## Bioenergetica della corsa sprint

Fisiologia della prestazione sportiva

Università degli Studi di Verona Scienze Motorie aa 2014-1015

Sprint running: a new energetic approach di Prampero PE et al. J Exp Biol 208: 2809-2816, 2005



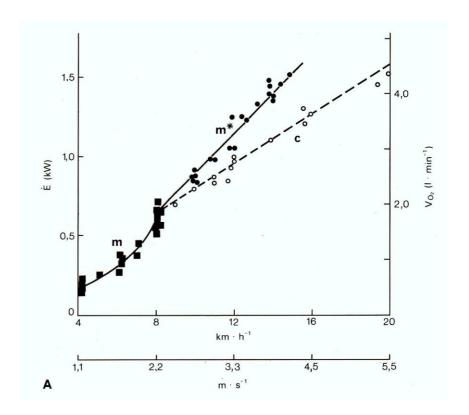
## Per definizione il costo energetico è la quantità di energia spesa per unità di distanza

simbolo C,

Unità: kJ/km; J/(kg m)

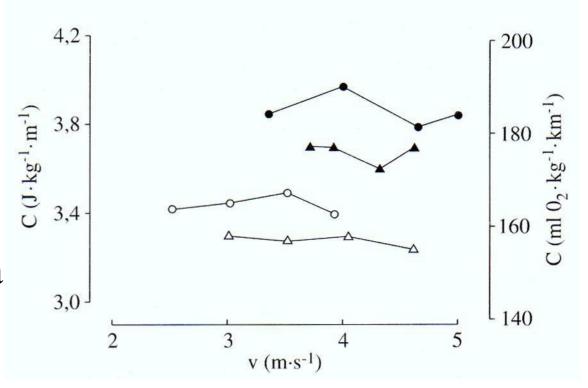
[1 litro  $O_2 \approx 5 \text{ kcal} \approx 21 \text{ kJ}$ ]

Il costo energetico della locomozione (marcia naturale, m; marcia agonistica, m\*; corsa, c), ad ogni velocità è il rapporto tra ordinata (potenza metabolica al di sopra del valore di riposo) e ascissa (velocità)

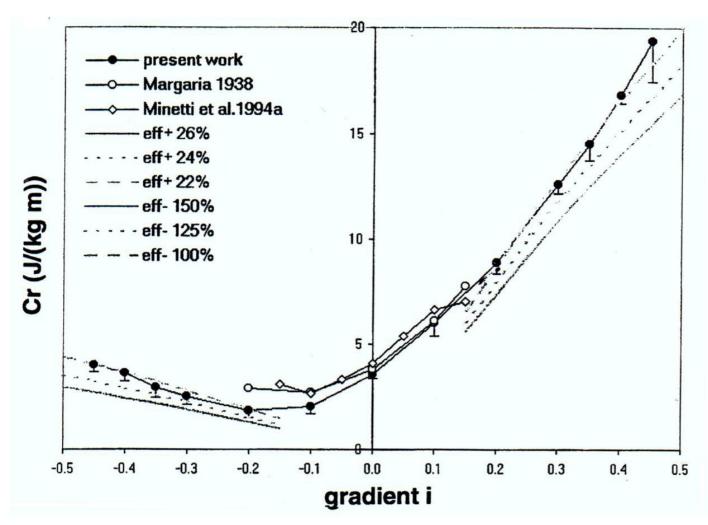


Il costo energetico della corsa (C) a velocità costante è indipendente dalla velocità perché la funzione:

potenza metabolica netta/velocità è una retta che passa per l'origine delle coordinate.



#### **ECr in salita-discesa**



Durante la corsa in salita o in discesa a velocità costante, Crè indipendente dalla velocità. Tuttavia, rispetto alla corsa in piano, Cr aumenta in salita e diminuisce in discesa, fino a una pendenza del -20 % circa, per poi aumentare leggermente (Minetti et al., 2002).

