corrispondente del loro peso. Sebbene alcune variabili antropometriche non possono determinare una performance, le braccia, le mani, le gambe e i piedi influenzano la lunghezza di bracciata (arm-stroke length, Asl), e la frequenza di bracciata (arm-stroke frequency, Asf), componenti determinanti che il nuotatore combina per raggiungere la massima velocità. Il ricercatore Craig analizzò nel 1984 nuotatori olimpici e osservò che le alterazioni della Asl e Asf (lunghezza e frequenza di bracciata) furono associate a migliori tempi di prestazione rispetto alle olimpiadi del '76. Le

più alte velocità vennero raggiunte con più alte Asl, lunghezza di bracciate, e con più basse o uguali Asf, frequenza di bracciate. Secondo alcuni autori, la lunghezza di bracciata, Asl è un indice che riflette sull'efficienza di propulsione (Pe , capacità di modificare il lavoro meccanico in dislocazione). Dunque, più la lunghezza di bracciata risulta ampia, più l'efficienza di propulsione, Pe , è maggiore.

Diversi studi hanno dimostrato che l'aumento di velocità (da 1 m/s^{-1} a $1,7/1,8 \text{ m/s}^{-1}$) è ottenuto principalmente dalla frequenza di bracciata, Asf, mentre la lunghezza di bracciata rimane inalterata. Inoltre è importante sottolineare che l'alterazione del consumo energetico C non viene attribuito alla variazione dell'efficienza di propulsione, Pe . Più specificatamente, l'aumento di C aumenta con l'incremento del drag, il quale incrementa assieme alla velocità. Oltre queste velocità ($1,8 \text{ m/s}^{-1}$), un aumento aggiuntivo della frequenza di bracciate, Asf, è seguito da un decremento della lunghezza di bracciate, Asl. In questo caso, l'innalzamento di C è dovuto dall'associazione del decremento di Pe (efficienza di propulsione) e l'aumento del drag. Inoltre, la contrazione di muscoli di non propulsione e l'uso delle gambe contribuiscono all'aumento di C . Dal momento in cui la lunghezza di bracciata, Asl, è un indice dell'efficienza di propulsione Pe , il peggioramento tecnico della bracciata nei soggetti affaticati, potrebbe portare ad un innalzamento progressivo di C . Recentemente, lo scienziato ricercatore Zamparo ha dimostrato che, dopo 2 km di test in acqua, il consumo energetico e la frequenza di bracciata Asf, aumentano, mentre la lunghezza di bracciata, Asl, decresce. Questo risultato è dovuto dal fatto che la fatica, dopo 2 km di nuoto, aumenta significativamente. Craig ha osservato che per gli allenamenti di 200 m o maggiori di 200 m, la lunghezza di bracciata Asl, tende a diminuire con lo sviluppo dell'affaticamento. Secondo gli autori, i nuotatori di grandi prestazioni possono compensare la diminuzione della lunghezza di bracciata mantenendo o aumentando la frequenza di bracciata, Asf, con lo scopo di mantenere costante la velocità. Una ricerca durata diversi mesi ha osservato gli effetti degli allenamenti nel nuoto e ha dimostrato che, un aumento della lunghezza della bracciata (Asl) porta ad un abbassamento del costo energetico (C) per una determinata velocità. Gli autori Termin e Pendergast hanno osservato che un miglioramento della prestazione nei 100 e 200

m con gli allenamenti, era correlato al decremento del 20% del consumo energetico e un miglioramento del 16% della Asl, la lunghezza della bracciata. Risultati analoghi sono stati ottenuti nelle ricerche di Wakayoshi. In tali esami i nuotatori hanno raggiunto grandi lunghezze di bracciata, Asl, a una determinata velocità, con un costo energetico ridotto. Il ricercatore Toussaint ha condotto un'interessante ricerca scientifica nella quale analizza le abilità tecniche correlate con l'efficienza di propulsione P_e . Lo studio comparava due gruppi (primo gruppo di triatleti e atleti endurance, secondo gruppo di nuotatori) con lo stesso livello del costo energetico C (potenza metabolica di 1000 Watt o un VO_2 di 2,86 L/min). La ricerca ha rivelato che, con lo stesso VO_2 (che in questo caso corrisponde al costo energetico C), i triatleti/atleti endurance hanno nuotato alla v di 0,95 m/sec, mentre i nuotatori ad una v di 1,17 m/sec (23% più veloci). Questa grande differenza tra i due gruppi non era data dalla frequenza di bracciata, Asf, bensì dalla lunghezza della bracciata, Asl (1,84 m per gli atleti endurance/triatleti e 2,46 m i nuotatori) e dal ridotto costo energetico (nuotatori 0,85 kJ/m; triatleti 1,05 kJ/m). La Asl più lunga e il ridotto C espressi nei nuotatori, sono attribuiti all'efficienza di propulsione, P_e ; 44% nei triatleti e 61% nei nuotatori. In altre parole, i nuotatori hanno usato il 61% del lavoro della bracciata per vincere la resistenza dell'acqua, mentre solo il 39% del lavoro è stato convertito in energia cinetica durante la bracciata. Pertanto, i nuotatori hanno una più lunga Asl rispetto ai triatleti. Quest'ultimi sprecano il 56% della energia disponibile per spostare l'acqua con la bracciata.

Questi dati ci permettono di comprendere meglio ed enfatizzare l'importanza della tecnica di nuotata sia per migliorare l'efficienza di propulsione sia per migliorare la prestazione in H_2O .

Un altro ricercatore, Chatard, ha osservato che la lunghezza delle braccia e delle mani unite, influenza il C. Per una determinata altezza, più la lunghezza delle braccia è maggiore, minore è il C (una variazione di 4 cm corrisponde ad un guadagno del 12% nel C). Tale evidenza è supportata dalle ricerche di Grinston e Hay nelle quali hanno osservato che i nuotatori di alto livello avevano una superficie di mani e braccia più ampie rispetto a nuotatori di livello inferiore. Recentemente, è stato constatato che l'utilizzo di pinne riduce del 10% il C, questo per il fatto che le pinne, oltre che a ridurre la frequenza di gambata, migliorano il

Pe degli arti inferiori e riducono la Asf negli arti superiori. L'effetto delle azioni delle gambe per aumentare la forza propulsiva è stato suggerito da numerosi autori, tra cui Deschodt, il quale ha dimostrato che le gambate (mentre si nuota) permettono un aumento del 10% della massima velocità in uno sprint di 25 m (comparato con le sole braccia), oltre ad influenzare direttamente la cinematica della bracciata, modificando, pertanto, la traiettoria del polso ed aumentando la Asl.

In conclusione i fattori più importanti che influenzano il consumo energetico in acqua sono il sesso, l'età, il livello di abilità tecnica e lo stile di nuoto (quest'ultimo argomento sarà trattato più avanti). Le donne presentano un CE minore, tuttavia questa differenza scompare se corretta in base alla dimensione corporea. Il CE più alto presentato dai bambini sembra essere correlato dal basso livello di tecnica e da caratteristiche morfologiche e fisiologiche, nonché da capacità meccaniche non ancora del tutto sviluppate. Per individui di analoghi parametri antropometrici, una migliore tecnica e una migliore superficie propulsione sembrano contribuire sul CE. La comprensione delle interazioni tra questi fattori permette di capire meglio tutti gli aspetti che concernono il mondo del nuoto e approfondire la valutazione e le programmazioni di allenamento di questo sport.

In ultima analisi il costo energetico è un aspetto fondamentale ed influenzante nel mondo del nuoto. Il prossimo capitolo intende trattare il conoscimento e l'analisi dei diversi stili del nuoto (Crawl, Dorso, Rana e Delfino) ed comprendere come il costo energetico incida e sia correlato con essi.

3.0 Costo Energetico nei quattro stili di nuotata

Il costo energetico è un valore importante in quanto può indicare le varie differenze tecniche, cinetiche e cinematiche che ci sono nei vari stili, nonché l'efficienza propulsiva, la velocità e la coordinazione sviluppata nella nuotata.

Ci sono stati vari studi e ricerche negli anni riguardanti il costo energetico nei vari stili. Il ricercatore Barbosa nel 2009 ha analizzato 18 nuotatori specializzati nei quattro stili in prove di 200 metri ripetuti. Le misurazioni hanno evidenziato che nel dorso, nella rana e nel delfino la frequenza di bracciata (stroke frequency) aumenta all'aumentare del costo energetico (CE), con v costante. L'aumento della lunghezza di bracciata (stroke length) invece, migliorava il CE solo nella rana. Una correlazione proporzionalmente diretta osservata era tra la frequenza di bracciata e la velocità che aumenta in tutti gli stili, mentre il rapporto di proporzionalità diretta tra v e la lunghezza di bracciata è stata significativo solo nel crawl e nel delfino. Lo studio in ultima analisi osserva che, come riportato precedentemente, la lunghezza e la frequenza di bracciate sono dei fattori importanti e significativi in quanto alterano il consumo energetico per una determinata velocità.

Lo studio di Capelli ha permesso di confrontare i diversi stili di nuotata con il loro consumo energetico. La ricerca si basava sulla performance sub-massimale di 20 nuotatori d'élite che venivano testati più volte nei vari stili di nuotata (e nelle varie distanze dai 50 ai 400 metri) durante i mesi delle prove.

Le tabelle riportate sotto illustrano graficamente i risultati dei vari test:

TABLE 1
Values of the swimming cost ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-1}$) in the different styles
calculated from the equations described in figure 1

Velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Breaststroke ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-1}$)	Butterfly ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-1}$)	Backstroke ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-1}$)	Crawl ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-1}$)
0,8	1,08	1,00	0,69	0,70
0,9	1,18	0,96	0,76	0,74
1,0	1,29	0,95	0,84	0,79
1,1	1,39	0,99	0,93	0,84
1,2	1,50	1,06	1,03	0,91
1,3	1,60	1,16	1,13	0,98
1,4	1,71	1,30	1,25	1,07
1,5	1,81	1,48	1,38	1,18
1,6	1,91	1,70	1,52	1,30
1,7	2,02	1,95	1,68	1,45

Figura 3: 1

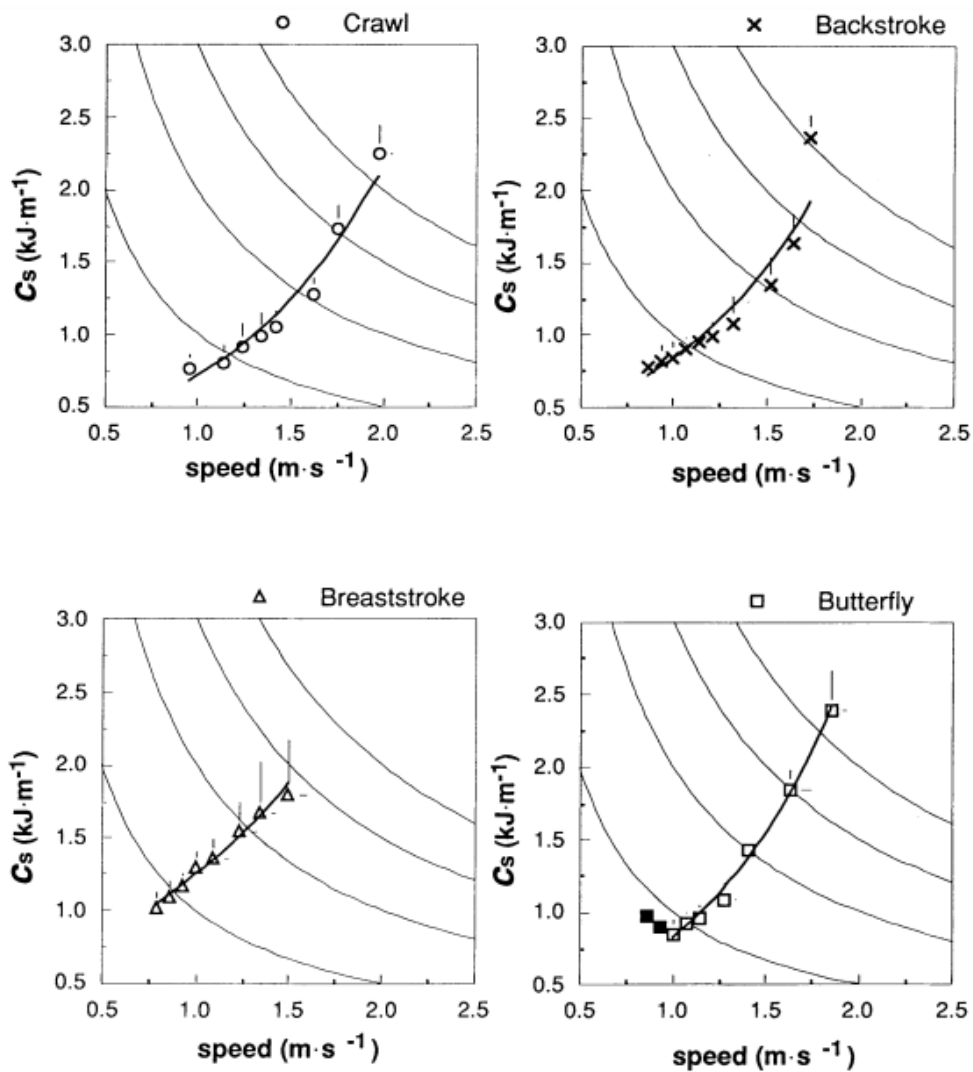


Figura 3: 2

Il costo energetico nei diversi stili di nuotata è dimostrato nella figura 3.1 e 3.2. Attraverso regressioni lineari e non lineari è stato possibile generare specifiche relazioni tra il CE e la V per ogni stile di nuotata. Per il crawl e il dorso ad esempio, si può osservare un incremento esponenziale tra il CE e la velocità di avanzamento. Mentre per quanto riguarda la rana, l'aumento è lineare. Nel delfino invece, l'incremento del costo energetico presenta caratteristiche peculiari che verranno analizzate più avanti.

