

Differenze di forza e potenza in uomini e donne.

Da una breve analisi comparativa dei record maschili e femminili nell'atletica leggera e in altri sport alla analisi delle potenzialità fisiche.

Renato Manno



È noto che le donne hanno una minore capacità di forza rispetto agli uomini e sono meno alte e meno pesanti, questo è senso comune che per tanto tempo, però, non è stato sufficientemente analizzato contribuendo a far emergere convinzioni generiche e qualche volta dannose. Negli ultimi tempi oltre alla generale emancipazione della donna vi è stata, da una parte, la crescita della partecipazione femminile alle attività fisica e sportiva in generale ed in particolare una serie di specialità prima non praticate dalle donne (lancio del martello, triplo, prove lunghe, lotta, sollevamento pesi, prove prolungate), dall'altra lo sviluppo delle conoscenze sulla spinta della necessità di sviluppare una preparazione per prevenire infortuni causate dalle fragilità (a volte supposte) dovute alla specificità della biologia femminile. Entrambi i temi hanno spinto l'interesse delle specificità di genere per il miglioramento delle prestazioni e della salute. I molti luoghi comuni sulla potenzialità delle donne nelle prestazioni fisiche e sportive vanno rivisti ed integrati avendo a disposizione le ricerche scientifiche ed una vera e propria sperimentazione universale quale le competizioni sportive, in particolare quelle in cui esiste un sistema in grado di quantificare le differenze di risultato mediante i record assoluti che, per loro obiettivo, vengono realizzati in condizioni il più possibile comparabili. La ricerca scientifica tradizionale inoltre mette a disposizione una notevole quantità di studi che comparano le caratteristiche fisiologiche, motorie e antropometriche con quelle dell'uomo, metodo

Track and Field	Swimming	Cycling*	Speed Skating	Weightlifting*
High jump	50m FS	Sprint	500m	Flyweight (-56kg/-48kg)
Long jump	100m FS		1000m	Lightweight (-69kg/-69kg)
Pole vault	200m FS		1500m	Heavyweight (+105kg/+75kg)
Triple jump	400m FS		5000m	
	800m FS			
100m	1500m FS			
200m	100m back			
400m	200m back			
800m	100m breast			
1500m	200m breast			
5000m	100m fly			
10000m	200m fly			
4x100m*	4x100m FS			
4x400m*	4x100m MR			
400m hurdles	4x200m FS			
20km walk*	200m IM			
Marathon	400m IM			

*No data for TBP

Tabella 1 – Sport analizzati per comparare il livello prestativo, scelte fra quelle i cui regolamenti, i parametri rilevati e le condizioni di gara permettono il confronto (da Thibault e al 2010)

che è il sistema più potente per acquisire conoscenze sulle specificità e le diversità di genere.

Uno studio di Stobbe (42) ha elaborato tali differenze partendo da un insieme di specialità che producono prestazioni parametriche comparabili anche per via delle condizioni ambientali (Tabella 1) cioè atletica leggera, nuoto, pattinaggio, sollevamento pesi, ciclismo (solo pista). La conclusione di tale imponente lavoro, composto da diverse pubblicazioni (2, 42), è che dal 1983 la differenza delle prestazioni fra maschi e femmine è stabile, nonostante, ad esempio, un notevole incremento della partecipazione delle donne alle competizioni a partire dagli anni 80, come si vede nella fig. nelle olim-

piadi (fig. 1). Vi sono stati dei periodi di importante incremento del livello prestativo delle donne, misurato attraverso il numero dei record (fig. 2), in un periodo in cui gli stessi maschi evidenziavano un progresso nelle prestazioni. Sull'analisi di questa comparazione pesa la "tara" del sospetto di doping, che pur valendo anche per i maschi, nel periodo controllato ha avuto un progresso che ha portato a un incremento di prestazione che poi non si è confermato, anzi è diminuito. In particolare vi sono delle crescite delle prestazioni femminili in determinati periodi che hanno destato specifici sospetti. Uno studio di Seiler e al (37) ha analizzato l'evoluzione delle differenze di prestazioni di sprint ed anaerobici nella corsa, nuoto, e pattinaggio velocità dal 1952 al 2006. Si rilevano alcuni punti di base, alcuni dei quali noti, come

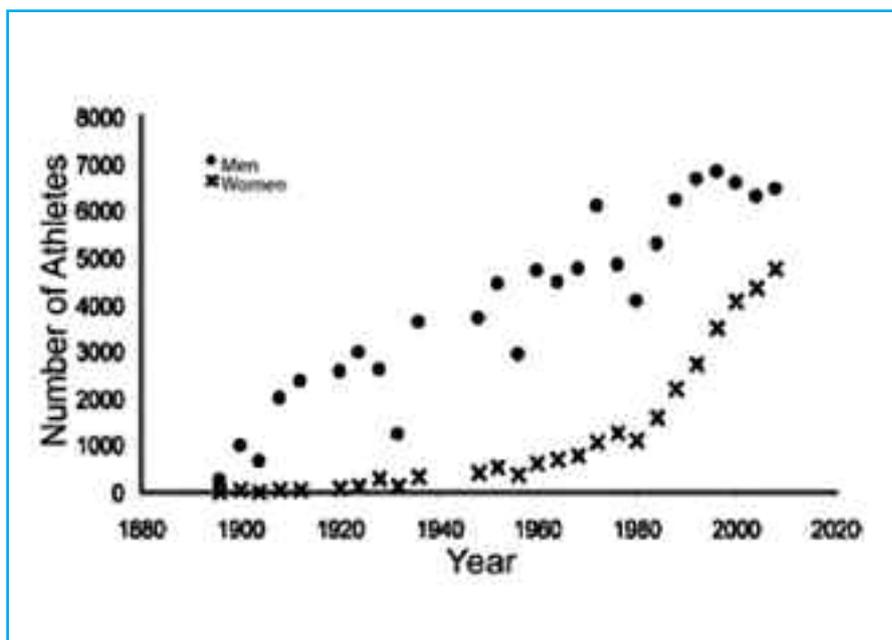


Fig. 1 – Variazione del numero dei partecipanti ai Giochi Olimpici, si noti la crescita della partecipazione femminile a partire dagli anni 80 (da Thibault e al 2010)

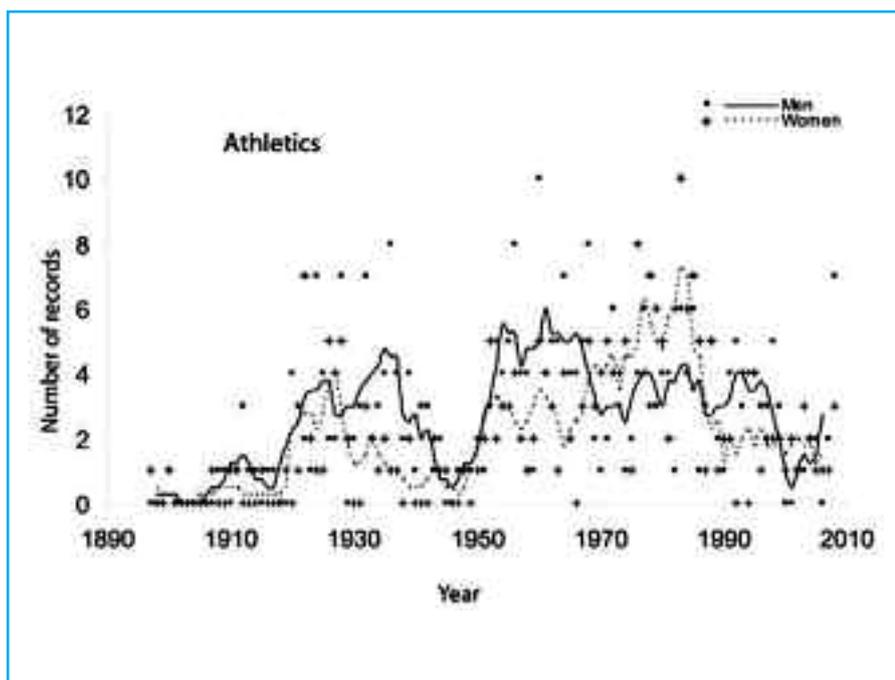


Fig. 2 – Realizzazione dei record mondiali in atletica realizzati dagli uomini (linea continua) e dalle donne (linea tratteggiata) si può notare come una grande quantità di record è stata realizzata fra la fine degli anni 70 e l'inizio degli anni 80 (da Thibault e al 2010)

la continua crescita delle prestazioni, altri importanti come la constatazione che il progresso di prestazione delle donne per lungo tempo è stato superiore a quello degli uomini, ad esempio nel 1936 Jesse Owens correva i 100 metri in 10"2, quando nello stesso anno Helen Stephens correva i 100 metri femminili in 11"5. Da allora al 2007 il record dei 100 metri maschili è migliorato del 4,4% e quello femminile dell'8,8%, oggi il progresso maschile con l'era Bolt ha avuto ulteriore incremento con 9"58 che riduce la differenza del tasso di crescita.