 $EC_r (J kg^{-1}m^{-1}) = 155.4 x^5-30.4 x^4-43.3 x^3+46.3 x^2 + 19.5 x + 3.6$ 

Minetti AE et al, J Appl Physiol 93: 1039-1046, 2002

$$Cr \cdot v = E'r$$

 $[ml O_2/m \cdot m/min = mlO_2/min]$ 

La la **potenza metabolica** (E'r),
ossia l'energia spesa
per unità di tempo, è
il prodotto del Costo
energetico (Cr) per la
velocità di corsa (v):

da cui:

$$v = E'r/Cr$$

$$v_{max} = E'r_{max}/Cr$$

### In condizioni aerobiche

$$\max_{\text{velocità aerobica}} = \frac{F \cdot V' O_{2\text{max}}}{C}$$

V'O₂max: massimo consumo di ossigeno.

F: massima frazione di V'O<sub>2</sub>max sostenibile per tutta la durata della prestazione.

*Cr:* costo energetico della corsa.

Questa equazione spiega oltre il 90 % della variabilità delle prestazioni individuali nella corsa su distanze dai 5000 metri alla maratona (P.E. di Prampero et al., Eur. J. Appl. Physiol. 1986; J. Appl. Physiol. 1993).

### In accelerazione...

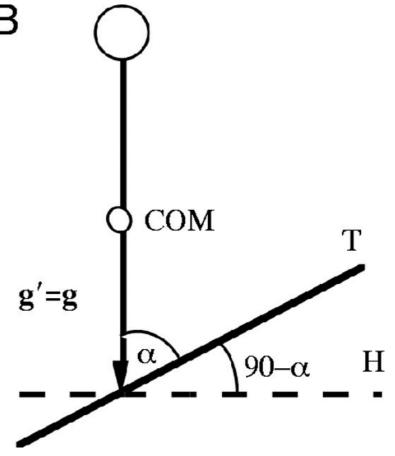
1. Il costo energetico della corsa in accelerazione è maggiore di quello a velocità costante perché il soggetto deve spendere energia anche per aumentare la propria energia cinetica.

2. Dal punto di vista biomeccanico, in prima approssimazione, la corsa in piano in accelerazione è equivalente alla corsa in salita a velocità costante.

#### Esemplificazione delle Forze agenti sul corridore

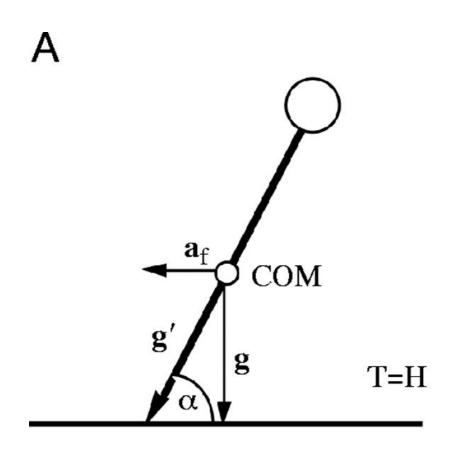
Il soggetto accelera durante corsa in piano (a) o corre in salita a velocità costante (b). M, massa corporea ; af, accelerazione antero-posteriore; g, accelerazione di gravità; g' =  $V(a_{f2} + g_2)$ , somma vettoriale di af e g; T, terreno; H, orizzontale;  $\alpha$ , angolo tra il corpo del corridore e T; 90 -  $\alpha$ , angolo tra T e H (COM= centro di massa).