Come si può osservare dai grafici pertanto, lo stile più economico risulta il crawl, seguito dal dorso in qualsiasi velocità. Il delfino invece, risulta lo stile meno economico eseguito a basse velocità (minori di $0,8 \text{ m/s}$). Tuttavia, al di sopra di

queste velocità la rana diventa lo stile più lento. Questi dati erano differenti rispetto a quelli riportati dal ricercatore Hölmer il quale affermava che il delfino risultasse lo stile con il costo energetico più alto in tutte le velocità analizzate. Tale differenza si pensa che provenga da variazioni nelle dimensioni corporee, dal livello prestazionale degli atleti e dalle equazioni generate dai diversi studi. Gli alti valori del costo energetico del delfino a velocità inferiori di 0,8 m/s potrebbero essere causati dalla grande richiesta di energia atta a contrastare la tendenza del corpo a sprofondare durante il movimento ondulatorio del corpo (movimento cosiddetto del “verme” o del “lombrico” necessario per costruire la nuotata a delfino che sarà spiegato in maniera più approfondita successivamente). Questo movimento ondulatorio a basse velocità non viene contrastato (e bilanciato) da una adeguata forza di sostegno in questo tipo di bracciata simmetrica. All’incrementare della velocità, la forza di sostegno aumenta così come il contributo relativo di alcune forze di energia di dissipazione, portando così ad un decremento del costo energetico.

Nello stile della rana, un altro stile simmetrico e simultaneo, risulta esserci una grande variazione di velocità tra i cicli di movimento. L’atleta dunque, cerca di compensare il rallentamento presente durante la fase non propulsiva del ciclo di bracciata. Inoltre, l’energia richiesta col fine di accelerare il corpo aumenta e probabilmente, costituisce una grande fetta del consumo energetico totale nella rana. Un’altra ipotesi che riguarda il CE nella rana è che, all’aumentare della velocità, l’alta frequenza della bracciata e della gambata e, di conseguenza una bassa variazione della velocità del ciclo del movimento (basso rallentamento e dunque minor CE), decrementi l’aumento esponenziale del costo energetico dato dall’aumento esponenziale del drag attivo (resistenza dell’acqua all’avanzamento). Questi fattori spiegherebbero l’incremento lineare (e dunque non esponenziale) della rana e il suo alto costo energetico. Risulta importante sottolineare che la gambata a rana crea maggior resistenza in acqua (e vortici) rispetto alle gambate degli altri stili ed ha le più basse velocità massimali di tutti i quattro stili.

3.1 Crawl

Il crawl è lo stile di nuotata che assicura la massima velocità di spostamento in acqua e la maggior continuità d'azione.

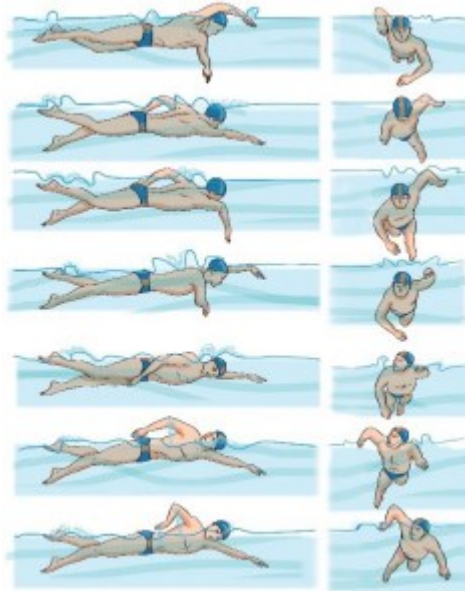


Figura 4: 1

L'avanzamento avviene in posizione orizzontale prona, la quale garantisce la minima resistenza del corpo in acqua. Per la propulsione, l'azione delle braccia è nettamente più importante di quella delle gambe (le quali hanno maggiormente un ruolo coordinativo).

Bracciata: Nel movimento della bracciata si possono individuare quattro momenti fondamentali (tale divisione è concettuale, nella realtà il movimento è unico).

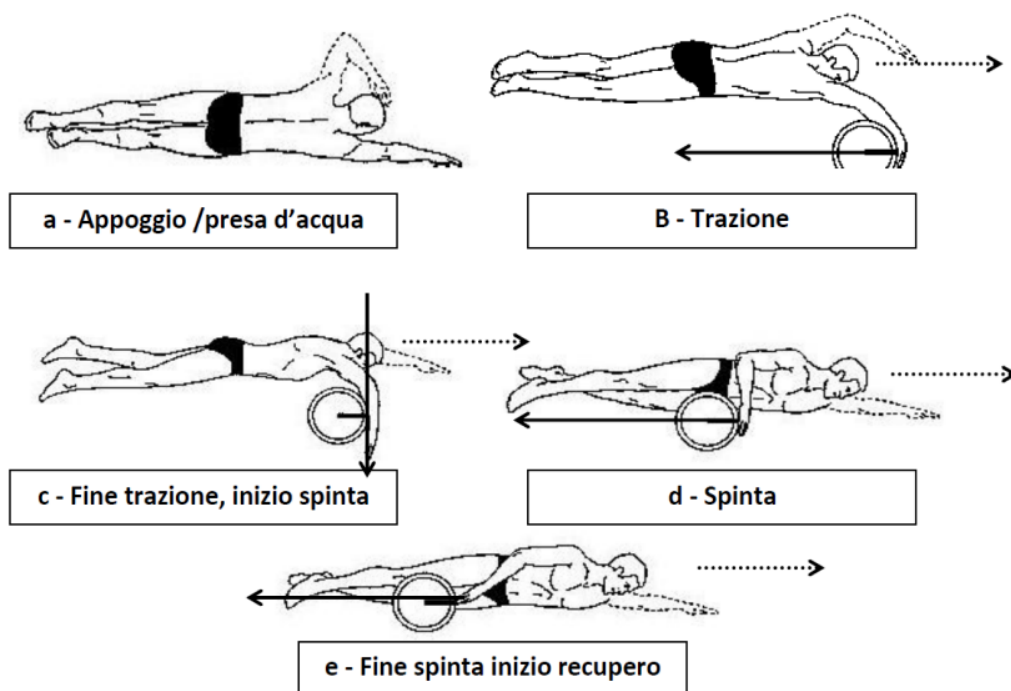
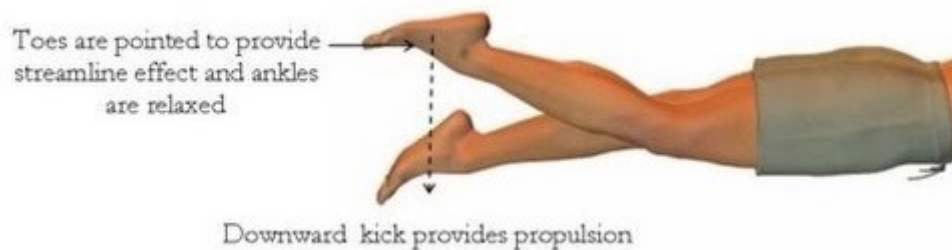


Figura 3: 2

- *Presa:* la mano entra in H₂O all'altezza delle spalle e il più lontano possibile. Con la rotazione del corpo ("rollio") il braccio scivola ulteriormente in avanti fino a tendersi quasi completamente. Per la presa d'acqua, la mano e l'avambraccio si piegano leggermente.
- *Trazione:* con una netta posizione del gomito in alto avviene una trazione verso il basso e all'indietro. Il gomito si piega in modo tale che la mano passi sotto il tronco e non oltrepassa il gomito
- *Spinta:* la trazione del braccio avviene con spinta energica che passa a lato della coscia (verso l'alto e indietro) e prosegue senza interruzione nella fase aerea.
- *Recupero:* rappresenta la fase esterna all'acqua, il braccio viene portato in avanti in modo sciolto e rilassato. La mano non può essere ruotata verso l'esterno.

La gambata:

Il movimento delle gambe è alternato. Come per la bracciata, si tratta di un movimento continuo e senza pause. Il contributo delle gambe è fondamentale in quanto equilibrano il movimento propulsivo delle braccia (la bracciata è asimmetrica rispetto all'asse centrale del corpo). Il movimento delle gambe parte dalle anche, interessando successivamente coscia, ginocchio e gamba fino all'articolazione del piede. La coscia viene sollevata verso la superficie dell'acqua, per preparare il corpo verso il basso durante il quale i piedi sono in estensione, rilassati e ruotati leggermente all'interno. Anche nel movimento verso l'alto dell'altra gamba bisogna tenere i piedi rilassati. L'ampiezza del movimento di propulsione delle gambe è limitata, ma la sua frequenza è elevata (si arriva a sei battute di gamba per bracciata).



Figura

La respirazione:

La respirazione avviene alla fine della fase di spinta, il capo viene leggermente ruotato lateralmente (non sollevato) mantenendo immersa la guancia del lato in cui avviene l'inspirazione con la bocca. Successivamente il capo si reimmerge, l'espiazione avviene attraverso bocca e naso in maniera più lenta rispetto a l'inspirazione. La respirazione dovrebbe avvenire da entrambi i lati (solitamente si educa a respirare ogni tre o cinque bracciate proprio con lo scopo di alternare la respirazione da entrambi i lati).



Figura 3: 4

I concetti fondamentali da applicare per eseguire correttamente il Crawl sono:

- Il *rollio*: quando verso la fine degli anni Sessanta, gli allenatori americani videro nuotare Mark Spitz con un accentuato rollio avversarono questa tecnica e lo soprannominarono il “granchio”. Nelle Olimpiadi di Monaco del ‘72, però, Spitz vinse sette medaglie d’oro realizzando altrettanti record mondiali, e gli allenatori si dovettero rassegnare alla superiorità di questa tecnica. Un buon rollio, difatti permette di dimezzare la resistenza offerta

dall'acqua all'avanzamento in quanto soltanto una metà del corpo resta immersa. Inoltre favorisce l'intervento di muscoli grandi del tronco, soprattutto il gran dorsale che viene allungato nella fase di presa e il pettorale che è contratto nella fase di trazione. Il rollio, inoltre, permette di eseguire una respirazione più naturale, limitando la torsione del collo ed evitando inutili tensioni muscolari. Infine ma non per importanza, il rollio consente di effettuare delle bracciate più ampie, con un recupero più alto e rilassato sull'acqua.

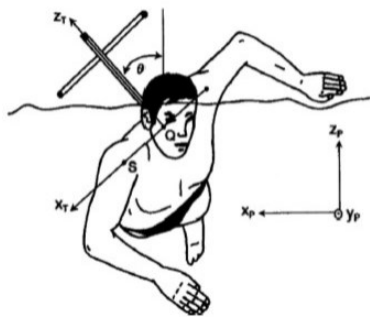


Figura 3: 5

- *Battuta di gambe per ogni cambio di direzione degli arti superiori* : in una classica interpretazione del crawl, la prima parte della fase di presa viene effettuata con un appoggio leggero laterale della mano (outsweep). In conseguenza di questo leggero appoggio laterale della mano, il corpo si sposterebbe sul lato opposto se non intervenisse la battuta verso il basso e l'esterno della gamba opposta a riallinearlo sull'asse. Nella fase di trazione, il braccio tira con forza verso il dietro e verso l'interno, provocando uno scostamento del corpo dal suo asse in direzione del braccio stesso. Un colpo verso l'esterno-basso della gamba omologa provvede a bilanciare questo spostamento. Infine, nella fase di spinta, il braccio si sposta verso dietro, verso l'esterno e verso l'alto (unsweep), provocando nuovamente uno spostamento del corpo verso il lato opposto. A bilanciare questo ulteriore spostamento provvede il calcio verso l'esterno-basso della gamba opposta. Nel Crawl classico abbiamo quindi tre colpi di gambe per ogni bracciata, ovvero sei colpi per ogni ciclo (6-2). Alcuni nuotatori, tendono ad entrare

immediatamente nelle fasi più propulsive della bracciata (trazione e spinta), riducendo pertanto gli appoggi laterali: questo fa diminuire la necessità di bilanciare gli scostamenti dall'asse, quindi anche il numero di colpi di gambe per ciclo (4-2; 3-2; 2-2).

- *Il recupero guidato dalla spalla* : per definizione in questa fase devono rilassarsi e riposare i muscoli utilizzati in trazione, pertanto il recupero viene effettuato a carico del trapezio e del deltoide laterale, con il braccio decontratto e il gomito flesso. Spesso si vedono nuotatori, per lo più velocisti, recuperare con il braccio teso. Questo tipo di tecnica prevede che ci sia un buon rollio in quanto il braccio in recupero deve essere sollevato e mantenuto in linea con il braccio in appoggio e con l'asse longitudinale del corpo, per evitare spostamenti dall'asse stesso. Soltanto in questo caso, sfruttando l'azione diametralmente opposta, il recupero a braccio teso assicura una buona profondità di presa dell'altro braccio (per questo motivo è una tecnica utilizzata spesso dai velocisti).