Gli autori hanno descritto un aumento delle differenze a partire dal 1952 perchè sono poi diminuite progressivamente toccando il punto più basso delle stesse nel 1980; questo periodo

ha coinciso con il massimo successo ed attività dei paesi dell'Est a regime comunista su cui gravano forti sospetti di doping di stato. A tale proposito Francke e Berendonk (11) lo hanno descritto in un lungo articolo basato sulle notizie dei documenti segreti sul doping di stato nell'allora cosiddetta Germania Democratica (DDR). La DDR a quel tempo aveva mietuto grandi successi con solo 18 milioni di abitanti, ponendosi ai vertici mondiali con paesi ben più grandi. Al di là degli aspetti storico sociali e legali è importante citare cosa gli specialisti tedeschi est stimavano quale effetto della loro pratica dopante, dove specificatamente sottolineavano che i margini stimati di progresso a causa delle sostanze somministrate erano superiori nelle

donne rispetto agli uomini nello spazio di tempo di 4 anni; ad esempio pronosticavano nel disco femminile 11-20 metri di progresso, rispetto ai maschi (10-12 m), peso uomini 2,-4 metri, donne 4.5-5 metri etc. Alla luce di queste rivelazioni pubblicate in lingua inglese i sospetti dei ricercatori prima citati appaiono più che fondati. Ovviamente le differenze di prestazione possono variare in minore o maggior misura a seconda delle specialità. Espresse in percentuale possono rappresentare differenze importanti ma, ad esempio, non differiscono molto anche quando rappresentano discipline di potenza e discipline di resistenza. La variabilità delle differenze non sembra seguire sempre una logica chiara. Nonostante, come vedremo le donne abbiano un buona attitudine alla resistenza, hanno una differenza minore nello sprint, ma non nei salti, nei lanci la differenza invece può essere notevole anche perché va valutata insieme alla differenza di peso degli attrezzi. A conferma di ciò fino al 2007 nell'atletica leggera secondo il sito *finish line pundit: a Track and Field Blog*, le disparità specialità per specialità mostravano le seguenti differenze:

- 100, 6.9%
- 200, 9.5%
- 400, 9.3%
- 800, 10.7%
- 1000, 11.4%
- 1500, 10.6%
- Mile, 11.7%
- 2000, 12.5%
- Steeplechase, 12.5%
- 3000, 9.3%
- 5000, 11.6%
- 10,000, 11.0%

20,000, 13.0%
 Hour, 15.1%
 25,000, 15.1%
 30,000, 15.6%
 100/110 Hurdles, -5.5%
 400 Hurdles, 10.6%
 High Jump, 17.2%
 Pole Vault, 22.4%
 Long Jump, 19.0%
 Triple Jump, 18.0%
 Shot, 2.2%
 Discus, -3.5%
 Hammer, 11.5%
 Javelin, 37.4%

Come si può vedere le prove veloci non hanno una differenza percentuale superiore alle prove lunghe anzi fino ai 400 si ha una differenza inferiore al 10%, sulle siepi si ha fino al 12,5%, i salti mostrano una differenza superiore al 17% per cento con picco nell'asta al 22,4%, anche se in questo ci potrebbe essere l'alibi della relativa più recente apparizione di questa specialità, peso e disco hanno una notevole disparità di peso dell'attrezzo, nel disco l'attrezzo pesa la metà di quello maschile ed il peso l'80% in meno circa, quasi simile la condizione del lancio martello. Nel lancio del giavellotto nonostante la non trascurabile differenza di peso dell'attrezzo (600 gr contro 800) si ha un 37,2% di differenza di prestazione.

La conclusione di Seiler e al (37) è che, contrariamente a quanto diversi studiosi pronosticavano cioè addirittura un trend in cui si sarebbe raggiunta la parità prestativa progressivamente con il progredire del tempo (fino al 2156), si è raggiunta una stabilità di differenze che probabilmente rispecchia la reale portata della capacità funzionali.

Uno studio più recente e completo, che considera l'evoluzione dei record incluso il periodo prebellico e fra le due guerre e di seguito (42), dimostra come vi sia stato un regresso della differenza vicino alle due guerre, ripetutosi ancora negli anni 90 per l'atletica e negli anni 70 per il nuoto, il picco di crescita fu invece negli anni 60 per il nuoto e intorno al 1983.

Fra le cause delle differenze, per le corse, le differenze metaboliche respiratorie danno un forte contributo, ma anche la struttura scheletrica con le ricadute biomeccaniche partecipa alla differenziazione delle prestazioni. Ferber e al (9) sottolineano come nella cinematica della corsa le donne, sia pur sportive amatoriali, quindi non top level, durante la corsa mostrano una più forte adduzione delle anche, una rotazione interna delle stesse, rispetto agli uomini, che almeno alle velocità basse, comporta una perdita relativa di efficacia e rischio di infortuni.

Le differenze nelle capacità motorie

Molti studi storici sul livello di forza (18, 45, 25, 27) sono stati realizzati oltre 30 anni fa e potrebbero non raffigurare la realtà attuale, studi più recenti comunque non sembrano aggiungere novità sui livelli di forza massima. Sono aumentate, ma non di molto, le conoscenze di diversi processi prestativi e funzionali nei due sessi, ma permangono ancora incertezze sulle ragioni biologiche, e sulle conseguenti strategie di metodologia dell'allenamento nello sport che si proiettano anche nell'attività fisica con obiettivi formativi e preventivi, in particolare nelle età mature dove però si sono realizzati

molti studi e esperimenti che abbiamo trattato in altri lavori su questa rivista in modo indiretto (29,30).

Una chiave importante di comprensione delle differenze è costituita dall'osservazione di tutte le modificazioni che si realizzano durante l'età evolutiva, da una fase prepuberale dove le differenze fra i due sessi sono quasi nulle si passa attraverso la fase puberale e seguenti, che comportano invece modificazioni antropometriche e funzionali notevoli e concentrate nel tempo, guidate soprattutto dagli ormoni portano ad una condizione profondamente diversa che è fra le ragioni delle differenze prestative.

Durante l'adolescenza le proporzioni dello scheletro cambiano, le spalle dei ragazzi si allargano più rispetto alle ragazze, al contrario, hanno un allargamento delle anche maggiore delle loro spalle (30). L'allargamento delle spalle sembra dare vantaggio ai maschi consentendo più massa muscolare e vantaggi meccanici concorrendo a un maggior sviluppo della forza e della potenza negli arti superiori negli uomini (42).

Un altro indicatore delle capacità di forza in maschi e femmine nell'età evolutiva è il rapporto fra spessore dei muscoli e lunghezza del braccio, nei maschi lo sviluppo è superiore perchè ha una massa muscolare più importante rispetto alla lunghezza del braccio della donna. Tale differenza si accentua con il progredire degli stadi di maturazione puberale e si accompagna in modo più moderato al rapporto fra lunghezza degli arti superiori e statura. I maschi con il progredire della maturazione sessuale hanno braccia più lunghe rispetto alla statura nei confronti della ragazze, Fig 3 avendo con ciò

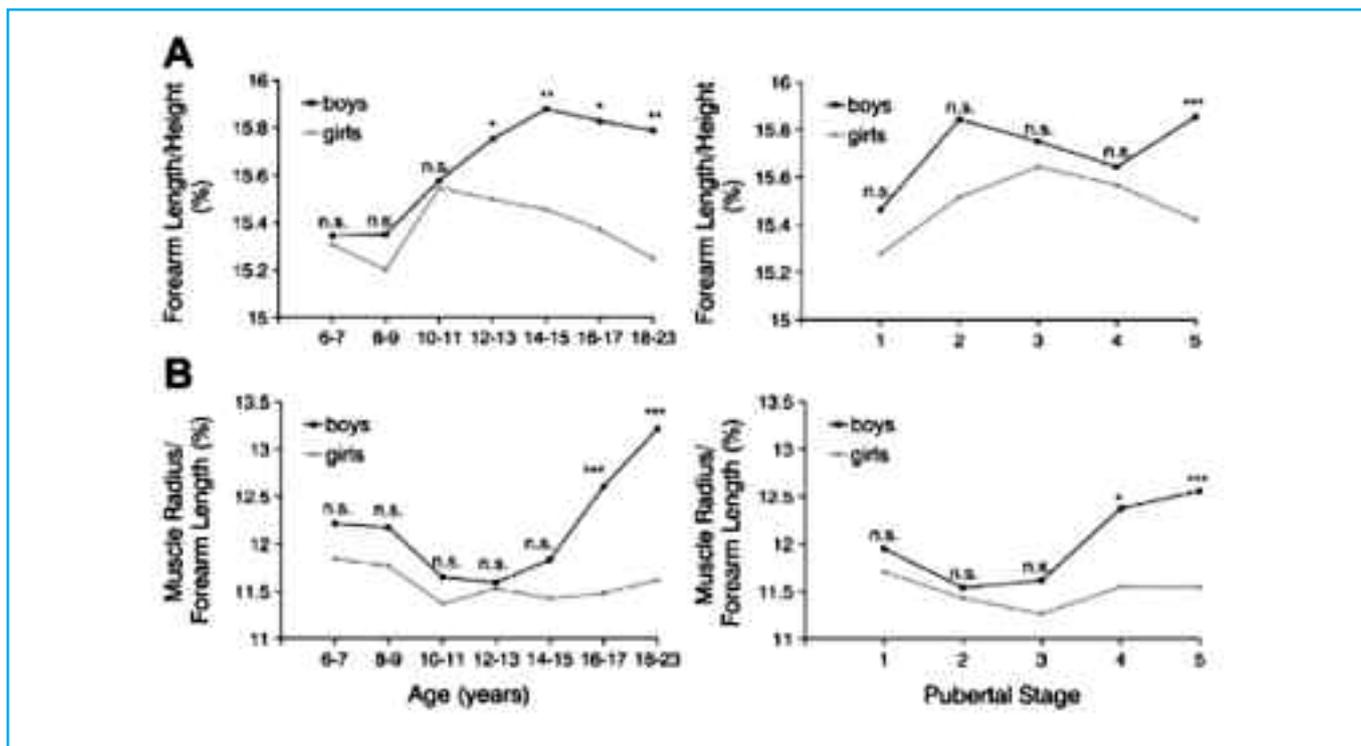


Fig. 3 – Analisi della variazione del rapporto fra la lunghezza degli avambracci e la statura nell'età evolutiva ed in collegamento con le tappe di maturazione puberale (età biologia) da Neu e al (2002)

alcuni vantaggi, ad esempio nella velocità segmentaria, ma un lieve minor vantaggio delle leve come già evidenziato da Fry (12) per gli arti inferiori.