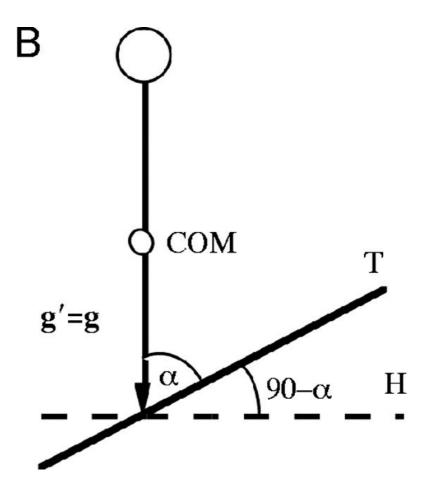
COM Т=Н



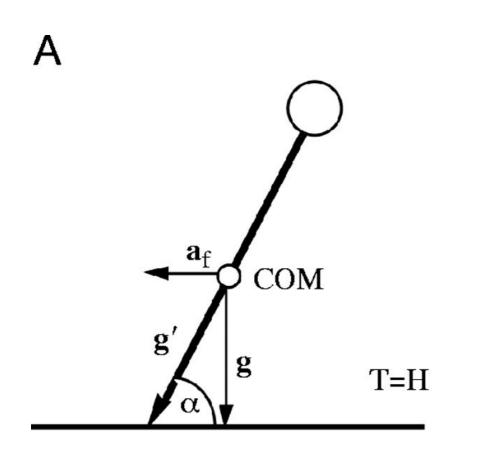
Data l'equivalenza geometrica delle due situazioni, la corsa in accelerazione (a) è equivalente alla corsa in salita (b) ad una pendenza (angolo 90 – a) determinata dall'accelerazione stessa. Definiamo ES (Equivalent Slope) la "pendenza equivalente". Esprimendo l'inclinazione del terreno in percentuale:

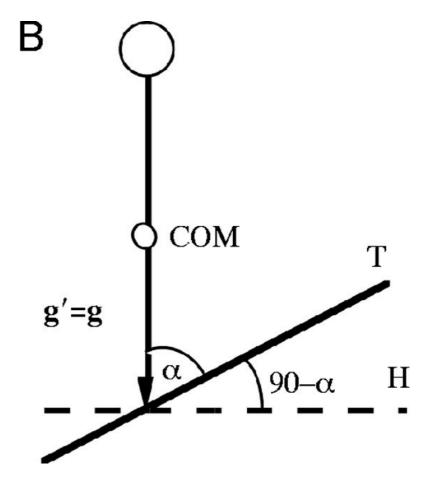
$$ES = [tg (90 - a)] * 100 = (af/g) * 100$$





Inoltre, g' è sempre maggiore di g. Il soggetto che corre in accelerazione (a) è sottoposto quindi a una forza peso maggiore di quando è fermo o corre a velocità costante, come se la sua massa corporea fosse incrementata di un fattore eguale a g'/g. Definiamo questo fattore "massa equivalente" (EM). Poiché g' = V(af2 + g2), EM = V(af2 + g2)/g.





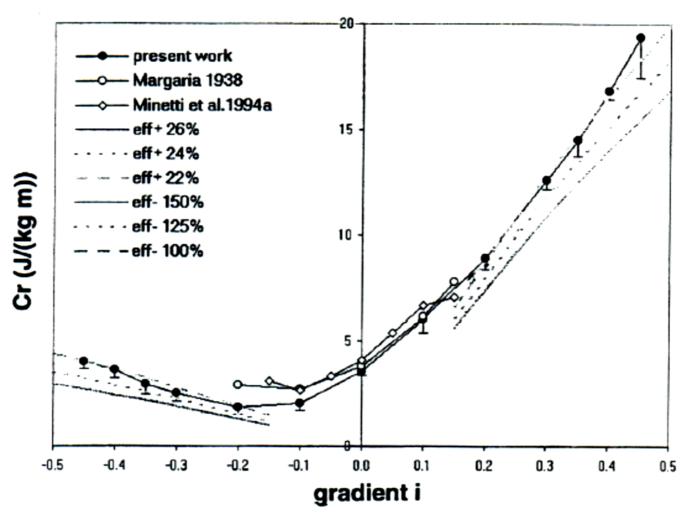
Misurando l'andamento della velocità in funzione del tempo è possibile calcolare l'accelerazione antero-posteriore, e quindi pendenza e massa equivalenti:

• 
$$ES = (af/g) * 100$$

• EM = 
$$\sqrt{(af2 + g2)/g}$$

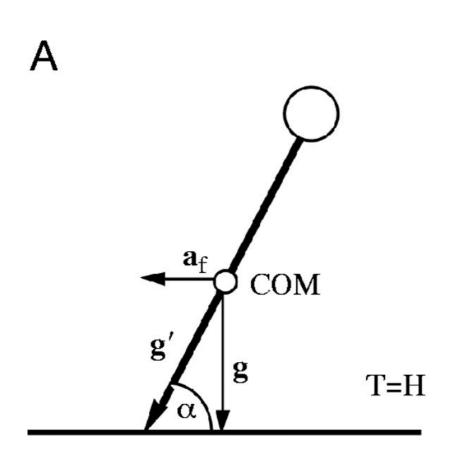
Poiché inoltre il costo energetico della corsa a velocità costante in salita è ben noto dalla letteratura (Margaria, 1938; Margaria et al., 1963; Minetti et al., 1994; 2002), è possibile risalire da ES ed EM al corrispondente costo energetico.