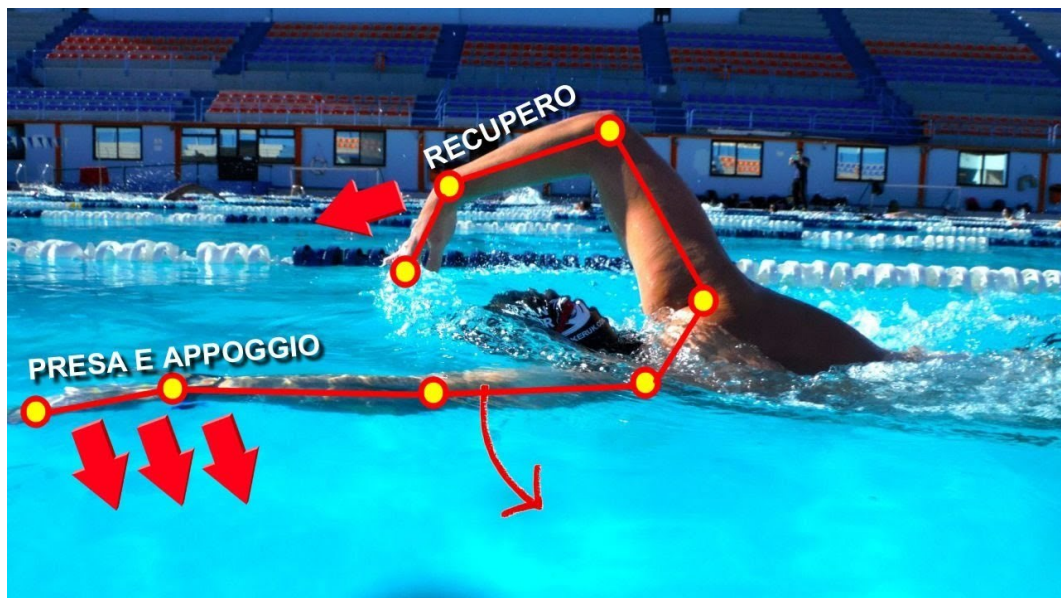


Figura 3: 6

Le differenze adottate dai velocisti rispetto a quello dei fondisti o mezzofondisti offrono l'occasione di capire come gli adattamenti agli stimoli allentanti e alle

caratteristiche particolari del tipo di gara possono portare a delle modifiche del modello prestativo.

- *Assetto in acqua* : a causa delle elevate velocità, la posizione in acqua dei velocisti è più alta rispetto a quella dei fondisti. Le spalle emergono maggiormente dall'acqua a causa della pressione dell'acqua stessa sul petto. Questa situazione può indurre alla falsa convinzione che i velocisti tengano la testa alta, con una estensione del collo. Una posizione del genere sarebbe un grave errore in quanto, spezzandola continuità tra i segmenti corporei e il loro allineamento, provocherebbe un grande aumento della resistenza all'avanzamento. La testa va tenuta in ogni caso in linea con le spalle, con la nuca distesa e lo sguardo in avanti-basso, in modo che tutto il corpo si comporti come uno scafo rigido e indeformabile.
- *La respirazione e l'azione degli arti superiori* : il velocista, a causa della sua elevata velocità sviluppata, nuota in una posizione più emersa, mentre il mezzofondista nuota più attraverso l'acqua. Queste differenti situazioni fanno sì che le differenti tipologie di nuotatori adottino differenti soluzioni per minimizzare la resistenza in acqua. In particolare, i velocisti preferiscono ridurre la superficie immersa sollevandosi sull'acqua mentre i mezzofondisti riducono la superficie immersa con un accentuato rollio. I velocisti, effettuano una respirazione anticipata, ovvero ruotano il capo prima che il braccio termini la spinta in modo tale da avere più tempo per l'inspirazione (sebbene essa debba essere comunque il più rapida possibile e che non scomponi eccessivamente l'asse) e di tenere gli arti inferiori in superficie, minimizzando la battuta di gambe.
- *La sovrapposizione degli arti inferiori* : permette di cavalcare maggiormente l'onda in quanto l'appoggio viene spostato davanti alle spalle, sollevandole, ma la conseguente tendenza ad affondare con gli arti inferiori costringe l'atleta ad effettuare una battuta di gambe continua e potente. I mezzofondisti generalmente entrano in acqua con un arto quando l'altro è a metà trazione. Questo consente una posizione più orizzontale

rispetto all'acqua e il rollio dei fianchi permette un minor affondamento delle gambe.

- *Il rapporto tra arti superiori ed inferiori* : l'azione di gambe dei mezzofondisti è molto più superficiale rispetto a quella di un velocista, che necessita di una battuta di gambe per mantenere la posizione alta sull'acqua. Il mezzofondista utilizza la battuta di gambe sia per recuperare l'energia spesa nella formazione dell'onda di prua (come fanno i surfisti) sia per frammentare la massa d'acqua che si porta dietro, minimizzando il costo energetico. Alcuni mezzofondisti utilizzano un'azione di braccia continua con una traiettoria quasi rettilinea e saltano le fasi di presa e appoggio, mentre altri nuotano con una frequenza più bassa utilizzando la fase di presa come proseguimento del recupero. Ovviamente i primi avranno una coordinazione bracciata-gambata 2-2 (non effettuano spostamenti laterali) mentre i secondi adotteranno coordinazioni diverse, fino al 6-2. Alcuni velocisti, infine, (velocisti puri) privilegiano a tal punto le frequenze elevate da saltare le fasi meno propulsive di presa-appoggio, alla ricerca immediata della trazione. Questi atleti effettuano traiettorie di bracciata rettilinea, pertanto utilizzano una coordinazione 2-2 con gambata molto profonda e potente.

Pertanto si può affermare che il Crawl è lo stile che sviluppa maggiore velocità in quanto presenta la bracciata più idrodinamica. Difatti, assumendo in acqua per più tempo possibile la posizione di "streamline", (posizione di allungamento orizzontale che è una sorta di posizione del corpo a proiettile, che si allunga e ricerca l'acqua orizzontalmente) il corpo immerso subisce una minore resistenza e sviluppa dunque una maggiore velocità. Inoltre, la battuta delle gambe è fluida e alternata e le braccia rimangono vicine all'asse del corpo durante la trazione. Il Crawl viene nuotato con un'azione continua e alternata delle braccia che provoca una propulsione continua. Questo non è l'unico motivo per cui il crawl è lo stile più veloce rispetto agli altri. Esso presenta anche la bracciata più propulsiva di tutti gli altri stili in quanto durante la nuotata si ottiene una migliore leva sul braccio di trazione mentre si ruota il corpo. La spalla del braccio di trazione è abbassata e ciò

consente una trazione più potente e più verso il centro.

3.1 Dorso

Il dorso (“backstroke” in inglese) è uno stile relativamente facile da imparare nella sua forma più grezza, per via del viso che viene sempre tenuto fuori dall’acqua, che offre grandi vantaggi per la respirazione. Per quanto riguarda invece, l’affinamento della tecnica, esso è un po’ più complesso rispetto agli altri stili in quanto non vi è la possibilità di sfruttare nessun riferimento visivo.

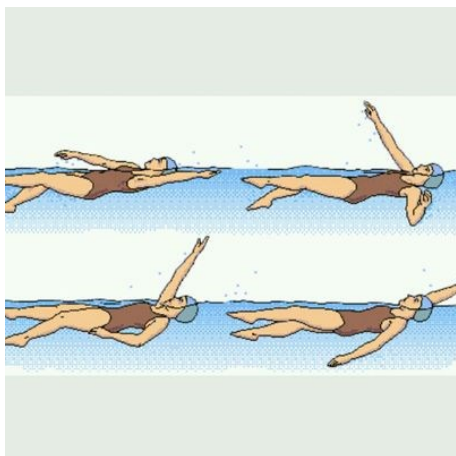


Figura 3: 7

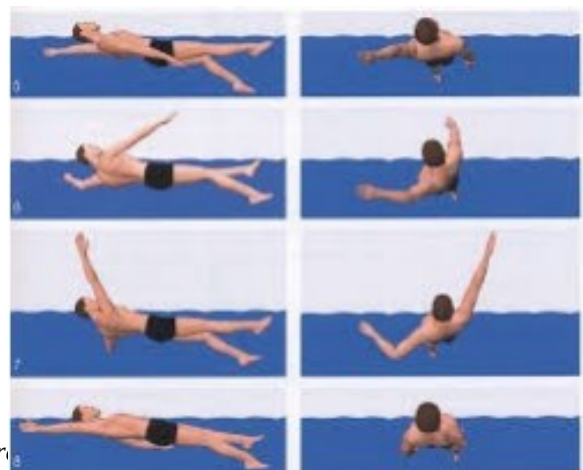


Figura 3: 8

L'avanzamento avviene in posizione orizzontale supina, il bacino deve essere sollevato il più possibile. Il capo è rilassato, appoggiato in acqua e lo sguardo è diretto in avanti/alto. La propulsione è data, come nello stile libero, dall'azione continua della bracciata.

Bracciata: anche in questo caso, come nel crawl, si possono individuare quattro fasi della bracciata (è bene ricordare però che tale divisione è solo nella teoria, il movimento è unico):

- *presa*: l'entrata in acqua della mano avviene il più lontano possibile, con il braccio teso in avanti. La mano entra in acqua alla larghezza delle spalle. Il primo ad entrare in acqua è il mignolo (questo è più presente nei duecentisti, meno nei velocisti). La mano e l'avambraccio vengono leggermente piegati per prendere l'acqua (all'indietro e all'esterno)
- *trazione*: in questa fase con un'evidente posizione in avanti del gomito, portare il dorso della mano all'interno verso l'alto in direzione della nuotata. La mano oltrepassa il gomito.
- *Spinta*: questa fase è la più importante ai fini della propulsione in quanto il movimento termina con un'energica accelerazione dell'avambraccio lungo la coscia (all'indietro e basso), seguito immediatamente dal movimento verso l'alto dello slancio della fase aerea.
- *Recupero*: emergere con il dorso della mano o con la mano intraruotata e, durante la fase sciolta e rilassata fuori dall'acqua, ruotare la mano dal lato del mignolo contemporaneamente alla rotazione del busto.

Gambata: Il movimento delle gambe prende origine dalle anche e si diffonde

attraverso la coscia, il ginocchio e la parte inferiore della gamba, fino all'articolazione del piede. Le ginocchia non devono superare la superficie dell'acqua. Durante le battute di gambe verso l'alto, la coscia viene spinta attivamente in basso, i piedi sono estesi, rilassati e intraruotati leggermente. Nel movimento dinamico di propulsione verso il basso dell'altra gamba i piedi devono restare rilassati. Il movimento di propulsione delle gambe viene eseguito con una frequenza elevata e una scarsa ampiezza (ritmo a 6 colpi come nel crawl).

Respirazione: inspirare rapidamente e profondamente all'inizio della fase aerea di una delle due braccia (recupero di braccia). L'espiazione avviene durante il movimento aereo dell'altro braccio.

Coordinazione: la coordinazione tra il movimento delle braccia e quello delle gambe deve essere ritmica e fluida. Come anticipato prima, le gambate solitamente per ciclo di bracciata sono sei.

I concetti fondamentali nel dorso sono:

- *La continuità di applicazione di forza:* (da non confondere con la frequenza di bracciata) sembra essere il tratto comune per i dorsisti di successo: la sovrapposizione dell'azione degli arti superiori, di non avere punti morti nell'azione della bracciata. Si deve entrare in acqua con un arto, prima che l'altro termini la sua azione di spinta: in questo modo, mentre un arto termina la sua spinta, l'altro si posiziona alla giusta profondità per iniziare la trazione.
- *Il rollio del corpo :* nel dorso questa azione è ancora più efficace e vantaggiosa rispetto al crawl in quanto, oltre che a ridurre la resistenza all'avanzamento, permette ai dorsisti di utilizzare la leva pettorale (più

vantaggiosa). Se non venisse effettuato il rollio, la bracciata sarebbe laterale, in superficie, senza alcuna efficacia. Risulta fondamentale che la prima parte della passata subacquea dev'essere effettuata a gomito alto; questo poiché la mano raggiunge immediatamente il punto più profondo, effettuando una presa stabile per la successiva trazione. Inoltre le spalle continuano ad avanzare anche durante la fase di presa-appoggio, oltre che a mantenersi sollevati sull'acqua assieme al tronco, sfruttando la superficie alare generata.

- *Una battuta di gambe per ogni cambio di direzione degli arti inferiori:* nel dorso non ci sono coordinazioni diverse come nel crawl. Praticamente tutti i dorsisti adottano una coordinazione 6-2.
- *Il recupero è guidato dal fianco e dalla spalla:* il sollevamento del fianco anticipa il recupero del braccio, permettendo la continuità dell'azione nel passaggio dalla spinta al recupero e agevolando il rollio. Nell'eseguire questa azione si deve fare una particolare attenzione a rimanere con le spalle aperte ed il petto alto.