L'allungamento delle anche nelle donne invece concorre ad aumentare l'angolo interno dell'articolazione del ginocchio che accentua il valgismo rispetto al maschio ed è descritto fra le cause della maggiore frequenza d'infortuni nelle donne.

Fry (12,13) ha trovato che la statura, la lunghezza del femore e del busto, influivano molto sul livello di coordinazione nei 2 sessi (circa per il 77%), nelle donne la minore lunghezza delle gambe, in proporzione rispetto all'uomo, appare come un fattore facilitante l'accosciata, la spinta e l'appoggio; nel sollevamento pesi gli atleti di entrambi i sessi non sono quasi mai longitipi (22).

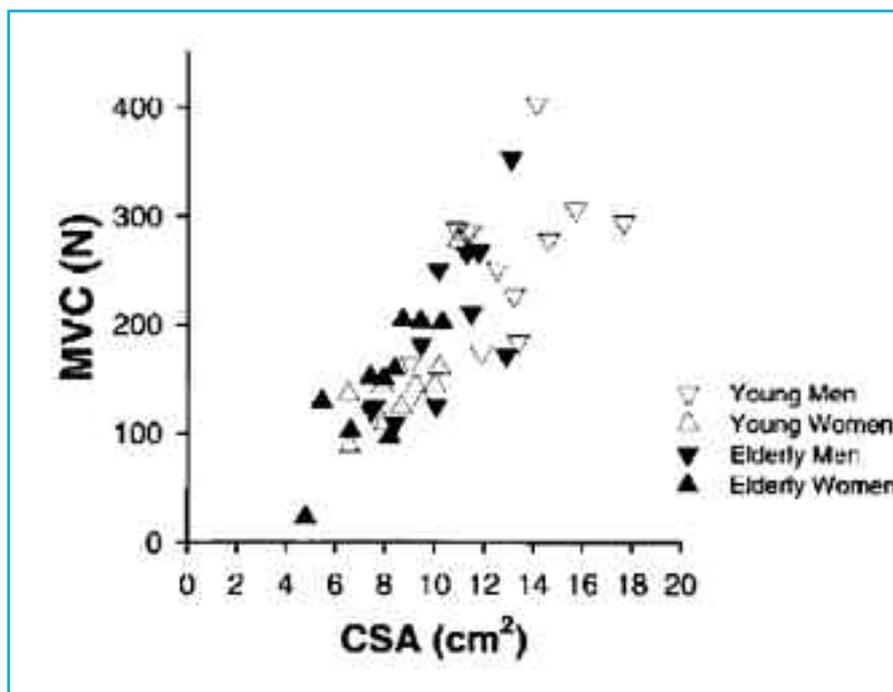


Fig. 4 - Relazione fra la forza muscolare massima e la sezione trasversa dei muscoli espressa per forza per cm² in maschi e giovani ed anziani e donne giovani ed anziane. Come si vede non vi è grande differenza fra i sessi e con l'età (da Kent Braun e al. 1999)

Differenze muscolari fra maschi e femmine in allenati e non allenati

Una delle domande frequenti sulle specificità femminili è se i muscoli delle donne sono diversi da quelli degli uomini. Sul piano generale uno studio di Neu e coll (36) che indaga sul rapporto fra forza muscolare, attraverso il grip test, e la sezione muscolare trasversa (CSA) nelle diverse età in entrambi i sessi, ha confermato che, in linea di massima, la forza per

centimetro quadro di superficie muscolare è costante confermando che non vi sono sostanziali differenze nei muscoli delle donne rispetto agli uomini come è descritto nella fig. 4.

Altra domanda riguarda la composizione delle fibre; la ripartizione delle fibre rosse e bianche in maschi e femmine è in generale simile, nelle donne però vi è minore variabilità della qualità delle fibre rispetto agli uomini e si nota una tendenza delle stesse donne ad avere una minore percentuale di

fibre bianche. In linea di massima il numero di fibre lente veloci appare eguale anche se MacDougall (28) ha trovato un numero inferiore di fibre bianche in donne allenate; altri autori invece hanno ritrovato lo stesso numero di fibre in culturisti dei due sessi d'alto livello; in entrambi gli studi però, la superficie delle fibre bianche era superiore negli uomini (32). Su soggetti non allenati hanno trovato lo stesso fenomeno per l'area delle superfici delle fibre veloci e superiore (fig 5).

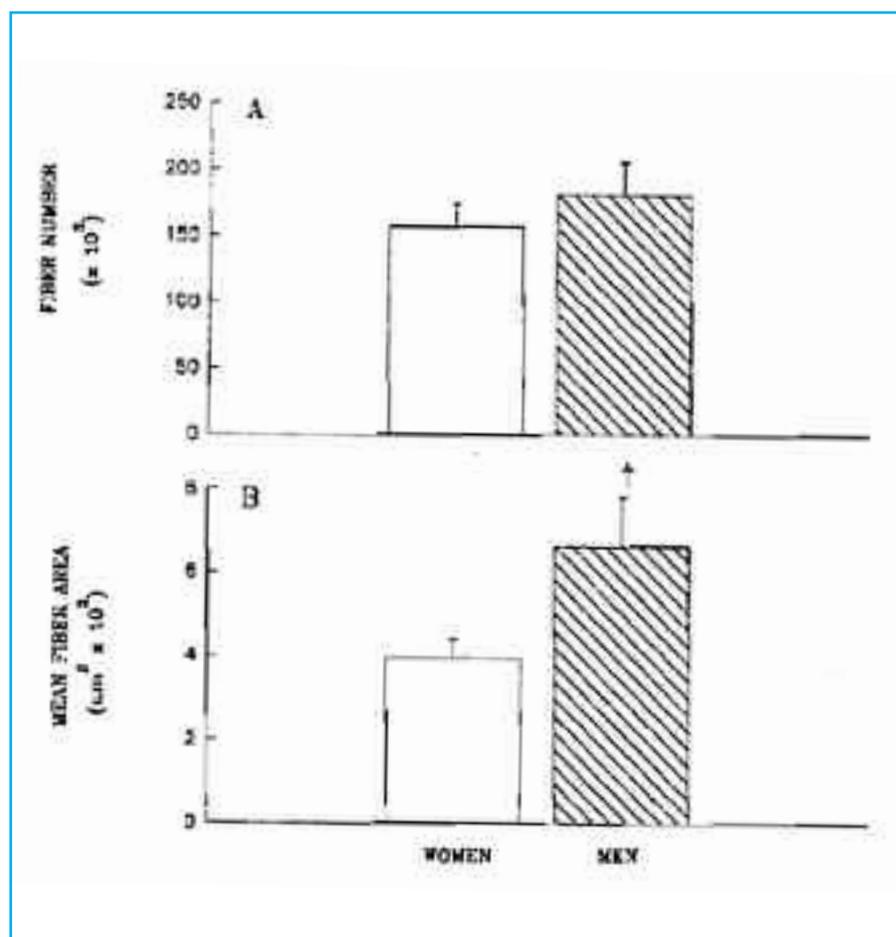


Fig. 5 – Esame bioptico per determinazione del numero delle fibre e della superficie media delle stesse in maschi (rette oblique) e donne (vuoto); come si può notare, ad una modesta differenza nel numero delle fibre corrisponde una più grande differenza nello spessore (area trasversa) delle stesse (da Miller e al 1993)

Nella distribuzione della superficie delle fibre principali (Tipo I, IIA, IIB) anche altri (34) hanno trovato le seguenti differenze, nel tipo A (lente) i maschi avevano il 14% in più, nel tipo IIA (veloci resistenti +38%) e nel tipo IIB (+56%). Percentuali di superficie dei diversi tipi di fibre, ancora più elevate, sono state trovate da Staron e al (41) e cioè 19% nel tipo I, 59% nel tipo IIA e 66% nel tipo IIB, confermando che nel maschio prevale il volume delle fibre, ma ciò sul piano funzionale è molto importante e potrebbe essere la base di una maggior tendenza dei maschi ad avere un maggior livello di forza esplosiva tenendo conto anche che alla nascita bambini e bambine hanno un patrimonio simile di fibre dei due tipi fondamentali. (1)