Cr (J/(kg m)) = 155.4 i<sup>5</sup> - 30.4 i<sup>4</sup> - 43.3 i<sup>3</sup> + 46.3 i<sup>2</sup> + 19.5 i + 3.6 (i = inclinazione % del terreno) (Minetti et al., 2002), dove 3,6 è il costo a velocità costante in piano e l'effetto della pendenza è dato dalla somma dei termini che contengono i.



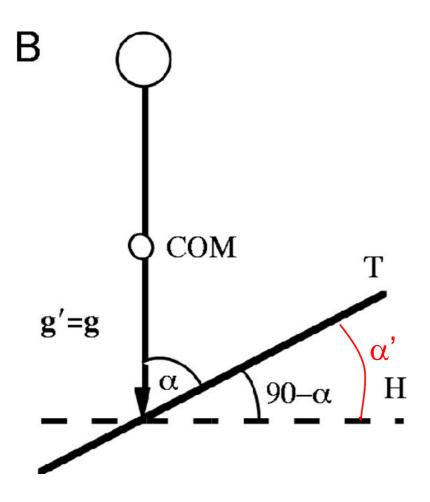
Sostituendo i con **ES** e moltiplicando il tutto per **EM** è possibile stimare il costo della corsa in accelerazione.

## **Sprint running: teoria**



- Accelerazione totale g'
- $g' = (a_f^2 + g^2)^{0.5}$  $\alpha = \arctan g/a_f$
- Questa condizione è analoga a quella di un soggetto che corra in salita a velocità costante
- In questo caso, l'accelerazione totale g' agisce in verticale

## **Sprint running: teoria**



$$\alpha' = (90 - \alpha) = 90 - \arctan \mathbf{g}/\mathbf{a}_f$$

• Equivalent Slope (ES) corrispondente all'angolo  $\alpha$ '

$$ES = \tan (90 - \arctan \mathbf{g}/\mathbf{a}_f)$$

 Forza media durante l'intero ciclo del passo o Equivalent body weight F'
 F' = Mbq'

• EM: equivalent normalised body mass: rappresenta un sovraccarico imposto sull'atleta dall'accelerazione

EM = F'/ F = g'/ g = 
$$(a_f^2/g^2 + 1)^{0.5}$$

## **Sprint running: teoria**

La corsa sprint può essere considerata equivalente alla corsa a velocità costante sulla Terra effettuata:

- ad una pendenza equivalente ES
- Trasportando una massa addizionale  $\Delta M = M_b (\mathbf{g}^3/\mathbf{g}^{-1})$  in modo tale che la massa totale EM =  $\Delta M + M_b$

**ES** e **EM** possono essere calcolate se si misura **a**<sub>f</sub> (l'accelerazione in avanti) poiché dipendono solo da essa

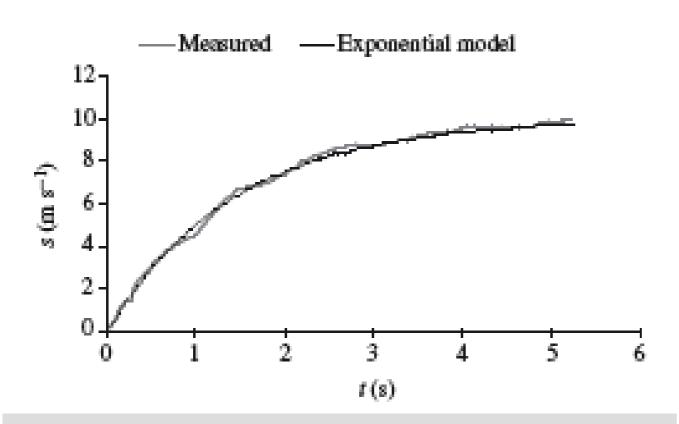
#### **ESPERIMENTI:**

è stata determinata la velocità nel corso dei primi 30 m di uno sprint di 100 m piani su 12 atleti maschi.