Ci sono degli studi che ricercano le differenze sostanziali tra il crawl e il dorso. Uno studio sul costo energetico con un'andatura aerobica ha evidenziato che lo stile libero risultasse più efficiente dal punto di vista della propulsione e di conseguenza, del costo energetico (minore rispetto al dorso). Questo risultato è dovuto secondo gli autori in modo indiretto dalla velocità del polso e della caviglia maggiori e dal minor r.o.m. (range of motion) della caviglia nel crawl (calcolati con filmati tridimensionali). Una ricerca negli scatti dei 50 m ha invece analizzato non solo la cinematica del movimento nei due stili, bensì la cinetica dei movimenti esaminando il drag attivo. Dallo studio è emerso che i nuotatori di crawl avessero una maggiore lunghezza di bracciata (stroke length maggiore del 8,3%), una minore frequenza di bracciata (stroke frequency minore del 5,4%), un'indice di coordinazione minore

del 14,3% e soprattutto una efficienza propulsiva maggiore del 30% rispetto al dorso. In aggiunta, è stata osservato che il dorso subisce un drag attivo maggiore rispetto allo stile libero (del 25%) e questo spiega il maggior costo energetico e la minor efficienza del dorso rispetto al crawl. La ragione principale per cui il dorso presenta una maggiore drag attivo sembra essere dovuta al fatto che la sezione trasversale a dorso è maggiore. Una possibile spiegazione è che la posizione della testa e della spalla potrebbero essere più alte durante il crawl rispetto al dorso a causa della forza idrodinamica prodotta dal movimento verso il basso della mano all'inizio del colpo. Questa ipotesi sembra spiegare la minor area trasversale nel crawl. Tuttavia questa teoria dev'essere studiata ed analizzata ulteriormente per stabilire le relazioni tra la traiettoria della mano, le forze idrodinamiche e l'allineamento del corpo.

3.2 Rana

La rana (breaststroke in inglese) è uno stile caratterizzato dalla discontinuità nei movimenti, infatti è l'unica nuotata in cui è prevista una pausa durante lo scivolamento. Essendo uno stile molto tecnico, l'intera nuotata avviene in subacquea e proprio per queste caratteristiche è lo stile più lento. Al contempo è uno stile che garantisce lunghe distanze a basso ritmo.

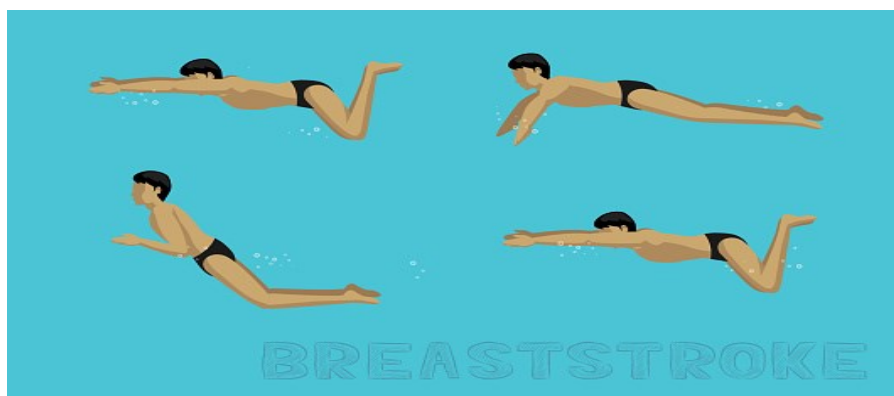


Figura 3: 9

L'avanzamento avviene in posizione orizzontale prona, il corpo è leggermente rialzato (e pertanto inclinato). A differenza di altri stili, la propulsione è data prevalentemente dalla gambata (circa il 70% in più rispetto alla bracciata, inoltre le mani non vanno oltre i fianchi, non consentendo una grande propulsione). Questa differenza va assottigliandosi man mano che aumenta la tecnica.

Bracciata: la bracciata a rana, come per gli altri stili, può essere divisa in quattro fasi:

- *Presa:* la mano e l'avambraccio vengono piegati e portati leggermente verso l'esterno per prendere l'acqua.
- *Trazione:* la trazione avviene verso l'esterno e indietro, con un'ampiezza che al massimo corrisponde al doppio della larghezza delle spalle. La posizione del gomito è chiaramente in avanti (mantenere il gomito alto il più possibile)
- *Spinta:* nella rana la fase di spinta è praticamente inesistente e consiste nel movimento di accelerazione verso l'interno (poi verso l'alto e in avanti) degli avambracci davanti al busto, passando direttamente alla fase di recupero.
- *Recupero:* nella fase di recupero condurre rapidamente le braccia in avanti e con poca resistenza, sott'acqua o sul filo dell'acqua. La testa e le spalle contribuiscono energicamente alla spinta fino all'estensione completa delle braccia. Alla fine di questa fase i palmi delle mani guardano in basso (i mignoli delle mani si toccano in modo tale da preparare la fase di spinta verso l'esterno).

La Gambata:

Il movimento della gambata a rana viene suddiviso in tre fasi principali (sebbene vada ricordato che queste fasi hanno solo uno scopo didattico e che in realtà il ciclo di gambata è unico ed eseguito in modo fluido e lineare. La prima fase consiste nel portare i piedi vicino ai glutei tramite una flessione delle gambe, la seconda fase prevede che ci sia una extrarotazione dei piedi verso l'esterno accompagnata dalla flessione dorsale del piede (nella gambata a rana, il piede è a martello ed è l'unico stile in cui il piede non è in estensione, a punta, bensì in una posizione di flessione) e un'abduzione delle cosce fino a circa la larghezza delle spalle. Infine, nella terza fase le gambe vengono riunite con un movimento circolare finché le piante dei piedi non si toccano. Va sottolineato il fatto che la propulsione delle gambe avviene con l'interno del piede e del polpaccio proprio perché il movimento di preparazione alla spinta prevede una abduzione delle ginocchia e una extrarotazione e flessione dorsale del piede.

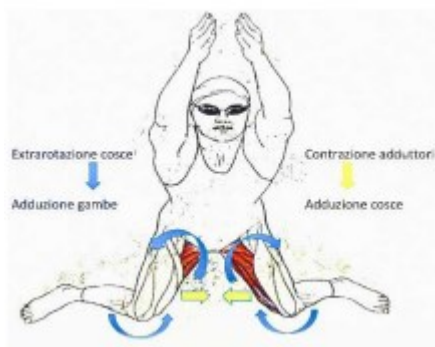


Figura 3: 10

Respirazione:

La fase di inspirazione inizia assieme alla fase attiva di propulsione della bracciata, quindi durante la presa e trazione della bracciata (in realtà avviene maggiormente nella trazione che nella presa). L'inspirazione può avvenire grazie ad un movimento attivo del sollevamento del capo. L'espiazione invece avviene durante la gambata.

I concetti fondamentali nella rana sono:

- *Intervento muscolare nella trazione delle braccia:* l'inizio della bracciata al rana è analoga a quella del delfino che sarà analizzata in seguito. Questo movimento permette l'intervento del gran dorsale in presa (prestiramento) e del pettorale in trazione, con lo sfruttamento dell'energia elastica accumulata.
- *Trazione a gomito alto:* come nelle altre nuotate, questo accorgimento favorisce l'avanzamento delle spalle, il corretto posizionamento di mano ed avambraccio per l'appoggio ed il sollevamento delle spalle sull'acqua.
- *Alternanza tra spinta e recupero:* dato che la rana è l'unico stile assieme al delfino in cui la propulsione proviene anche (e nella rana soprattutto, incidendo nella propulsione del 70%) dagli arti inferiori, ci deve essere una alternanza coordinata tra spinta e recupero tra gli arti inferiori ed superiori. Difatti durante la trazione delle braccia, le gambe recuperano e si preparano per la propulsione, quando invece le braccia cominciano la fase di recupero distendendosi in avanti, inizia la vera e propria propulsione della gambata a rana che deve essere ampia, potente ed esplosiva in modo tale da permettere al corpo che è in disteso orizzontalmente, di scivolare il più possibile. Un buon colpo di gambe permette al nuotatore di sfruttarne lo scivolamento conseguente fino al raggiungimento della velocità generata dalla bracciata. Sarebbe infatti controproducente iniziare la bracciata quando il corpo si muove ad una velocità superiore a quella generata dalla sua azione, oppure scivolare fin quasi ad arrestarsi per riprendere velocità con l'azione di bracciata (inerzia).

Differenze tra nuotatori nella rana:

I differenti stili di rana sono tanti. Ognuno sfrutta i propri punti di forza ottimizzando lo stile secondo le proprie caratteristiche. Ci sono atleti che basano molto la nuotata sulla spinta delle gambe ed altri che sfruttano maggiormente l'azione delle braccia. Normalmente gli atleti con gambata più forte seguono una linea retta durante la spinta delle gambe. Quelli che sfruttano maggiormente la bracciata sono costretti ad un'azione più simile al delfino nella presa, per garantirsi

l'intervento del gran dorsale e l'aiuto del tronco nella propulsione. Alcuni atleti ottengono un'ottima continuità di azione sovrapponendo le azioni degli arti. Queste differenze sono poco classificabili a causa di una grande varietà. Una differenza classificabile esiste però tra i nuotatori di 50-100 metri e coloro che disputano gare di 200 metri: consiste nella frequenza e sovrapposizione delle azioni. I velocisti infatti (50-100 m), nuotano con frequenze molto elevate e, per evitare perdite di velocità, effettuano il recupero ed il scivolamento in modo incompleto e parziale (essendo le fasi più lente e resistenti). L'azione delle braccia infatti riparte immediatamente, dopo la distensione (le gambe non si sono ancora chiuse e non hanno completato l'intera propulsione). Gli atleti specialisti dei 200 metri prediligono, al contrario, avere una buona ed efficace fase di scivolamento per assicurarsi un recupero di energie fra un ciclo e l'altro.

3.3 Delfino

La nuotata a farfalla ("butterfly" in inglese) nasce dall'evoluzione della nuotata a rana. Essendo uno stile simmetrico e simultaneo, le braccia vanno recuperate assieme ed effettuano la passata in subacquea contemporaneamente. L'avanzamento avviene in posizione orizzontale prona ed è leggermente inclinata. La propulsione è data da un movimento ondulatorio di tutto il corpo, che nasce da uno sforzo congiunto di braccia e gambe. La testa guida l'ondulazione.

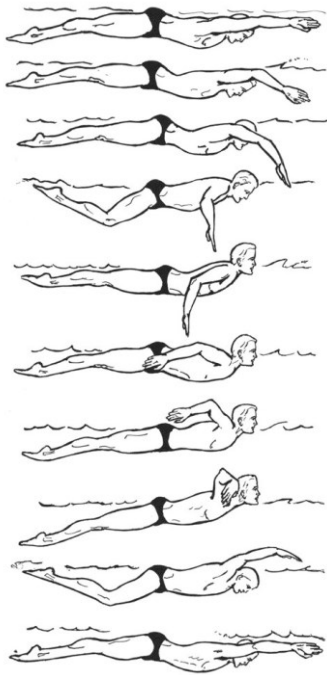


Figura 3: 10

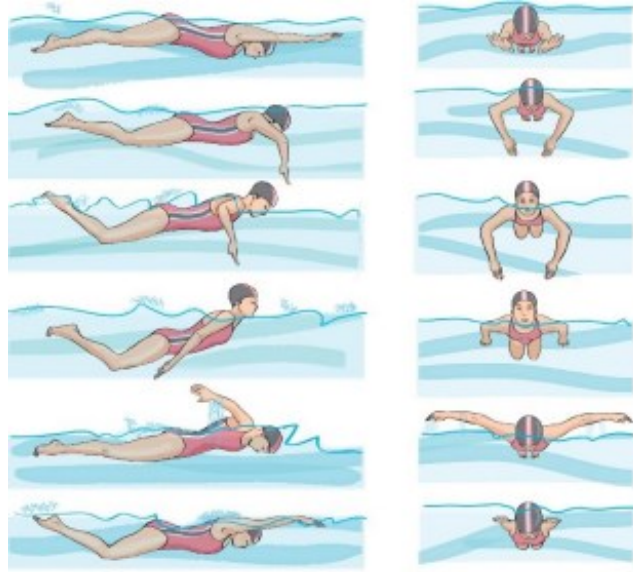


Figura 3: 11

Bracciata:

Si possono individuare quattro momenti fondamentali:

- *Presa:* la mani entrano in acqua in più lontano possibile e con il dorso delle mani che si toccano tra loro (anche i mignoli delle mani, usato come punto di riferimento, si toccano fra loro). Sott'acqua le mani si staccano tra loro fino a poco più della larghezza delle spalle e la mano e l'avambraccio sono leggermente flessi per poter prendere acqua.
- *Trazione:* con una chiara posizione del gomito alto (e quindi una verticalizzazione dell'avambraccio-mano come nel crawl), si trazione verso il basso-indietro partendo dalla posizione delle mani poste alla larghezza doppia delle spalle. Verso la fine della trazione, all'altezza delle spalle, si trazionano le braccia all'interno in direzione della linea mediana del corpo. La mano supera il gomito. Si frena così il movimento verso il basso del busto e si genera un'azione propulsiva.
- *Spinta:* spinta energica e accelerata delle braccia, effettuata a lato delle

cosce (verso l'alto e indietro) e con passaggio alla fase aerea e di recupero.

- *Recupero*: portare le braccia in avanti estese ed rilassate. Si ha la massima accelerazione della mano durante la fase terminale della bracciata, più il recupero è veloce e meno viene influenzato negativamente l'assetto del corpo (le braccia, essendo fuori dall'acqua risultano più pesanti rispetto al resto del corpo immerso nell'acqua e pertanto influenzano negativamente l'assetto del corpo se permangono per troppo tempo).