Comparazione della forza delle femmine rispetto ai maschi

Holloway & Baechle (21) sottolineano come la debolezza dei muscoli e dei legamenti sia la causa degli infortuni e indicano come la migliore prevenzione possa essere l'allenamento alla accosciata e allo squat con sovraccarichi realizzato in modo progressivo. Una diretta comparazione dei livelli di forza fra maschi e femmine avviene nel sollevamento pesi in cui si realizzano dei veri e propri test di forza (strappo e slancio). Nei record del mondo di sollevamento pesi, nelle donne il carico che si solleva è il doppio del peso del corpo, mentre negli uomini è il triplo. Tali dati, in cui la forza massimale è misurata attraverso il sollevamento dei pesi diviso per il peso corporeo può essere valutato come forza relativa, sembrano in-

dicare che le donne in questo caso hanno il 33% in meno in questa modalità di forza, che è differente dalle valutazioni di forza assoluta negli individui non sportivi, che variano di poco intorno al 40% e nelle stime di forza relativa è molto inferiore al 33% che risulta dai record del sollevamento pesi collocandosi intorno al 12-18% senza tenere conto della massa grassa. Le ragioni di questa differenza non sono immediatamente intuibili, senza tenere conto della base costituzionale diversa fra i due sessi, una quota rilevante di questa differenza potrebbe essere attribuita anche ad un processo di selezione e sviluppo dei talenti che nei maschi è tuttora più efficiente e più diffuso e immediato (45).

Uno studio su tale argomento è stato condotto da Ford e al (10) sui risultati dei campionati del mondo di sollevamento pesi svolti dal 1993 al 1997, periodo in cui le categorie di peso si sono mantenute stabili e quindi comparabili. In questo studio sono stati comparati tutti i parametri disponibili, inclusa la statura, il peso sollevato e il peso personale. Lo studio ha particolare interesse perché compara una ristretta popolazione di uomini e donne estremamente allenate che producono delle prestazioni comparabili in base al regolamento della gara e, attraverso indici di normalizzazione, produce dati di stimare in modo molto efficace le differenze il livello funzionale prestativo, in termini indipendenti dalla differenze dei valori assoluti di statura, peso e carico sollevato in un ambito di pre-

stazioni di eccellenza.

Nello studio sono emerse differenze superiori a quelle attese nelle popolazioni normali, dove ad esempio le differenze di forza per superficie trasversa muscolare sono molto contenute come è possibile vedere nella fig. 6. Infatti dividendo il peso per la statura dei singoli atleti si può stimare la "densità" del soggetto, ed essendo atleti, cioè soggetti a bassa percentuale di massa grassa, si può avere una idea indiretta dello spessore muscolare generale, infine il peso sollevato diviso per tale indice permette di normalizzare i risultati e quindi di poter comparare la forza relativa le diverse classi di peso. La popolazione di questi atleti ha mostrato caratteristiche specifiche utili ad una più efficiente comparazione, ad esempio nessun atleta maschio misurava più di 1,83 e nessuna atleta donna più di 1,75 m, dopo tali parametri di risultati vi era un plateau della statura anche incrementando il peso corporeo. L'indice del peso/altezza era costante per le categorie minori ma crebbe per le maggiori,

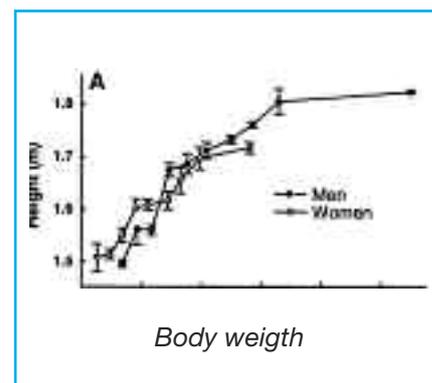


Fig. 6 – Rapporto fra peso corporeo e statura, peso corporeo e peso sollevato nel record del mondo, Ford e al (2000)

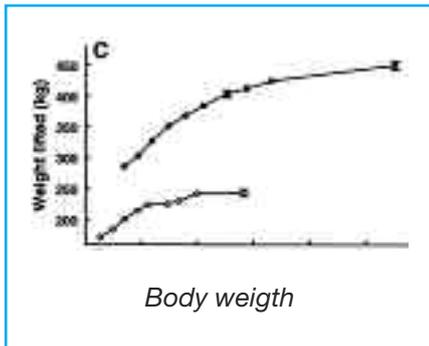


Fig. 7 – Rapporto fra peso corporeo e peso sollevato nel record del mondo, da Ford e al (2000)

in particolar modo nei maschi, fig. 7. I dati complessivi che indicano una differenza di circa un terzo di forza in meno delle donne rispetto agli uomini anche tenendo conto del peso, sono sorprendenti e vanno in larga parte attribuiti alla minore diffusione e quindi della selezione di queste discipline nelle donne, ma non solo a queste, che però non è ancora possibile individuare.

Una prima importante significativa differenza fu indicata da Komi e coll. (24). In soggetti non allenati notarono, oltre alla tradizionale differenza nel livello di forza massima, una differenza nel tempo di reclutamento del 70% della forza massima, nella donna la differenza di tempo a raggiungere la stessa percentuale dei maschi era circa il 100% superiore. Le ipotesi furono diverse, alcune delle quali attribuite al ruolo del testosterone non solo come anabolizzante, ma anche quale facilitatore della contrazione (Bleisch in 6), ipotesi che in seguito non ha avuto nè riscontri nè smentite e rimane quindi una possibile chiave di lettura.

Note sul ruolo degli ormoni sessuali nella differenza della prestazione di forza nell'uomo e nella donna

Il testosterone (T) agisce sul trofismo di entrambi i tipi delle fibre, aumentando la sintesi proteica. Nella donna, la cui concentrazione di testosterone (T) è intorno al 10% rispetto all'uomo (fig. 8) dato confermato anche nelle atlete come si può vedere anche nel grafico, la reazione di ipertrofia è sostanzialmente uguale; in alcuni studi, addirittura, in una allenamento periodizzato la donna ha avuto un incremento ancora maggiore dell'uomo in condizioni comparabili, per cui è possibile affermare che tale adattamento nella donna è complessivamente più efficiente (25).

Le non rilevanti differenze per quanto riguarda la forza prodotta per unità di superficie, non impediscono di constatare che nel salto verticale, cioè in un test che si realizza con un'influenza determinante del peso corporeo dell'uomo e quindi con una condizione di forza relativa molto più equilibrata rispetto alla forza contro una resistenza, e che si può definire di forza esplosiva, tale prestazione è superiore nell'uomo rispetto alla donna con il massimo della differenza intorno ai 17-18 anni. Nel grafico (fig.9) (30) si nota come, nel salto verticale che si svolge contro il peso del proprio corpo, superiore nell'uomo, e tenendo conto di una massa gras-

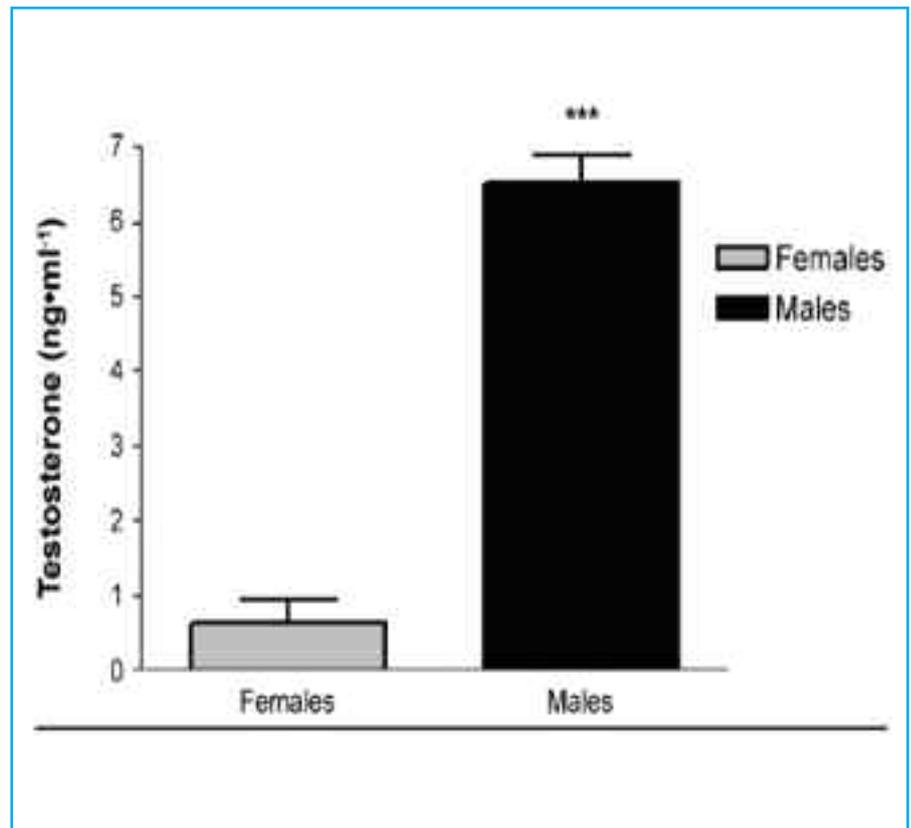


Fig. 8 – Livello di testosterone a riposo in atlete (grigio) e atleti (nero) da Cardinale e al 2006

sa maggiore nella donna del 6-8%, la differenza di prestazione non si annulla ed è di circa il 30%, riproponendo una condizione già evidenziata nello studio di Ford e coll (10).