Caratteristiche dei soggetti e migliori prestazioni sui 100 m piani nella stessa stagione.

	Età (anni)	Massa (kg)	Statura (m)	miglior tempo (s)
Media	21.0	74.2	1.80	11.30
DS	2.7	7.0	0.06	0.35

## Velocità, accelerazione af e d



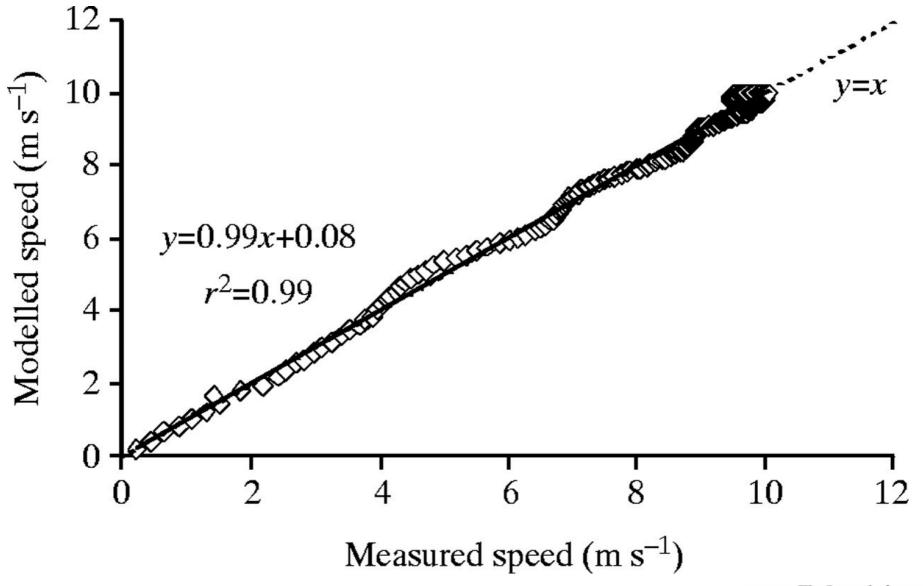
• 
$$\mathbf{s}(t) = \mathbf{s}_{\text{max}} \left( 1 - \mathbf{e}^{-t/\tau} \right)$$

• 
$$\mathbf{a}_{f}(t) = ds/dt = [\mathbf{s}_{max} - \mathbf{s}_{max}(1 - e^{-t/\tau})]/\tau$$

• 
$$d(t) = s_{max} t - [s_{max}(1-e^{-t/\tau})] \tau$$

dati è possibile Dai calcolare la pendenza equivalente (ES) e la massa equivalente (EM). Inserendo poi i valori di ES ed EM nell'equazione di Minetti, è possibile stimare il costo energetico della corsa in accelerazione (in J/(kg m):  $Cr = [155.4 ES_5 - 30.4 ES_4 -$ 43.3 ES<sub>3</sub> +46.3 ES<sub>2</sub> + 19.5 ES + 3.6] EM

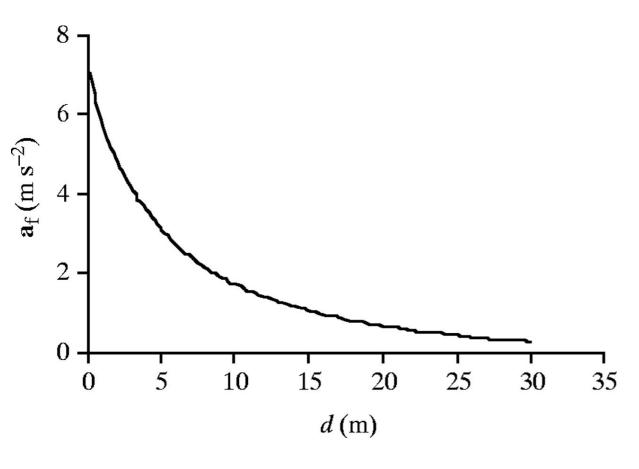
Running velocity as calculated by the exponential model, as a function of the actual running speed for a Subject (7).