(ci sono delle digressioni e distinte opinioni sul dove le mani partano a spingere e pertanto sulla presa a delfino. Dal mio punto di vista, dal momento in cui l'obiettivo è cercare di prendere più superficie d'acqua possibile, le mani devono essere intraruotate e poste una accanto all'altra. Questo per permettere di avere una presa maggiore, essendoci maggiore superficie d'acqua da poter "prendere", e inoltre, si ottiene una posizione più idrodinamica nonché analoga a quella dello "streamline"; potendo così sfruttare maggiormente lo scivolamento e sviluppando minore resistenza in acqua).

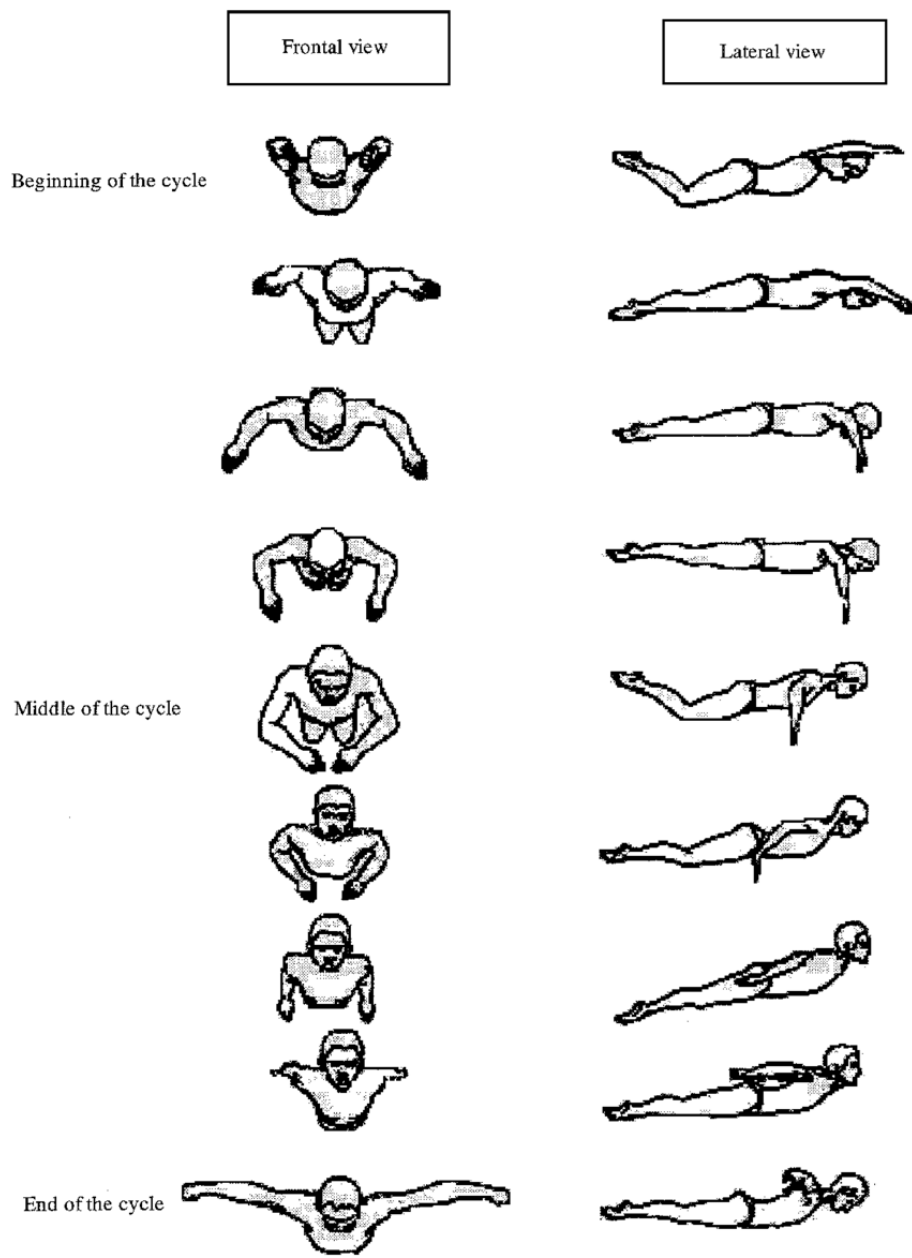


Figura 3: 11

Gambata:

Esistono due colpi di gambe per ciclo di bracciata. Il primo colpo dev'essere propulsivo, voluto poiché è potente e definito "volontario". Va coordinato assieme alla fase della spinta delle braccia. Il secondo invece, viene definito "involontario" in quanto risulta automatico e spontaneo e corrisponde al momento del recupero delle braccia e inserimento delle mani il più lontano possibile e in avanti. Quando si effettua questo ultimo colpo di gambe, l'azione dell'atleta è caratterizzata da un avanzamento continuo, con minimo sforzo, sfruttando l'inerzia (inerzia s'intende la resistenza che un corpo oppone al cambiamento del suo stato di moto o di quiete). Pertanto il colpo "involontario" ha la funzione di mantenere il corpo in movimento, evitando al nuotatore di ripartire da fermo ad ogni ciclo, con un enorme costo energetico. Il colpo di gambe dev'essere simultaneo, incomincia dal tronco e si diffonde attraverso la coscia, il ginocchio, la gamba fino all'articolazione del piede. Il bacino dev'essere bloccato nel momento in cui c'è l'immersione delle braccia affinché non affonda eccessivamente. Nella battuta delle gambe verso il basso, le cosce vengono spinte attivamente verso la superficie dell'acqua. I piedi sono allungati, sciolti e volti all'interno (è il collo del piede che spinge l'acqua). I piedi restano rilassati anche nel movimento attivo di spinta verso l'alto.

Coordinazione e respirazione:

La coordinazione tra bracciata e gambata dev'essere fluida. Si eseguono due colpi di gambe per ciascuna bracciata come detto precedentemente. I due colpi di gambe non sono uguali: il primo è potente e ampio, l'altro meno. L'inspirazione avviene

durante la fase di spinta, sollevando leggermente la testa. L'inspirazione attraverso la bocca è rapida e profonda, mentre si espira da bocca e naso durante tutta la fase subacquea. Generalmente si respira una volta ogni due cicli di bracciate.

I concetti fondamentali nel delfino sono:

- *Gomito alto (verticalizzazione del braccio)*: nella fase di trazione, dopo aver allargato le mani fino alla larghezza doppia delle spalle con la fase di presa, è importante verticalizzare il segmento avambraccio-mano. Questo permette alla mano di raggiungere immediatamente il punto più profondo; inoltre aumenta la stabilità della presa della mano per la trazione ed infine, le spalle possono continuare ad avanzare sollevate sull'acqua, sfruttando la superficie alare generata.
- *I movimenti del capo*: i movimenti di flessione ed estensione del capo consentono a tutto il corpo di eseguire un movimento ondulatorio (il movimento del cosiddetto "verme" o "lombrico". Questo movimento è fondamentale per la didattica del delfino in quanto attorno a questo movimento si costruisce tutta la tecnica globale del delfino con la bracciata e la gambata e la coordinazione tra essi. In aggiunta, tenere la testa in acqua durante la fase di presa/appoggio, garantisce l'avanzamento del corpo anche durante la respirazione in quanto questa viene effettuata per avanti-alto, mantenendo l'angolo delle spalle rispetto all'acqua prossimo all'orizzontale.
- *Il movimento ondulatorio*: come riportato precedentemente, tutto il corpo si muove con un movimento ondulatorio, ma un punto (il baricentro) si muove in linea retta. Questa spiegazione si rifà alla geometria elementare, ovvero la distanza più breve tra due punti è una linea retta.

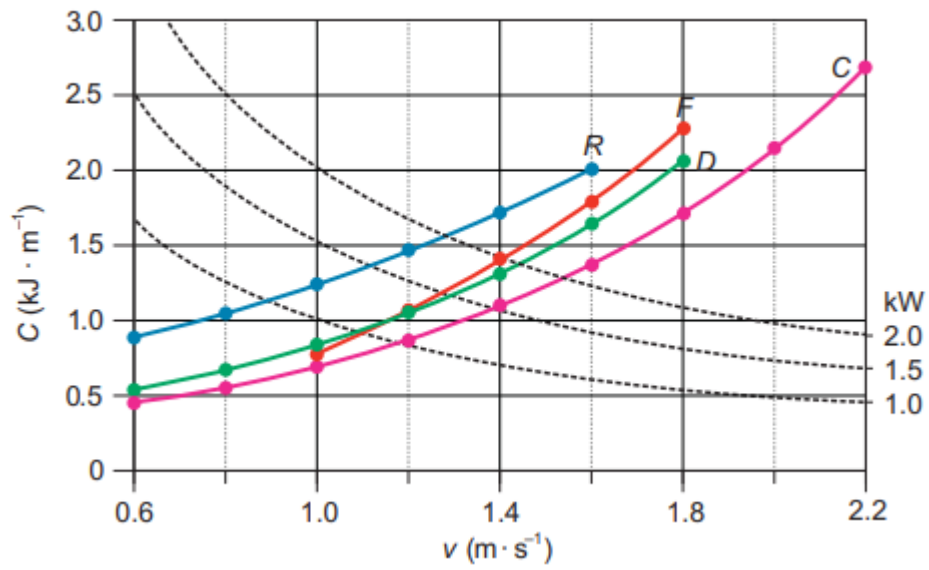
Differenze tra delfinisti:

Come avviene nel Crawl, anche nei delfinisti che si cimentano nei 50 e 100 metri l'obiettivo è quello di ridurre la resistenza all'avanzamento percorrendo lunghi tratti fuori dall'acqua. Questo richiede un'azione di gambe molto potente (la prima gambata è fondamentale per la propulsione), con un elevato costo energetico. In realtà anche la seconda gambata risulta energica nei delfinisti di breve distanze che potrebbe però causare un'eccessiva verticalizzazione dell'azione e un eccessivo sollevamento. Gli specialisti dei 50 metri delfino preferiscono nuotare la gara quasi totalmente in apnea, respirando al massimo una o due volte. Questo accorgimento presenta il vantaggio di permettere alte frequenze di bracciate, mantenendo alte velocità. Gli specialisti dei 100 metri invece, evitano di sollevarsi troppo, accentuando il ritardo di respirazione. Loro difatti effettuano l'inspirazione all'inizio del recupero (invece che durante la spinta), ciò permette loro di continuare ad avanzare anche durante la respirazione e di percorrere tratti più lunghi con le spalle fuori dall'acqua, minimizzando la resistenza. Gli specialisti dei 200 metri, alla ricerca della economicità energetica, anticipano leggermente la respirazione, pertanto respirano prima che le braccia fuoriescano. In questo modo hanno più tempo per inspirare e per recuperare la bracciata e per sfruttare l'abbassamento della testa in entrata, riducendo la tensione muscolare. Alcuni nuotatori preferiscono la respirazione laterale. Questo accorgimento limita il sollevamento delle spalle, riducendo pertanto l'utilizzo della gambata per il sostentamento. Si riduce così il costo energetico della nuotata, senza una significativa riduzione dell'ampiezza della bracciata, come avviene nella respirazione anticipata.

4.0 Consumo Energetico tra nuotatori medi e nuotatori d'élite

L'obiettivo di questo capitolo è di descrivere ed analizzare gli aspetti energetici nel nuoto nei diversi livelli di prestazione. Come riportato precedentemente, gli stili di nuoto hanno diversi costi energetici a seconda di vari aspetti e caratteristiche. Tuttavia c'è un aspetto importante da considerare che potrebbe variare il costo energetico negli stili di nuoto: il livello dei nuotatori (che si associa dunque ad altri fattori già analizzati in precedenza come l'abilità tecnica, la efficienza di bracciata, la lunghezza e frequenza di bracciata).

Il costo energetico nei diversi stili di nuoto è illustrato nella figura 4.0. Questi dati, riportati anche nel capitolo precedente, sono basati su nuotatori maschi di alto livello tecnico (Capelli et al, 1998). Questi autori hanno condensato un'ampia serie di dati in una serie di equazioni che consentono di stimare CE, a condizione che la velocità sia nota. Queste equazioni si riferiscono al nuoto a velocità costante in linea retta e in quanto tali, non tengono conto dell'effetto del tuffo iniziale, né delle spinte dei piedi sul muretto della piscina ad ogni virata, come avviene nelle gare di gare standard in piscina, e che portano ad una significativa riduzione del costo energetico. Questi dati mostrano che lo stile più economico è sempre il Crawl, seguito dal dorso e dal delfino, mentre la rana è lo stile più costoso. Va inoltre sottolineato che, nei nuotatori tecnici di medio livello a velocità basse e ($0,4/0,6 \text{ m s}^{-1}$), il costo energetico della rana è uguale a quello dello stile libero (Holmer, 1974). Questo è probabilmente dovuto al fatto che la rana è la forma di nuoto più spontanea, e che quindi i nuotatori di basso livello sono tecnicamente migliori quando nuotano la rana rispetto al crawl.



Figura

4: 0 (C sta per Crawl, D per dorso, F per Farfalla e R per Rana)

Il costo energetico nei quattro stili di nuotata nei nuotatori d'elite è lo stesso nei nuotatori di medio livello? La figura 4.1 ci fornisce la risposta.