Per interpretare tali differenze Bosco e al (6,7) hanno evidenziato che nel salto verticale si ha una correlazione positiva fra capacità di salto verticale (SJ) e livello di T ematico ed una correlazione fra CMJ e T di 0.61. Tale relazione fu abbastanza simile sia nelle donne che negli uomini, negli uomini fu $r = 0.62$ e nelle donne fu di 0.48.

Negli uomini come nelle donne il livello di T fu superiore negli sprinter rispetto a specialisti di handball e calcio in modo molto evidente, nelle donne i valori medi di T fra sprinter donne e giocatrici di handball fu circa il doppio nelle prime rispetto alle seconde; comunque anche in quest'ultima popolazione di sportivi la concentrazione di T negli uomini fu 10 volte superiore che nelle donne.

Un recente lavoro di West e coll (46) ha indagato ulteriormente la risposta molecolare che predispone alla ipertrofia in uomini e donne, in particolare la sintesi delle miofibrille ed i precursori biochimici dopo un allenamento di forza con sovraccarichi. Anche in questo studio non si è notata alcuna differenza di risposta anche in presenza di minore testosterone secreto che espresso in funzione della superficie della curva è stata 45 volte maggiore in risposta al lavoro con i sovraccarichi dopo 1-5 ore e 24-28 ore dalla fine della seduta in condizioni di non digiuno. Nella fig. 10 a seguire si può vedere

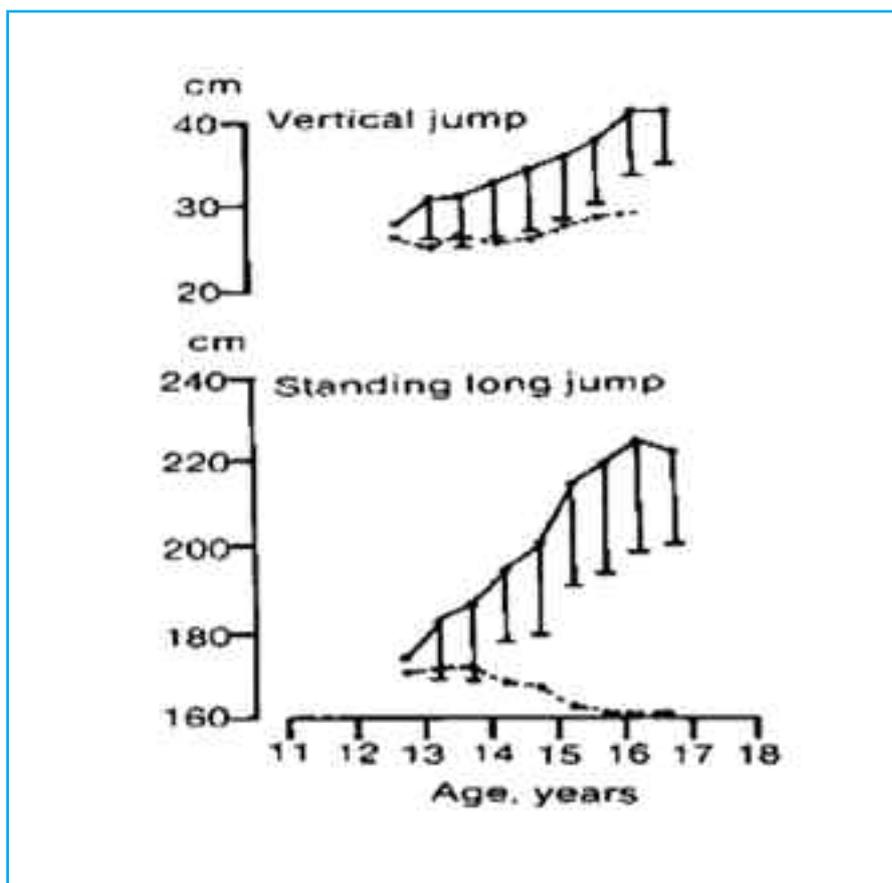


Fig. 9 - Modificazione delle capacità di salto in maschi e femmine in età evolutiva; è possibile vedere come nonostante sia incluso il peso nel salto verticale ed in lungo, la differenza fra maschi e femmine permane (da Malina&Bouchard 1991)

la differenze della risposta al carico in maschi e femmine del T, del Growth Hormone (GH), del cortisolo, della Igf1, dell'estradiolo, e stimando le differenze della superficie segnata dalle curve dei valori di T si nota comunque che oltre alla curva di T come detto molto diversa, nessun'altra delle sostanze anaboliche nelle donne ha valori inferiori, semmai lievemente superiori ai maschi, a parte l'estradiolo che è nettamente superiore. Quindi le attivazioni determinanti l'ipertrofia sono specifiche ma non inferiori e la sintesi miofibrillare non è affatto di-

sturbata dalla minore concentrazione di T.

Sul piano più applicativo le differenze di capacità di salto fra maschi e femmine di livello agonistico comparabile è inferiore rispetto a quanto prima descritto in popolazioni di non sportivi, circa l'86,3% della prestazione dell'uomo (8). Tra le velociste e gli stessi specialisti uomini non sono state trovate differenze nei livelli di forza della curva forza-velocità degli arti inferiori quando i dati di forza sono stati normalizzati per il peso del corpo (5). Nello stesso studio, nelle capacità di salto, nella parte alta delle ca-

pacità di velocità della curva forza-velocità e nella curva potenza-velocità, la differenza fra i due sessi è emersa in modo chiaro, suggerendo che il T potrebbe avere un ruolo nei movimenti rapidi, come sostenuto da Cardinale e Bosco che hanno pure evidenziato una relazione fra le capacità di salto e la concentrazione di T nei calciatori maschi (5).

Nelle atlete che praticano

specialità di potenza, vi è una maggiore frequenza di sindrome dell'ovario policistico che secondo gli specialisti ha caratteristiche cosiddette "iperandrogine"; esse sono, di frequente, affette da dismenorrea senza però evidenziare segnali di cronica deficienza di energia come invece segnalato nella sindrome Triad (16). Nelle stesse atlete non si evidenzia alcun segno di sofferenza da carenza di energia di-

sponibile, a cui tale disturbo è tradizionalmente attribuito, valutata attraverso la massa grassa e dall'assenza di osteopenia o osteoporosi. Tale condizione è più frequente in specialiste di specialità di potenza e meno in specialità di endurance ed in discipline tecniche.

Alcuni aspetti ormonali nelle donne possono influenzare anche la capacità di carico articolare influenzando la capacità di tensione e contentiva dei legamenti, tendini e fasce, in quanto l'aumento degli estrogeni e della relaxina incrementa la estensibilità dei tendini provocando una lassità legamentosa periodica a cui in questo periodo può essere attribuita la causa di una maggiore incidenza di infortuni. Alcuni ormoni sessuali femminili hanno un effetto importante sulla stabilità attiva e passiva del ginocchio delle atlete aumentando il rischio d'incidenti. Le ragioni di tali effetti sono l'influenza ormonale sulla stiffness dei tendini (18) cioè sulla loro rigidità che può essere spiegata anche dalla presenza di recettori di tali ormoni nei legamenti, tale meccanismo potrebbe intervenire nella ovulazione, nella fase di calo di estrogeni; la forza può aumentare e calare la capacità di rilassamento muscolare.

Effetti dell'allenamento della forza nella donna.

La forza nella donna come nell'uomo si esprime in diverse forme (statica, dinamica, esplosiva, eccentrica) che sono allenabili e che si modificano con l'età in funzione delle modificazioni muscolari, ormonali e me-

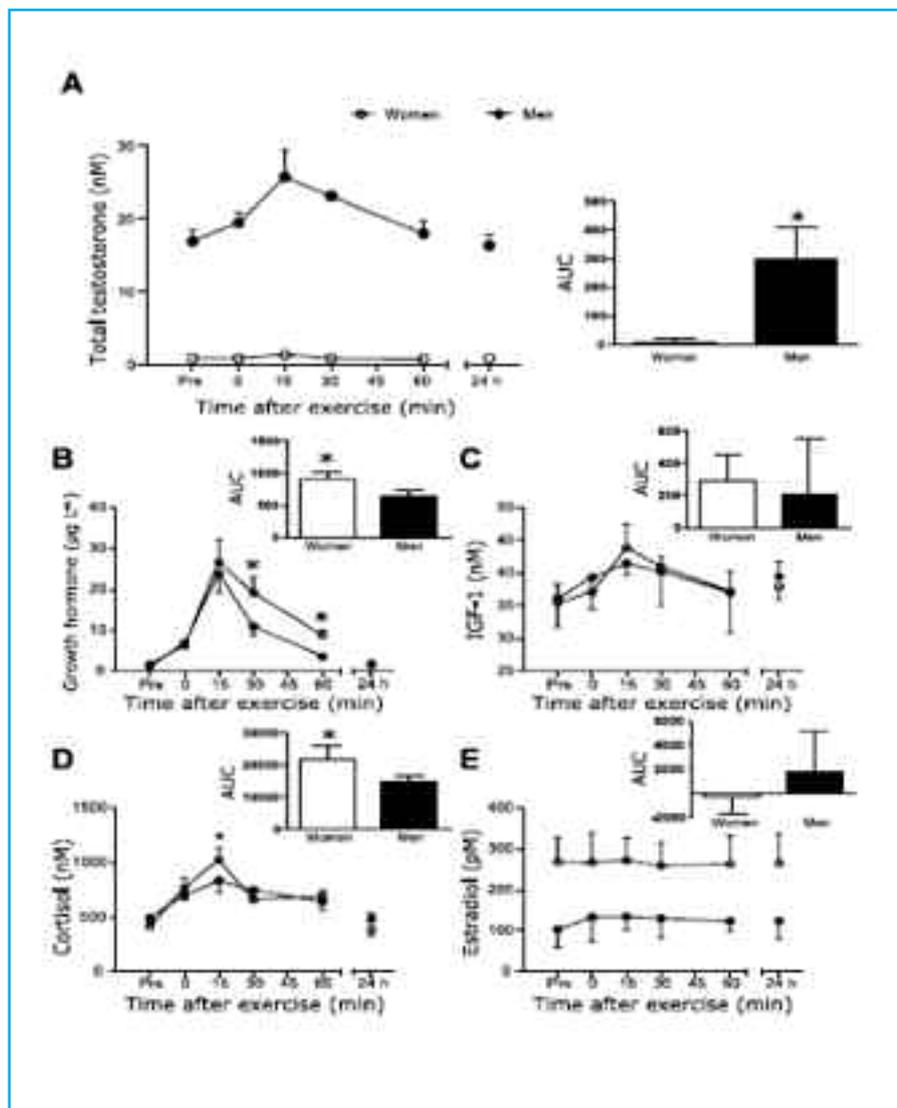


Fig. 10 – Nelle figure si può vedere la differenza della risposta al carico in maschi (rettangoli bianchi) e femmine (rettangoli neri) del Testosterone (A) del Growth Hormone (GH) (B), della Igf1 (C), del cortisolo (D), dell'estradiolo (E).

taboliche. Uno studio di Hakkinen e al (17) in donne età di 30, 50 e 70 anni trovò una differenza di forza significativa in donne di 30 e di 70 anni nella forza massimale, anche se nonostante la differenza di età non cambiò la forza espressa in funzione della sezione trasversa del muscolo. Non così le capacità di forza esplosiva, in cui le trentenni evidenziarono un livello nettamente più elevato che non le settantenni (17), mentre il tempo di rilassamento muscolare che alcuni autori considerano collegato alla velocità di contrazione, invece, non mostrò variazioni.

Considerato il rapporto forza massima-sezione trasversa, il calo di forza esplosiva si può attribuire ad una riduzione del trofismo e, in parte, del numero delle fibre bianche, come è stato dimostrato nei maschi. A questo fenomeno concorre anche la mancanza di sollecitazione delle unità motorie veloci per mancanza di attività fisica specifica attraverso azioni rapide. Uno studio per 10 settimane su donne allenate determinò un aumento dell'ipertrofia a partire dalla ottava settimana, di un incremento significativo (+11,3%) leggermente inferiore a quello degli uomini (+13,6%).

L'ipertrofia dovuta all'allenamento nelle donne, nonostante che il livello ematico del testosterone sia molto basso, circa 10 volte inferiore a quello dell'uomo è comunque attiva e comparabile a quella dell'uomo. (Cureton e coll (8) in uno studio condotto su maschi e femmine che si sono allenati per 16 settimane, 3 volte a settimana con il 70-90% del RM, rilevarono un incremento di forza e in entrambi i sessi,

leggermente superiore nelle donne (flessori del braccio) rispettivamente 32,6 e 59,3%. L'ipertrofia muscolare fu sostanzialmente simile in uomini e donne, le differenze, espresse in percentuale, furono molto ridotte.

Secondo Wilmore (47) nella donna si ha una buona tendenza all'ipertrofia, in qualche caso maggiore che nei maschi, forse perché spesso meno allenate, come, per esempio, può accedere negli arti superiori in cui si ha un maggiore differenziale di forza con gli uomini.

La pratica del sollevamento pesi e di esercitazioni di forza modifica la composizione corporea; ad esempio, nei maschi la massa grassa può variare del 7% prima dell'allenamento al 3% dopo l'allenamento senza modificazioni del peso corporeo (21). Nonostante gli sport di forza possano essere considerati poco adatti alle donne, le donne che li praticano hanno una autostima (anche ottima) addirittura migliore rispetto a praticanti di altri sport. Una lieve minore ipertrofia che in qualche studio si registra, come si è visto, può essere attribuita al calo della massa grassa non registrata nel modo più avanzato; la diminuzione della massa grassa in favore della massa muscolare ha fatto diventare questa pratica molto diffusa (soprattutto a livelli di intensità moderata) anche nella popolazione femminile.

In soggetti seguiti per sedici settimane da Hakkinen e al (17) si è notato che il tempo di reclutamento della forza, nonché la curva forza-tempo, migliorò in modo proporzionale alla concentrazione individuale di testosterone libero e totale nel san-

gue. Se approfondito, tale fenomeno potrebbe essere considerato come un marker di allenabilità nelle donne. I miglioramenti della prestazione forza-tempo avvengono nella prima parte delle 16 settimane.

A differenza di alcuni sport di resistenza (corsa e nuoto) e della ginnastica, nello stesso studio non sono state riferite irregolarità del ciclo in soggetti praticanti discipline di forza.

Sono stati riportati effetti positivi sulla densità ossea nelle donne esposte a perdita di calcio in periodi particolari come nella menopausa; con l'uso dei sovraccarichi trovano una buona compensazione. In donne praticanti culturismo si evidenziano ossa più spesse rispetto ad altre sportive che non usano sovraccarichi (nuotatrici, mezzofondiste). Secondo Staron (41) l'aumento della densità ossea nella donna è proporzionale ai carichi cui si sottopone l'organismo.

La resistenza alla forza: aspetti specifici della donna

Una caratteristica evidenziata già da diverso tempo (22) è che la donna è dotata di una maggiore capacità di sopportazione della fatica rispetto all'uomo alla stessa relativa intensità, cioè alla stessa percentuale di carico, resistendo più a lungo. Conseguentemente la donna esibisce una minore riduzione di forza durante una contrazione mantenuta nel tempo o intermittente. Numerosi studi dopo una review di Hicks e coll (20) hanno evidenziato che in condizioni isometriche, con contrazioni sostenute, la donna è più resistente dell'uomo quando viene impiegata una percentuale di impegno



basso e tende a diminuire quando la intensità aumenta, sia nelle contrazioni continue che intermittenti. La differenza di resistenza fra i due sessi è più bassa quando le percentuali d'impegno di forza sono più alte, le differenze si attenuano fino ad annullarsi con l'avanzare dell'età. Uno sforzo importante fu di capire il perché di tale fenomeno, ipotizzando che la differenza potesse attribuirsi a meccanismi fisiologici diversi nei due sessi e che tale differenza fosse attribuibile alla natura del compito motorio da assolvere (23).

Il compito motorio proposto, variando in intensità relativa e in durata, può coinvolgere diversi meccanismi e siti dove la fatica si produce, le variazioni di intensità si possono ottenere modificando la intensità di contrazione, i gruppi muscolari coinvolti e l'ambiente esterno dove la prestazione è prodotta oltre che alla intensità relativa (cioè in percento della forza

massima) ed alla durata. Una causa fisiologica responsabile di questa maggiore resistenza a intensità relative, potrebbe essere la maggiore percentuale di area di fibre del tipo I che facilita la prestazione di resistenza, mentre la stessa causa potrebbe provocare una minore resistenza in condizioni dinamiche e di maggiore intensità.

L'intensità della contrazione è un elemento importante, ad esempio in un lavoro muscolare con intensità di contrazione del 20% la differenza della durata della resistenza fu di quasi il 70% superiore nella donna, con una differenza di forza massima assoluta a favore del maschio che fu del doppio nei flessori del gomito. All'intensità dell'80% la differenza fu quasi nulla, tale condizione fu simile per tutti i gruppi muscolari. Un'interessante condizione fu che, quando furono reclutati giovani femmine e maschi in modo da avere un livello di for-

za simile, le differenze al 20% di intensità furono quasi nulle. Una delle ragioni della differenza di resistenza alla fatica a pari intensità fu attribuita al fatto che i maschi producevano una maggiore pressione intramuscolare che occludeva i vasi con maggiore efficacia rispetto alle donne e ciò è apparso confermato dalla maggiore pressione arteriosa registrata; invece nelle contrazioni più intense si produceva una sostanziale condizione metabolica simile, anaerobica per entrambi.