...Dipende

Nuotatori medio livello

- Crawl
- Dorso
- Rana
- Delfino

Nuotatori d'élite

- Crawl
- Dorso
- Delfino
- Rana

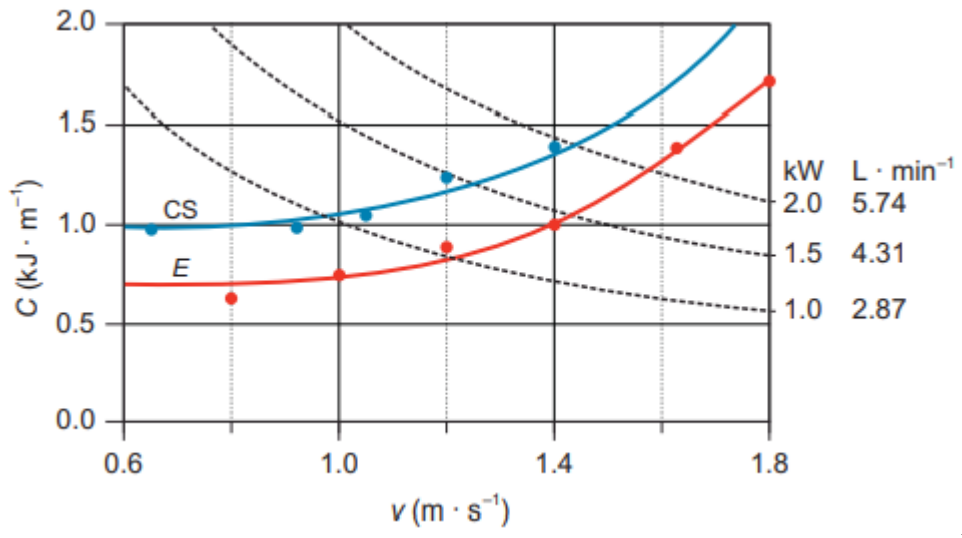
Figura 4: 1

Come si può notare dalla Figura 4.0, la rana è lo stile che varia di più per quanto riguarda il costo energetico e il livello del nuotatore. Il delfino quindi, diventa meno energeticamente costoso rispetto alla rana passando da nuotatori di medio livello a nuotatori d'élite. Una spiegazione possibile che i ricercatori hanno fornito per quanto riguarda il CE alto nel delfino nei nuotatori di medio livello è che, avendo una velocità bassa, l'energia spesa è in funzione di contrastare la tendenza del corpo di affondare. Pertanto il costo energetico impiegato nell'avanzamento a delfino è ridotto perché a basse velocità il corpo tende ad affondare e quindi l'energia è impiegata in maggior parte per contrastare questo affondamento piuttosto che per l'avanzamento. Quando aumenta la velocità, aumenta la forza verso l'alto e il contributo relativo delle varie forze di dissipazione potrebbe variare, determinando una riduzione del CE. Per quanto riguarda la rana, un altro stile simmetrico e simultaneo, è presente una grande variazione di velocità tra i cicli di movimento (tra la bracciata, meno potente e la gambata, più potente e un'altra variazione c'è tra la fase propulsiva seguita dalla fase di scivolamento). L'atleta dunque, cerca di compensare il rallentamento dato dal recupero sott'acqua delle braccia e dalla flessione delle gambe nella preparazione della propulsione della gambata. Inoltre, l'energia richiesta col fine di accelerare il corpo aumenta e probabilmente,

costituisce una grande fetta del consumo energetico totale nella rana. Questi fattori spiegherebbero l'incremento lineare (e dunque non esponenziale) della rana e il suo alto costo energetico. Risulta importante sottolineare che la gambata a rana, nel momento della preparazione della fase propulsiva, crea maggior resistenza e dei vortici (data dalla flessione delle gambe) in acqua rispetto alle gambate degli altri stili e presenta le più basse velocità massimali di tutti i quattro stili. Secondo Holmer (1974) nella rana si verificano ampie variazioni di velocità che corrispondono ad una fase di accelerazione e quindi di propulsione ed a una di decelerazione che si verifica nella fase non propulsiva del ciclo (queste variazioni di velocità è una caratteristica peculiare e distintiva della rana, mentre negli altri stili la velocità durante la nuotata risulta essere per lo più lineare). Dunque, rispetto al crawl, le variazioni di velocità nella rana sono il doppio più grandi). Pertanto, l'energia necessaria per accelerare il corpo è ampia e probabilmente costituisce una grande frazione del CE complessivo. Va infine sottolineato che, nei nuotatori di medio livello a velocità basse la rana risulta meno energeticamente dispendiosa del delfino poiché è la forma di nuoto più spontanea, sebbene la tecnica non sia eseguita in maniera perfetta, e che, quindi, i nuotatori di basso-medio livello consumano meno energia quando nuotano la rana rispetto al delfino.

Un'altra ricerca che viene fatta mettendo in confronto nuotatori d'élite con nuotatori di medio livello è stata condotta da Holmer ed è specifica nello stile del Crawl.

Il costo energetico del nuoto nel Crawl viene riportato in funzione della velocità nella figura 4.1 per un gruppo di nuotatori di livello medio-alto (nuotatori universitari) e di nuotatori di livello avanzato/d'élite (Holmer, 1974). In entrambi i gruppi, il CE aumenta sostanzialmente all'incrementare della velocità ($> 1.0 \text{ m/s}^{-1}$). Inoltre, per ciascuna velocità, il CE è inferiore di circa il 20%-40% nei nuotatori d'élite rispetto ai nuotatori universitari. Questo evidenzia il fatto che i nuotatori d'élite sono caratterizzati da un'abilità tecnica migliore e quindi, energeticamente più economica, che permette dunque di raggiungere velocità più elevate al pari della stessa potenza metabolica.



Figura

4:1

APPROFONDIMENTO: Programmazione Annuale Natatoria

Avendo analizzato il consumo energetico nei quattro stili di nuotata in maniera globale dal punto di vista teorico, può risultare interessante analizzare l'argomento dal punto di vista pratico tramite l'illustrazione di un programma natatorio annuale. In tal modo chiunque si addentri in questi argomenti può osservare che i concetti trattati ed elaborati teoricamente in precedenza possono essere riportati alla effettiva realtà e conducono a risultati concreti. Pertanto, l'obiettivo di questo approfondimento è di riportare un programma annuale di una intera stagione natatoria della categoria esordienti B (dai 9 ai 11 anni) e A (dai 11 ai 13 anni). Il focus iniziale è posto sulla quantità di tempo dedicata al miglioramento e perfezionamento della tecnica di nuotata nei vari stili nel corso del tempo rispetto all'allenamento metabolico vero e proprio. Inoltre, verranno illustrati dei tempi di gara di inizio e fine stagione, potendo così analizzare le differenze nei tempi e l'effettivo miglioramento della performance relazionato al consumo energetico.

	SETTEMBRE	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE
SETTI-MANA 1	Dal 30/08 al 03/09. 5 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 1h 15 m lavoro tecnico, 45 m lavoro metabolico (tecnica applicata, lavoro aerobico - velocità crescenti)	Dal 27/09 al 02/10. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 1h lavoro tecnico, 1h lavoro metabolico (tecnica applicata, lavoro aerobico - velocità crescenti)	Dal 01/11 al 06/11. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 3 sedute aerobico, 2 potenza aerobica, 1 seduta	Dal 29/11 al 05/12. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 3 potenza aerobica, 1 seduta sprint - repeated sprint

	KM totali: 12	KM totali: 20	sprint - re- peated sprint KM totali: 24	KM totali: 27
SET TI- MA NA 2	Dal 06/09 al 10/09. 5 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 1h 15 m lavoro tec- nico, 45 m <i>lavoro me- tabolico</i> (tecnica applicata, lavoro ae- robico - velocità crescenti) KM totali: 14	Dal 04/10 al 09/10. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 1h lavoro tecnico, 1h <i>lavoro me- tabolico</i> (tecnica applicata, lavoro ae- robico - velocità crescenti, velocità costanti) KM totali: 20	Dal 08/11 al /11. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 <i>m lavoro</i> <i>metabolico</i> 3 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 1 seduta sprint - re- peated sprint KM totali: 26	Dal 06/12 al 11/12. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h <i>20 m lavoro</i> <i>metabolico</i> 1 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 2 se- duta sprint - repeated sprint KM totali: 19
SET TI- MA NA 3	Dal 13/09 al 17/09. 5 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 1h lavoro tecnico, 1h <i>min lavoro</i> <i>metabolico</i> (tecnica applicata, lavoro ae- robico - velocità crescenti). KM totali: 15	Dal 11/10 al 16/10. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 50 m la- voro tec- nico, 1h 10 <i>m lavoro</i> <i>metabolico</i> (tecnica applicata, aerobico - velocità crescenti, velocità costanti)	Dal 15/11 al 20/11. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 <i>m lavoro</i> <i>metabolico</i> 2 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 1 re- peated sprint, 1 passi gara	Dal 13/12 al 18/12. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h <i>20 m lavoro</i> <i>metabolico</i> 3 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 1 se- duta sprint - repeated sprint

		KM totali: 22	KM totali: 20	KM totali: 25
SET TI- MA NA 4	Dal 20/09 al 025/09. 5 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 1h lavoro tecnico, 1h lavoro me- tabolico (tecnica applicata, lavoro ae- robico - velocità crescenti). KM totali: 16	Dal 18/10 al 23/10. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 50 m la- voro tec- nico, 1h 10 m lavoro metabolico (tecnica applicata, lavoro ae- robico - velocità crescenti, velocità costanti) KM totali: 23	Dal 22/11 al 27/11. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 m lavoro metabolico 3 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 1 seduta sprint - re- peated sprint KM totali: 25	Dal 20/12 al 24/12. 5 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 1 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 1 re- peated sprint, 1 passi gara. KM totali: 23
SET TI- MA NA 5		Dal 25/10 al 31/10. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 50 m la- voro tec- nico, 1h 10 m lavoro metabolico (tecnica applicata, lavoro ae- robico - velocità crescenti,		Dal 27/12 al 31/12. 5 sessioni, 2 ore, dalle 8 alle 10. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 1 re- peated sprint KM totali: 25

		velocità costanti) KM totali: 24		
	GEN-NAIO	FEB-BRAIO	MARZO	APRILE
SETTI-MANA 1	Dal 03/01 al 08/01. 5 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 3 potenza aerobica KM totali: 25	Dal 31/01 al 05/02. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 3 potenza aerobica, 1 anaerobico intervallato KM totali: 26	Dal 28/02 al 05/03. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 1 sedute aerobico, 1 potenza aerobica, 2 passi gara, 2 repeated sprint KM totali: 17	Dal 04/04 al 09/04. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 3 sedute aerobico, 2 potenza aerobica, 1 anaerobico intervallato, KM totali: 26
SETTI-MANA 2	Dal 10/01 al 15/01. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 2 potenza aerobica, 1 repeated	Dal 07/02 al 12/02. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 1 sedute aerobico, 2 potenza aerobica, 1 passi gara,	Dal 07/03 al 13/03. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 30 m lavoro tecnico, 1h 30 m lavoro metabolico 3 sedute aerobico, 2 potenza aerobica, 1	Dal 11/04 al 17/04. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 2 potenza aerobica, 2 anaerobico intervallato

	sprint, 1 passi gara KM totali: 19	1 repeated sprint KM totali: 20	anaerobico intervallato KM totali: 26	KM totali: 30
SET TI- MA NA 3	Dal 17/01 al 22/01. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 m lavoro metabolico 3 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 1 repeated sprint KM totali: 25	Dal 14/02 al 19/02. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 m lavoro metabolico 3 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 1 anaerobico intervallato KM totali: 25	Dal 14/03 al 20/03. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 2 sedute ae- robico, 1 potenza ae- robica, 2 anaerobico intervallato, 1 sprint KM totali: 29	Dal 18/04 al 23/04. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 1 sedute ae- robico, 3 potenza ae- robica, 2 anaerobico intervallato, 1 sprint KM totali: 27
SET TI- MA NA 4	Dal 24/01 al 29/01. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 1 velocità progressive KM totali: 28	Dal 21/02 al 26/02. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 1 anaerobico interval- lato, 1 sprint	Dal 21/03 al 26/03. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 1 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 2 anaerobico intervallato, 1 sprint	Dal 25/04 al 30/04. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m lavoro tecnico, 1h 20 m lavoro metabolico 1 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 2 passi gara, 1 sprint KM totali: 20

		KM totali: 27	KM totali: 27	
SET TI- MA NA 5			Dal 28/03 al 02/03. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 1 sedute ae- robico, 2 potenza ae- robica, 1 passi gara, 2 sprint KM totali: 19	
	MAGGIO	GIUGNO	LUGLIO	
SET TI- MA NA 1	Dal 02/05 al 07/05. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 m lavoro metabolico 1 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 2 passi gara, 1 sprint	Dal 30/05 al 05/06. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 1 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 1 passi gara, 1 sprint	Dal 04/07 al 10/07. 11 sessioni, 2 ore. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 2 sedute ae- robico, 3 potenza ae- robica, 4 anaerobico intervallato, 2 sprint	

	KM totali: 18	KM totali: 21	KM totali: 38	
SET- TI- MAN A 2	Dal 09/05 al 14/05. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 m lavoro metabolico 3 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 1 sprint KM totali: 24	Dal 06/06 al 11/06. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 1 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 1 anaerobico interval- lato, 1 sprint KM totali: 24	Dal 11/07 al 16/07. 11 sessioni, 2 ore. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 2 sedute ae- robico, 3 potenza ae- robica, 4 anaerobico intervallato, 2 passi gara KM totali: 35	
SET- TI- MAN A 3	Dal 09/05 al 14/05. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 1 anaerobico	Dal 13/06 al 18/06. 8 sessioni, 2 ore. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 3 sedute aerobico, 3 potenza ae- robica, 1 anaerobico interval- lato, 1 sprint	Dal 11/07 al 16/07. 5 sessioni, 2 ore. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 2 potenza aerobica, 2 passi gara, 1 repeated sprint KM totali: 19	

	interval- lato, 1 sprint KM totali: 28	KM totali: 26		
SET- TI- MAN A 4	Dal 23/05 al 28/05. 6 sessioni, 2 ore, dalle 14 alle 16. 40 m la- voro tec- nico, 1h 20 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 2 potenza ae- robica, 2 anaerobico intervallato KM totali: 31	Dal 20/06 al 25/06. 11 ses- sioni, 2 ore. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 3 sedute aerobico, 3 potenza ae- robica, 3 anaerobico interval- lato, 2 sprint KM totali: 43		
SET- TI- MAN A 5		Dal 27/06 al 01/07. 11 ses- sioni, 2 ore. 30 m la- voro tec- nico, 1h 30 m lavoro metabolico 2 sedute aerobico, 4 potenza ae- robica, 3 anaerobico		

		interval- lato, 2 sprint KM totali: 41		
--	--	--	--	--

COMMENTARY:

Gruppo di atleti nuotatori, conta 13 componenti, età 10-12 femmine, 11-13 maschi. Gruppo eterogeneo, livelli differenti: 2-3 atleti ai vertici nazionali per anno di nascita, 11/13 atleti qualificati ai campionati regionali.