Altri studi hanno suggerito l'idea che le donne abbiano una maggiore perfusione muscolare rispetto agli uomini nelle intensità basse e quindi possano ricorrere maggiormente al sistema aerobico per la maggiore presenza di fibre rosse; un'altra conferma verrebbe dal fatto che nelle contrazioni isometriche intermittenti le donne sono più resistenti degli uomini rispetto alle contrazioni più in-

tense continue (23). Nelle contrazioni intermittenti non ci sarebbe una restrizione totale del flusso sanguigno, come nelle contrazioni continue, tanto che anche nelle contrazioni intermittenti pari al 50% le donne avevano una prestazione di maggior durata, di poco inferiore al 50%. Studi specifici hanno potuto stabilire che non vi erano elementi di fatica centrale (23), altri studi (35) hanno evidenziato che la fatica cognitiva annullava le differenze fra i sessi, quindi favoriva gli uomini e sfavoriva le donne confermando un ruolo importante delle funzioni cognitive nella resistenza. Altri studi hanno sostenuto il fenomeno di un'attenuazione delle differenze fra maschi e femmine con l'avanzare delle età (23). In sintesi si può dire che le donne in diverse contrazioni isometriche, in situazioni controllate, risentono meno della fatica degli uomini, ma la differenza diminuisce quando si aumenta l'intensità della contrazione o si osservano soggetti di età crescente. Le cause possono essere attribuite alla maggiore presenza di fibre rosse nelle donne e nella diminuzione delle fibre bianche nei maschi con l'età, quindi le cause sembrano di natura prevalentemente periferica se non per un ruolo centrale sul piano della fatica cognitiva.

Uno specifico aspetto della resistenza agli sprint ripetuti ed alla forza è stato recentemente analizzato da una review di Billaut & Bishop (3) sulle differenze di genere negli sprint multipli (RSA o Repeated Sprint Ability). In questo tipo di prestazione sono coinvolte le funzioni muscolari di potenza massima, ma anche le capacità di recupero limitate dalle caratteristiche metaboliche di tipo anaerobico, dall'attività ae-

robica di ripristino delle riserve alattacide (ATP e CP), dall'efficienza della ricarica anaerobica lattacida, con i relativi metaboliti che provocano fatica. Le differenze sono state approfondite partendo dalle particolarità muscolari già note, per esempio i maschi nella potenza di sprint sviluppano circa il 40% in più nel picco e il 30% nella potenza media, questi livelli normalizzati per il peso e la massa magra diminuiscono, ma non si annullano; al tempo stesso le donne hanno la capacità di mantenere la potenza di picco più a lungo e anche questo può essere attribuito ad una elevata efficienza del metabolismo aerobico e ad un minore accumulo di H⁺, come è visibile nella fig 11.

Una ulteriore ragione può essere identificata nella capacità delle donne di mantenere una attività delle unità motorie più ordinata rispetto ai maschi in condizioni di esaurimento (37). Anche questo però, è attribuibile al minore disturbo provocato dal minore accumulo di metaboliti di origine anaerobica.

La maggiore potenza di picco è confermata anche nei maschi a parità di età dai 14 ai 17 anni (33), al cicloergometro la frequenza ottimale di pedalata fu superiore nei maschi rispetto alle donne. Tale fenomeno può essere attribuito a una maggiore lunghezza delle gambe in proporzione alla statura e a un migliore reclutamento delle fibre veloci la cui ipertrofia selettiva

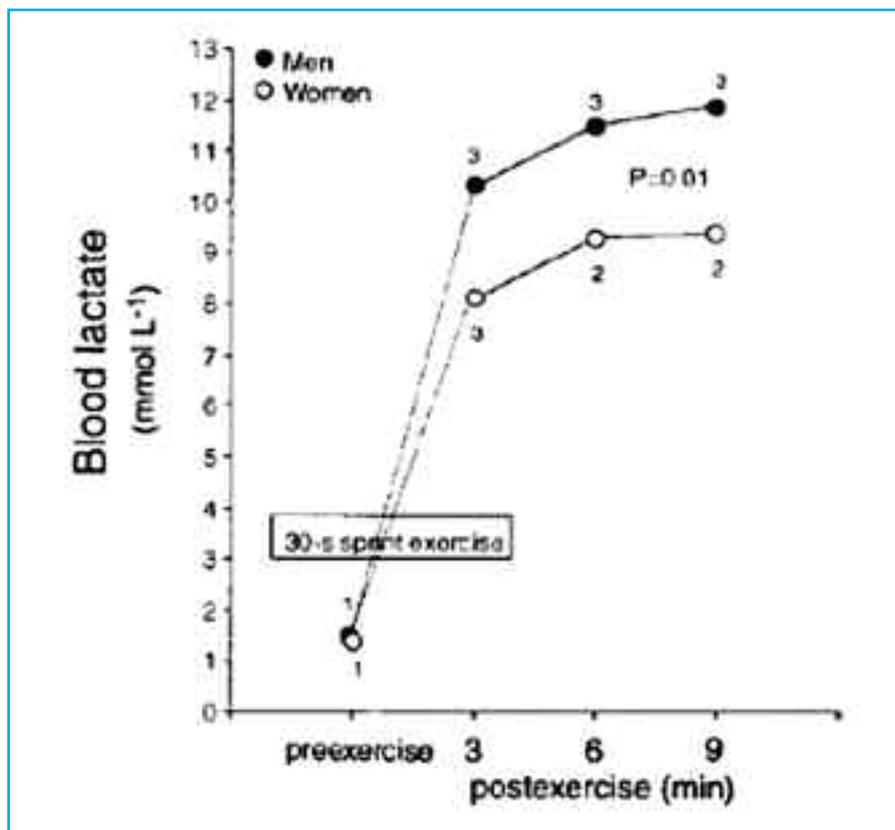


Fig. 11 – Accumulo di lattato in maschi (cerchi pieni) e femmine (cerchi vuoti) in 30 s di sprint con rilievo dopo 3,6,9 min. (da Billaut e Bishop 2009)

può essere accentuata da una maggiore concentrazione degli androgeni (14).

Negli sprint multipli, tipici dei giochi sportivi, si verifica una differenza del 25% maggiore nei maschi, sia nella potenza di picco che nel lavoro totale, attribuibile sempre al maggiore coinvolgimento delle fibre di tipo II, lo stesso studio trovò che in 10 sprint, su un nastro trasportatore non motorizzato, organizzato in 6-s di sprint con 30-s di recupero, l'indice di fatica, calcolato dalla caduta di velocità dal 1° al 10° sprint fu sostanzialmente simile fra maschi e femmine.

In altri studi su soggetti più giovani, ma con 10 secondi di sprint e 10 secondi di recupero, il calo di potenza fu superiore nei ragazzi che nelle ragazze (49). Fra le ragioni di tale calo può essere identificata la maggior deplezione di fosfati che avviene nei maschi, invece quando le prove si allungano, come quando si applica il test del Wingate (30 sec) con 20 min di recupero, il recupero è più agevole nelle donne (8% rispetto al 4%). È possibile che tali risultati siano ancora inficiati da difficoltà di protocollo, infatti la misura della potenza e la potenza relativa è di difficile applicazione, così come non è semplice nei diversi studi valutare l'impatto della condizione di allenamento.

È importante sottolineare la correlazione positiva fra la potenza iniziale prodotta ed il livello di caduta della potenza a seguire (4), fra i limiti delle attuali conoscenze è citata la mancanza della valutazione del lavoro. Un dato interessante fu constatare che le donne riportarono un più basso livello di dolori mu-

scolari e meno frequenti, dopo lavori intensi.

Conclusioni e aspetti applicativi nelle attività fisiche e nello sport

L'allenamento della forza nella donna è divenuto non solo un obiettivo del fitness e della riabilitazione, ma anche un potente mezzo di incremento delle potenzialità di qualità della vita, di prevenzione e di forte compensazione di alcune specificità che possono limitare la prestazione sportiva. Le differenze delle caratteristiche della forza nella donna rispetto all'uomo nello sport sono molto limitate, ma vanno ben conosciute, perché possono essere fonte di rischi di traumi; in particolare la donna ha una minore capacità di esplosività nella forza, ciò è probabilmente dovuto ad un minor numero di fibre veloci e soprattutto una loro minore superficie trasversa. L'ipertrofia può però essere incrementata anche in questi tipi di fibre muscolari mentre una carenza di esplosività può danneggiare gli arti inferiori, soprattutto il ginocchio, pertanto è importante allenare, in modo molto graduale ma deciso, le capacità di reclutamento veloce della forza. Se l'allenamento di forza esplosiva va condotto in modo importante è però anche necessario crearne i presupposti per il suo allenamento cioè un irrobustimento dell'apparato legamentoso, che questo nelle donne sembra più cagionevole in particolari come la fase puberale ed in alcuni momenti del periodo mestruale. La loro allenabilità, pur lievemente più bassa, è elevata, per cui sono possibili

notevoli progressi in tutte le età e nell'allenamento di prestazioni, anche perché condizioni ormonali transitorie o periodiche, possono creare una maggiore lassità articolare e quindi una maggiore suscettibilità all'infortunio. Nelle età evolutive alla luce di queste riflessioni l'allenamento della forza e quindi l'irrobustimento dei sistemi strutturali non solo è una opzione, ma quasi una necessità e comunque un potente sistema preventivo. Esso va gestito con la dovuta prudenza, pazienza e soprattutto competenza rispettando le caratteristiche femminili descritte in questo articolo e nella bibliografia citata. Le metodiche di allenamento più avanzate della forza nelle ragazze diventano uno strumento di prevenzione e di compensazione della fragilità legamentosa ma anche della tendenza all'osteoporosi nella perimenopausa e menopausa, dato che è documentata una buona reattività a tali stimoli, soprattutto in presenza di terapia ormonale sostitutiva.