Competizioni:

- 21-11, provinciale;
- 08-12, provinciale;
- 16-01, provinciale;
- 13-02, provinciale;
- 06-03, provinciale;
- 27-03, trofeo a squadre inter-provinciale;
- 03-04, meeting regionale di selezione per i campionati italiani di categoria (Trofeo delle Regioni);
- 01-05, provinciale;
- 08-05, provinciale;
- 05-06, trofeo a squadre inter-regionale, vasca 50m;
- 12-06, trofeo a squadre inter-provinciale;
- 17/18-06, trofeo internazionale, vasca 50m;
- 18/20/22-07 campionati regionali di categoria, vasca 50m

Come si può notare dalla tabella, sono riportati i programmi di allenamento suddivisi in lavoro di tecnica e lavoro metabolico. Per lavoro di tecnica si intende una serie di esercitazioni, a secco o in acqua, di tipo propriocettivo-coordinativo, al fine di modificare pattern motori nella tecnica specifica di nuotata. Queste modificazioni portano ad una maggior efficienza nell'avanzamento e nella locomozione in acqua, minor dispendio energetico a parità di avanzamento, miglioramenti nei riscontri cronometrici con implicazioni psicologico-motivazionali negli atleti, riduzione del rischio di infortuni.

SETTIMANA TIPO ESORDIENTI A (ETA' 10-13 ANNI) RANAZZURRA CONEGLIANO

	LUNEDI	MARTEDI	MERCOLEDI	GIOVEDI	VENERDI	SABATO
ALLENAMENTO	30 minuti parte tecnica-coordinativa 45 minuti lavoro principale del giorno (es. 24x100 m, riposo 15-20 sec. Per ripetuta) Criterio di riuscita: mantenimento di un tempo limite (es. 80% massimale sui 100 m) 15-20 minuti ripresa tecnica - pausa (bagno, recupero attivo, ecc.) 25-30 minuti sprint, scatti, sfide/giochi (staffette, gare ad handicap, ecc.)	30-35 minuti preparazione a secco in palestra 20 minuti parte tecnica-coordinativa 45 minuti lavoro principale del giorno (es. 60x25, riposo incompleto, recupero attivo ogni 20 ripetute) Criterio di riuscita: mantenimento di un tempo limite (es. record sui 50 / 2) 15-20 minuti ripresa tecnica - pausa (bagno, recupero attivo, ecc.) - breve aerobico	30 minuti parte tecnica-coordinativa 45 minuti lavoro principale del giorno (es. 40x50 m, riposo 10 sec. Per ripetuta) Criterio di riuscita: mantenimento di un tempo limite (es. 85% massimale sui 100 m) 15-20 minuti ripresa tecnica - pausa (bagno, recupero attivo, ecc.) 25-30 minuti sprint, scatti, sfide/giochi (staffette, gare ad handicap, ecc.)	30 minuti parte tecnica-coordinativa 45-50 minuti lavoro principale del giorno (es. 32x50, 1 di quasi massimale, 1 di recupero attivo) Criterio di riuscita: mantenimento di un tempo limite (es. record sui 100 / 2) 15-20 minuti ripresa tecnica - pausa (bagno, recupero attivo, ecc.) - breve aerobico	30 minuti parte tecnica-coordinativa 45 minuti lavoro principale del giorno (es. 60x25 m, non a stile libero, riposo 10 sec. Per ripetuta) Criterio di riuscita: mantenimento di un tempo limite (es. 85% massimale sui 100 m) 15-20 minuti ripresa tecnica - pausa (bagno, recupero attivo, ecc.) 25-30 minuti sprint, scatti, sfide/giochi (staffette, gare ad handicap, ecc.)	30-35 minuti preparazione a secco in palestra 20 minuti parte tecnica-coordinativa 45 -50 minuti lavoro principale del giorno (es. ripetute sui 10-15 m, apnee, scatti sui 25 m, riposo completo, recupero attivo ogni 20 ripetute) Criterio di riuscita: mantenimento di un tempo limite (es. non respirare, battere un tempo) 15-20 minuti ripresa tecnica - pausa (bagno, recupero attivo, ecc.) - breve aerobico
TEMA TECNICO	PROIETTILE (tono-postura dinamica)	PROPULSIONE (forza applicata al gesto)	SPAZIO (all. Propriocettivo)	SPAZIO (all. Propriocettivo)	PROIETTILE (tono-postura dinamica)	PROPULSIONE (forza applicata al gesto)
OBIETTIVO ALLENAMENTO	AEROBICO	ANAEROBICO (INTERVALLI INTENSIVO)	AEROBICO	ANAEROBICO (INTERVALLI INTENSIVO)	AEROBICO	SPRINT - REPEATED SPRINT

TOTALE KM PREVISTI: 25 km c.a.

Figura 5.1: esempi di lavori di tecnica in una settimana tipo

Il lavoro metabolico in questo caso è contraddistinto per stimolare prevalentemente l'apparato neuromuscolare e il cardiovascolare-respiratorio. Ci sono diversi tipi di lavori metabolici su cui è incentrato l'allenamento natatorio (aerobici, anaerobici, di sprint, e le diverse varianti riportate nella tabella) e si distinguono a seconda del periodo della stagione e della vicinanza ad una gara (per esempio ad inizio stagione c'è una maggiore prevalenza di un lavoro aerobico).

Nel programma annuale, dunque, si può notare come venga data un'importanza evidente per la tecnica di nuotata nelle prime settimane della stagione. Lo scopo di tale lavoro è:

- perfezionare il gesto tecnico della nuotata
- migliorare l'efficacia di propulsione, in modo tale che il dissipamento di energia è ridotto
- sviluppare e perfezionare l'aspetto propriocettivo e coordinativo nonché controllo motorio del gesto tecnico della nuotata.
- Ridurre il rischio di creare compensazioni e traumi a lungo andare (con possibili infortuni)
- Rendere economico ed automatico la corretta esecuzione del movimento natatorio.

Con il proseguimento dell'anno e l'avvicinamento alle competizioni, i lavori metabolici diventano sempre più considerevoli e la tecnica viene mantenuta e stimolata ma con minor dedica di tempo.

Il fine di questo specifico programma annuale è che l'atleta ad inizio stagioni perfezioni ed economizzi la sua tecnica, migliori i suoi difetti e man mano che si avvicinano le competizioni mantenga una tecnica corretta di nuotata avendo inoltre gli stimoli metabolici adatti per sostenere la gara e migliorando la performance. I tempi di inizio stagione (ottobre) e di fine stagione ci permettono di capire concretamente l'efficacia di questa specifica programmazione (i tempi finali rilevati sono di maggio e non sarebbero precisamente di fine stagione ma rimangono comunque utili al fine di dimostrare l'efficacia di questo lavoro).

Sesso	Inizio Stagione	Fine Stagione
<i>M1</i>	1,12.8	1,08.5
<i>M2</i>	1,20.8	1,13.0
<i>M3</i>	1,20.0	1,07.3
<i>M4</i>	1,19.6	1,08.4
<i>M5</i>	1,28.7	1,15.0
<i>M6</i>	1,01.0	57,8

Figura 5.1: tempi degli atleti maschi di inizio e fine stagione nei 100m crawl

Sesso	Inizio Stagione	Fine Stagione
<i>F1</i>	1,19.7	1,12.1
<i>F2</i>	1,18.6	1,10.6
<i>F3</i>	1,25.7	1,17.5
<i>F4</i>	1,14.9	1,08.9
<i>F5</i>	1,09.7	1,04.5
<i>F6</i>	1,16.5	1,11.3
<i>F7</i>	1,16.0	1,09.5

Figura 5.2: tempi degli atleti femmine nei 100 m crawl

Sesso	Inizio Stagione	Fine Stagione
<i>M1</i>	2,39.0	2,30.5
<i>M2</i>	2,59.7	2,42.1
<i>M3</i>	2,39.9	2,23.1
<i>M4</i>	2,58.6	2,24.3
<i>M5</i>	3,01.7	2,42.2
<i>M6</i>	2,40.1	2,18.8
<i>M7</i>	2,23.7	2,08.0

Figura 5.3: tempi degli atleti maschi nei 200m crawl

SESSO	INIZIO STAGIONE	FINE STAGIONE
<i>M1</i>	5,35.6	5,10.6
<i>M2</i>	5,33.6	5,09.9
<i>M3</i>	6,14.2	5,21.3
<i>M4</i>	5,28.1	4,50.5
<i>M5</i>	4,50.4	4,33.5

Figura 5.4: tempi di atleti maschi nei 400m crawl

SESSO	Inizio Stagione	Fine Stagione
<i>F1</i>	5,42.9	5,18.6
<i>F2</i>	5,20.1	4,58.7
<i>F3</i>	5,44.5	5,34.0

Figura 5.5: Tempi di atlete femmine nei 400m crawl

SESSO	Inizio Stagione	Fine Stagione
<i>M1</i>	1,37.9	1,24.5
<i>M2</i>	1,27.6	1,19.1
<i>M3</i>	1,33.3	1,16.3
<i>M4</i>	1,34.4	1,31.0
<i>M5</i>	1,13.2	1,05.9

Figura 5.6: tempi di atleti maschi nei 100m dorso

Sesso	Inizio Stagione	Fine Stagione
<i>F1</i>	1,31.4	1,26.8
<i>F2</i>	1,29.0	1,16.8
<i>F3</i>	1,32.7	1,28.5
<i>F4</i>	1,20.5	1,15.0
<i>F5</i>	1,24.4	1,18.3

Figura 5.7: tempi di atlete femmine nei 100m dorso

Sesso	Inizio Stagione	Fine Stagione
<i>M1</i>	1,39.1	1,29.6
<i>M2</i>	1,30.5	1,17.1
<i>M3</i>	1,12.4	1,08.4
<i>F1</i>	1,25.9	1,19.7
<i>F2</i>	1,19.7	1,12.7

Figura 5.8: tempi nei **100m delfino** di atleti maschi e femmine

Analizzando i tempi, è possibile riscontrare un notevole miglioramento rispetto ad inizio stagione. I tempi illustrati sono stati scelti in base alla quantità di dati presenti (negli altri stili di gara o lunghezze di gara i dati erano minori).

Pertanto la programmazione annuale si può considerare efficace, oltre che valida, in quanto ha portato miglioramenti concreti dei tempi a fine stagione. Inoltre ha permesso, tramite sessioni di allenamento di tecnica e metabolico combinati, di migliorare tutte le performance evidenziate di atleti maschi e femmine. Avendo migliorato la prestazione, si può dedurre che, anche l'efficacia di propulsione, così come il consumo energetico siano perfezionati e ottimizzati.

Sebbene i risultati siano evidentemente migliorati, non è detto che le cause di questo miglioramento dei risultati provenga solo dalle variabili elencate precedentemente (efficacia della spinta e dalla riduzione del consumo energetico, economizzazione del gesto). Difatti esistono altri fattori che influenzano i risultati:

- **Fattori antropometrici:** i fattori come l'altezza, il peso, soprattutto nella

fase prepuberale e puberale incidono significativamente nella performance di qualsiasi attività sportiva. Difatti sono qui sotto riportati i dati antropometrici di inizio e fine stagione degli atleti considerati:

Dati antropometrici	<i>Peso inizio stagione (kg)</i>	<i>Peso fine stagione (kg)</i>	<i>Altezza Inizio Stagione (cm)</i>	<i>Altezza fine Stagione (cm)</i>
<i>M1</i>	35,0	42,8	146,0	156,5
<i>M2</i>	41,8	42,6	144,0	148,0
<i>M3</i>	38,1	40,5	150,0	154,0
<i>M4</i>	49,2	55,0	161,5	169,0
<i>M5</i>	43,8	49,5	148,0	156,0
<i>M6</i>	43,8	44,5	149,0	157,0
<i>M7</i>	44,7	45,1	146,0	153,0
<i>F1</i>	34,6	35,4	138,0	142,0
<i>F2</i>	45,9	54,0	131,0	152,0
<i>F3</i>	38,5	40,0	146,0	153,0
<i>F4</i>	49,3	52,0	160,5	165,0
<i>F5</i>	55,5	56,5	156,0	154,0
F6	35,3	38,5	143,0	149,5

F7	44,2	45,5	144,0	148,0
----	------	------	-------	-------

Figura 5.9: fattori antropometrici degli atleti maschi e femmine considerati

- **Fattori Psicologici:** negli atleti il fattore ansia per una prova di gara o per una gara stessa incide positivamente e negativamente. A seconda dello stato di tensione dell'atleta, la prestazione può essere alterata e quindi influenzare il risultato del test.
- **Stato di forma fisica:** gli atleti considerati sono stati valutati ad ottobre e fine maggio, pertanto hanno avuto un mese di allenamento per la prova iniziale, mentre provengono da mesi di allenamento per quanto riguarda l'ultima prova. Questo fattore può certamente influenzare gli atleti in quanto il loro stato di forma non era lo stesso in entrambe le prove e nemmeno il carico di lavoro.

In conclusione si può affermare che, la programmazione annuale di nuoto che combina tecnica e lavoro metabolico adeguati al periodo stagionale, consente un miglioramento delle performance degli atleti e, di conseguenza si ottiene un minor consumo energetico, un miglioramento dell'efficacia di propulsione, l'ottimizzazione del gesto tecnico, oltre che l'affinamento delle capacità propriocettive e coordinative dell'atleta. La misurazione delle SL e SR (Stroke Length e Stroke Rate; lunghezza e frequenza di bracciata) avrebbe consentito una più accurata e dettagliata argomentazione riguardante questo approfondimento, nonostante ciò, i dati forniti consentono ugualmente di dimostrare scientificamente la trattazione sviluppata.

CONCLUSIONE

Nel concludere questo lavoro, desidero esprimere i miei più sinceri ringraziamenti a tutti coloro che mi hanno supportato durante questo percorso di studi e nella realizzazione di questo lavoro:

Un grazie al professor Nicola Doria, per avermi permesso di studiare ed esaminare questo lavoro nell'ambito del nuoto;

Un devoto grazie ad Alberto Padovan per avermi fornito dei dati utili per l'approfondimento e per avermi aiutato nell'ideare la parte conclusiva della tesi.

Un grazie ai miei genitori ed alla mia famiglia, per avermi permesso di iniziare e di completare questo percorso di studi, e per il supporto nei momenti di difficoltà;

Infine un grazie a tutti i docenti dai quali ho imparato molto in questi anni, per avermi trasmesso una grande passione e per avermi dato un nuovo modo di vedere e comprendere, ora con maggior consapevolezza, il meraviglioso mondo dello sport.

BIBLIOGRAFIA

www.treccani.it

www.uisp.it

www.federnuoto.it

www.researchgate.net

www.ncbi.nlm.nih.gov

Abernethy PJ, Acute and chronic responses of skeletal muscle to endurance and sprint exercise: a review. *Sport Med.* 1990; 10:365.

Balsom PD, Physiological responses to maximal intensity intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992; 65: 144.

Bogdanis GC, Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol.* 1996; 80: 876

Costill DL, Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J Appl Physiol.* 1979; 46: 96.

Dawson B, Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998; 78: 163.

Fitts R, Cellular, molecular, and metabolic basis of muscle fatigue In: *Handbook of Physiology Exercise: Regulation and Integration of Multiple System.* Bethesda, MD: American Physiology Society, 1996: 1551

Gaitanos GC, Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol.* 1993; 75: 712

Greive JS, Effects of endurance training on muscle glycogen accumulation in humans: *J Appl Physiol.* 1999; 87: 222

Hawley JA, Adaptation to training in endurance cyclist: implications for performance. *Sports Med* 2001; 31: 511

Komi P, Effects of heavy resistance and explosive-type strength training methods on mechanical, functional, and metabolic aspects of performance. In: Komi PV, ed. *Exercise and Sport Biology*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1982: 90.

Kubukeli ZN, Training techniques to improve endurance exercise performances. *Sports Med.* 2002; 32: 489.

MacDougall JD, Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol.* 1998; 84: 2138.

MacDougall JD, Biochemical adaptations of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J Appl Physiol.* 1977; 43: 700.

Melbo J, Aerobic and anaerobic energy released during 10 and 30s bicycle sprints. *Acta Kinesiol Univ Tartuensis.* 1999; 4: 122

Meyer R, The metabolic system: control of ATP synthesis in skeletal muscle. In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2006: 370.

Parra J, The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiol Scand.* 2000; 169: 157.

Ross A, Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Med* 2001; 31: 1063

Spencer M, Physiological and metabolic responses of repeated sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med*. 2005; 25: 1025.

Tesch PA, Acute and chronic muscle metabolic adaptations to strength training. In : Komi PV, ed. *Strength and Power in Sport*. 2nd ed Oxford, England: Blackwell Scientific, 2002: 265.

Tesch PA, Enzymatic adaptations consequent to long term strength training. *Int J Sports Med*. 1987; 8 (suppl 1): 66.

Andersen P, Capillary supply of the quadriceps femoris muscle man: adaptive response to exercise. *J Appl Physiol*. 1991; 70: 1816.

Berg JM, *Biochemistry*. WH Freeman and Co; 1991.

Brooks Ga. Intra and extracellular lactate shuttles. *Med Sci Sports Exerc*. 2000; 32: 790.

Holloszy JO. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise. *Med Sci Sports*. 1975; 7: 155.

Jones AM; The effects of endurance training on parameters of aerobic fitness. Sports Med. 2000; 29: 373.

Toussaint HM, Knops W, De Groot G, Hollander AP. The mechanical efficiency of front crawl swimming. Med Sci Sports Exerc. 1990;22:402-8.

Di Prampero PE. The energy cost of human locomotion on land and in water. Int J Sports Med. 1986;7:55-72

Montpetit RR, Leger LA, Lavoie JM, Cazorla G. VO₂ peak during free swimming using the backward extrapolation of the O₂ recovery curve. Eur J Appl Physiol. 1981;47:385-91

Costill DL, Kovaleski J, Porter D, Kirwan J, Fielding R, King D. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. Int J Sports Med. 1985;6:266-70

Ogita F, Tabata I. Effect of hand paddle aids on oxygen uptake during arm-strokeonly swimming. Eur J Appl Physiol. 1993;66:489-93

Chatard JC, Lavoie JM, Lacour JR. Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. Eur J Appl Physiol 1990;61:88-92.

Chatard JC, Lavoie JM, Lacour JR. Energy cost of front-crawl swimming in women.

Eur J Appl Physiol. 1991;63:12-6

Zamparo P, Bonifazi M, Faina M. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. Eur J Appl Physiol. 2005;94:697-704

Zamparo P, Capelli C, Cautero M, Di Nino A. Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. Eur J Appl Physiol. 2000;83:487-91

Capelli C, Pendergast DR, Termin B. Energetics of swimming at maximal speeds in humans. Eur J Appl Physiol. 1998;78:385-93

Kjendlie PI, Ingjer F, Stallman RK, Stray-Gundersen J. Factors affecting swimming economy in children and adults. Eur J Appl Physiol. 2004

Chatard JC, Padilla S, Carzola G, Lacour JR. Influence of body height, weight, hydrostatic lift and training on the energy cost of the front crawl. NZL Sports Med. 1985;13:82-4

Toussaint HB. Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. Med Sci Sports Exerc. 1990;22:409-415

Pendergast DR, Di Prampero PE, Craig AB Jr, Wilson DR, Rennie DW.

Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J Appl Physiol.* 1977;43:47

Klentrou PP, Montpetit RR. Energetics of backstroke swimming in males and females. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24:371-5

Montpetit RR, Carzola G, Lavoie JM. Energy expenditure during front crawl swimming: a comparison between males and females. In: Ungerechts BE, Wilke K, Reischle K, editors. *Swimming science*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1988; 5:229-35

Toussaint HM, Knops W, De Groot G, Hollander AP. The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:402-8

Toussaint HM, De Groot G, Savelberg HH, Vervoorn K, Hollander AP, Van Ingen Schenau GJ. Active drag related to velocity in male and female swimmers. *J Biomech.* 1988;21:435-8

Huijing PA, Clarys JP, Toussaint HM, et al. Active drag related to body dimensions. In: Ungerechts B, editors. *Abstracts 5th International symposium of biomechanics and medicine in swimming*. Bockenem: Fahnenmann, 1986;4

Poujade B, Hautier CA, Rouard A. Determinants of the energy cost of frontcrawl swimming in children. *Eur J Appl Physiol.* 2002;87:1-6

Zamparo P, Capelli C, Termin B, Pendergast DR, Di Prampero PE. Effect of the underwater torque on the energy cost, drag and efficiency of front crawl swimming. *Eur J Appl Physiol.* 1996;73:195-20

Capelli C, Zamparo P, Cigalotto A, Francescato MP, Soule RG, Termin B, et al. Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming. *J Appl Physiol.* 1995; 78:674-9

Yanai T. Rotational effect of buoyancy in front crawl: does it really cause the legs to sink? *J Biomech.* 2001;34:235-43

Kjendlie PL, Ingjer F, Madsen O, Stallman RK, Stray-Gundersen J. Differences in the energy cost between children and adults during front crawl swimming. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91:473-80

Toussaint HM, de Looze M, Van Rossem B, Leijdekkers M, Dignum H. The effect of growth on drag in young swimmers. *Int J Sports Biomech.* 1990;6:18-28

Toussaint HM, Hollander AP, Van den Berg C, Vorontsov A. Biomechanics of swimming. In: Garrett WE, Kirkendall DT, editors. Exercise and Sport Science. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 2000;639-60

Holmer I. Physiology of swimming man. Acta Physiol Scand Suppl. 1974;407:1-55.

Lavoie JM, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. Sports Med. 1986; 3:165-89

Hollander PA, De Groot G, Van Ingen Schenau GJ, Kahman R, Toussaint HM. Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming. In: Ungerechts BE, Wilke K, Reischle K, editors. Swimming science. Champaign, IL: Human Kinetics, 1988;5:39-44.

Zamparo P, Pendergast DR, Mollendorf J, Termin A, Minetti AE. An energy balance of front crawl. Eur J Appl Physiol. 2005;94:134-44

Pendergast D, Zamparo P, Di Prampero PE, Capelli C, Cerretelli P, Termin A, et al. Energy balance of human locomotion in water. Eur J Appl Physiol. 2003;90:377-86

Zamparo P, Pendergast DR, Termin B, Minetti AE. How fins affect the economy and efficiency of human swimming. J Exp Biol. 2002;205:2665-76

Holmer I. Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles. *Eur J Appl Physiol.* 1974;33:105-18

Ogita F, Hara M, Tabata I. Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiol Scand.* 1996; 157:435-41

Smith HK, Montpetit RR, Perrault H. The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *Eur J Appl Physiol.* 1988;58:182-8.

Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes R, Colaço P, Lima JP, Vilas-Boas JP. Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the center of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol.* 2005;93:519-23.

Barbosa TM, Keskinen KL, Fernandes R, Colaco P, Carmo C, Vilas-Boas JP. Relationships between energetic, stroke determinants, and velocity in butterfly. *Int J Sports Med.* 2005;26:841-6

Choi SW, Kurokawa T, Ebisu Y, Kikkawa K, Shiokawa M, Yamasaki M. Effect of wearing clothes on oxygen uptake and ratings of perceived exertion while swimming. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2000;19:167-7

Holmer I. Propulsive efficiency of breaststroke and freestyle swimming. *Eur J Appl Physiol.* 1974;33:95-103

Chengalur SN, Brown PL. An analysis of male and female Olympic swimmers in the 200-meter events. *Can J Sport Sci.* 1992;17:104-9

Kennedy P, Brown PL, Chengalur SN, Nelson RC. Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events. *Int J Sport Biomech.* 1990;6:187- 97.

Arellano R, Brown P, Cappaert J, Nelson RC. Analysis of 50-, 100- and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *J Appl Biomech.* 1994;10: 189-99.

Grimston SK, Hay JG. Relationships among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Med Sci Sports Exerc.* 1986;

Craig AB Jr, Skehan PL, Pawelczyk JA, Boomer WL. Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17:625-34.

. Caputo F, Lucas RD, Greco CC, Denadai BS. Características da braçada em diferentes distâncias no estilo crawl e correlações com performance. *Rev Bras Ciên Mov.* 2000;8:7-13

Termin B, Pendergast DR. Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *J Swimming Res.* 2000; 14:9-17.

Wakayoshi K, D'Acquisto LJ, Cappaert JM, Troup JP. Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *Int J Sports Med.* 1995;16:19-23

Toussaint HM, Janssen T, Kluft M. Effect of propelling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming. *J Biomech.* 1991;24:205-11

Deschodt VJ, Arzac LM, Rouard AH. Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur J Appl Physiol.* 1999;80:192-9