Bibliografia

1. Baldwin KM. Muscle development: neonatal to adult; *Exerc and Sport Sci Rev.* 12, 1-9, 1984
2. Berthelot G, Thibault V, Tafflet M, Escolano M, El Helou N, Jouven X, Hermine O, Tous-saint, J-F The Citius End: World Records Progression Announces the Completion of a Brief Ultra-Physiological Quest, *PLoS ONE*, 3(2), 2008

3. Billaut F, Bishop D. Muscle fatigue in Males and female during Multiple-Sprint exercise, *Sports Med*; 39:(4) 257-278, 2009
4. Bishop D, Spencer M, Determinants of repeated-sprint ability in well-trained team-sport athletes and endurance trained: *J of Sport Med Physical Fitness*,; 44: 1-7, 2004
5. Bosco C., Tihany J., Rivalta G., Parlato G., Pulvirenti C., Foti C., Viru A., Hormonal responses in strength jumping, *Jpn. J. Physiol.*, 46,; 93-98. 1996
6. Bosco C., Tsarpela O., Foti C., Cardinale M., Tihany J., Bonifazi M., Viru M., Viru A., Mechanical behaviour of leg extensor in male and female sprinter, *Biology of Sport*, 19, 189-202, 2002,
7. Cardinale M., Stone M. H., Is testosterone influencing explosive performance?, *J. Strength Cond. Res.*, 1, 103-107. 2006,
8. Cureton KJ, Collins MA, Hills DW, Mcelhannon MF. Muscle hypertrophy in men and women. *Med Sci vol 20*, 4,338,-344, 1988
9. Ferber R a*, McClay I, Davis A,b, Williams SA III Gender differences in lower extremity mechanics during running, *Clinical Biomechanics* 18 350-357, 2010
10. Ford LE, Detterline AJ, Ho KK Cao W. Gender and heifth-related limits of muscle strength in wordl weightlifting champions, *J Appl Physiol* 89:1061-1064, 2000
11. Francke WW Berendonk B. Hormonal doping and androgenization of athletes: a secret program of the German Democratic repèublic government. *Clinical Chemitry* 43:7 1262-1279; 1997
12. Fry AC, Bibi KW, Eyford T. Stature variable as discrimination of foot contact during the squat exercise in untrained females. *J of Appl Sports Sci Res.*; 3:(3) 72-73, 1988
13. Fry AC, Housh TJ, Hughes RA, Eyford T. Stature and flexibility variable as discriminators of foot contact during the squat exercise. *J of Appl Sports Sci Res.*, 2(2): 24-26, 1988;
14. Glenmark B, Skeletal muscle fibre types, physical performance, physical activity and attitude to physical
15. Grumbt activity in women and men: a follow-up from age 16 to 27. *Acta Physiol Scand Suppl*; 623: 1-47, 1994
16. Hagmar M., Berglund B., Brismar K., Hirschberg A. L., Hyperandrogenism may explain reproductive dysfunction in olympic athletes, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41,, 1241-1249; 2009
17. Hakkinen K, Pakarinen A,Kyryo H, Cheng S, Kim DH, Komi PV. Neuromuscular adaptation and serum hormones in female during prolonged power training. In *J of Sports Med*:11:91-98, 1990
18. Hewett T. E., Neuromuscular and hormonal factors associated with knee injuries in female athletes, *Sports Med.*, 29, 5, 313-327. 2000,
19. Hettinger T, *Isometrische MuskelKratTaining*, G Thieme Verlag, Stuttgart 1980
20. Hicks AL, Kent-Braun J, Dittor DS. Sex Differences in human skeletal muscle fatigue. *Exerc Sport Sci Rev.*; 29:109-112 2001
21. Holloway J., Baechle H. T., Strength training for female athlete, *Sport Med.*, 9, 216-228. 1990.
22. Hunter SK, Stevens AA. Sex differences in marathon running with advanced age: physiology or participation? *Med Sci Sports Exerc.*;vol 45: N° 1, pp 148-156, 2001
23. Hunter SK, Butler JE, Todd G, Gandevia SC, Taylor JL. Supraspinal fatigue does not enplane the sex difference in muscle fatigue of maximal contraction. *J Appl. Physiol* 101: 1036-10, 2006;
24. Komi P. V., Karlsson J., Skeletal muscle fibre type, enzyme activity and physical performance in young males and female, *Acta Physiol. Scand.*, 103, 210-218. 1978,
25. Kell, RT. The influence of periodized resistance training on strength changes in men and women. *J Strength Cond Res* 25(3): 735-744, 2011
26. Kent Braun JA, Ng AV. Specific strength and voluntary muscle activation in young and elderly women and men, *J Appl Physiol* 87(1): 22-29, 1999
27. Laubach LL. Comparative muscular strength of men and women : a review of the literature, *Aviation Space*

- and environmental Medicine; 47:534-542, 1977
28. Macdougall J. D., Sale D. G., Alway S. E., Sutton J. R., Differences in muscle fiber number in biceps brachii between males and females, *Canad. J. Appl. Sport Sci.*, 8, 221, 1983.
 29. Malina R. Growth, Strength and physical performance. Stubbe (ed) *Encyclopaedia of physical education, fitness and sport*. P443-470. Brighton Publ., Salt Lake Co, 1980
 30. Malina R., Bouchard C., *Growth and Physical Activity*, Campaign, Il., Human Kinetics Edition, 1993.
 31. Manno R. La forza nelle età, allenabilità ed allenamento: come i Master che praticano lo sprint e le discipline di potenza modificano le prestazioni con l'avanzare dell'età. *Atletica Studi* 1-2, 2012
 32. Manno R L'allenamento della forza nell'età evolutiva. La specificità femminile esempio degli arti inferiori nelle donne. *Atletica Studi* 3-4, 2011
 33. Martin RJ, Dore E, Twjisk J e al. Longitudinal changes of maximal shiort-term peak power in girls and boys during growth.; 36:(3); 498-503, 2004
 34. Miller A. E. J., Mac Dougall J. D., Tarnopolski M. A., Sale D. G., Gender differences in strength and muscle fiber characteristics, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 66,, 254-262. 1993
 35. Mottram CJ, Hunter SK, Rochette L, Anderson MK, Enoka RM. Time to task failure varies with the gian of feedback signal for women not for men. *Exp Brain Res* 174: 575-58, 2006,
 36. Neu, C. M., F. Rauch, J. Rittweger, F. Manz, and E. Schoenau. Influence of puberty on muscle development at the forearm. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 283: E103–E107, 2002.
 37. Schantz P. Capillary supply in heavy-resistance trained non-postural human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand. Jan*;117(1):153-155, 1983
 38. Russ DW, Lanza JR, Rothman D, ea. Sex differences in glycolysis during brief intense isometric contractions: *Muscle & Nerve*, 32,,647-55, 2005
 39. Seiler SJJ, De Koenig and Foster C. The Fall and Rise of the Gender Difference in Elite Anaerobic Performance 1952–2006. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 39, No. 3, pp. 534–540, 2000
 40. Simoneau J. A., Bouchard C., Human Variation in skeletal muscle fibre types proportion and enzyme activity, *Am. J. Physiol.*, 257,, E 567-72 1989
 41. Staron R. S, Hagerman F. C., Hikida R. S., Murray T. F., Hostler D. P., Crill M. T., Ragg K. E., Toma K., Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young man and women, *Histochem. Cytochem.*, 48,, 5, 623-629. 2000
 42. Stobbe T. J., *The development of a practical strength testing program for industry*. Unpublished dissertation, Dep. of industrial and operational Engineering and industrial health service, University of Michigan, 1982.
 43. Tatem AJ, Guerra CA, Atkinson PM, Hay SI: Athletics: Momentaneous sprint at the 2156 Olympics? *Nature* 431,. 525, 2004
 44. Thibault V, Guillamme M. Berthelet G, El Helon N, Schaal K, e al. Women and men in sport performance. The gender gap has not evolved since 1983, *Journal of Sports and Medicine*, 9, 214-223, 2010,
 45. West DW, Burd NA, Churchward-Venne TA, Camera DM, Mitchell CJ, Baker SK, Hawley JA, Coffey VG, Phillips SM. Sex based comparisons of myofibrillar protein synthesis after resistance exercise in the fed state. *J Appl Physiol* 112: 1805–1813, 2012.
 46. Whipp BJ & Ward SA. Will women soon outrun men? *Nature*, vol 359, 2 january, 1992 1992
 47. Wilmore J., Alteration in strength, body composition and anthropometric measurement consequent to 10 week weight training program, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 6, -138, 1974
 48. Wilmore JH, Costill DL. *Fisiologia dell'esercizio e dello sport*. Ed. Calzetti e Mariucci, Perugia 2005
 49. Yanagiya T, Kaneisha H, Kouzaki M, e al. Effect of gender on mechanical power output during repeated bouts of maximal running in trained teenagers. *Int J of Sports Med.*; 24:304-10, 2003