di Prampero P E et al. J Exp Biol 2005;208:2809-2816



#### Accelerazione af in funzione di d



The instantaneous forward acceleration af (m s-2), obtained as described in the text, is plotted as a function of the distance d (m).

di Prampero P E et al. J Exp Biol 2005;208:2809-2816



## Costo energetico durante lo sprint (J kg<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>)

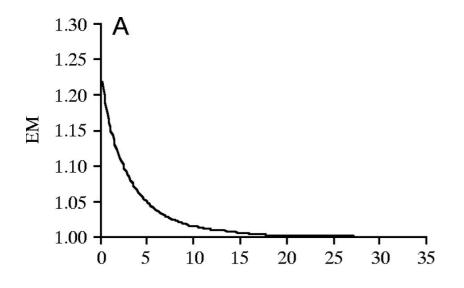
• EC<sub>r</sub> = 155.4  $x^5$ -30.4  $x^4$  - 43.3  $x^3$ +46.3  $x^2$  + 19.5 x + 3.6

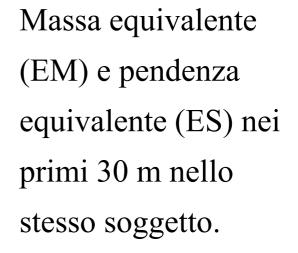
• EC<sub>r</sub> =  $(155.4 \text{ ES}^5-30.4 \text{ ES}^4-43.3 \text{ ES}^3+46.3 \text{ ES}^2+19.5 \text{ ES}+3.6)$  EM

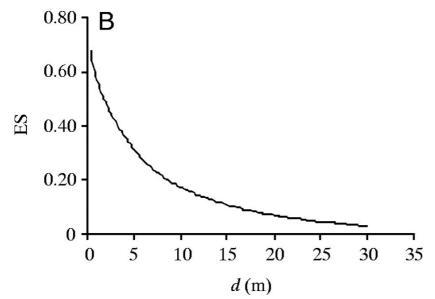
Table 2. Grand averages of peak values of speed (s), forward acceleration  $(a_f)$ , equivalent slope (ES) and equivalent body mass (EM)

	s (m s <sup>-1</sup> )	$a_f (m s^{-2})$	ES	EM
Mean	9.46	6.42	0.64	1.20
S.D.	0.19	0.61	0.06	0.03
CV	0.020	0.095	0.091	0.025

### ES e EM in funzione di d





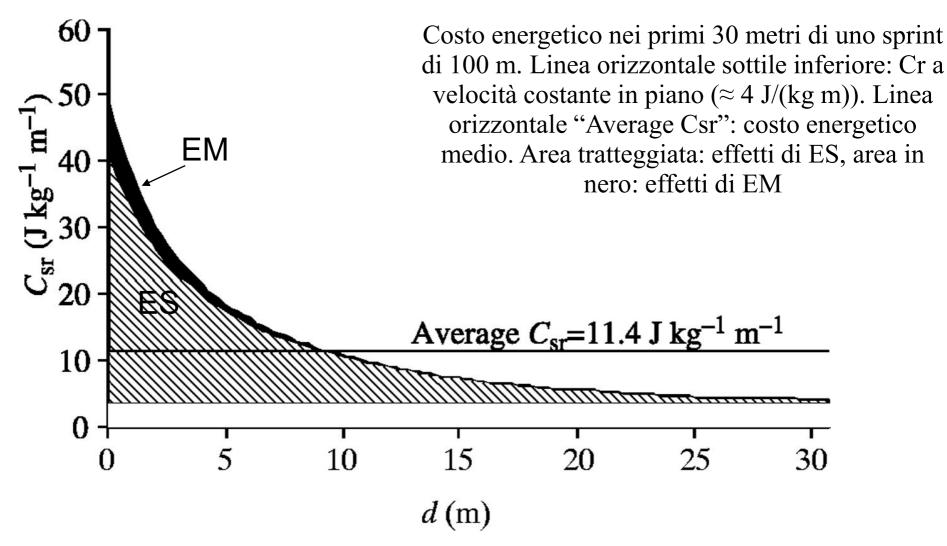


Dopo 30 m, i valori di ES e EM tendono a: ES→ 0 EM→ 1,

di Prampero P E et al. J Exp Biol 2005;208:2809-2816



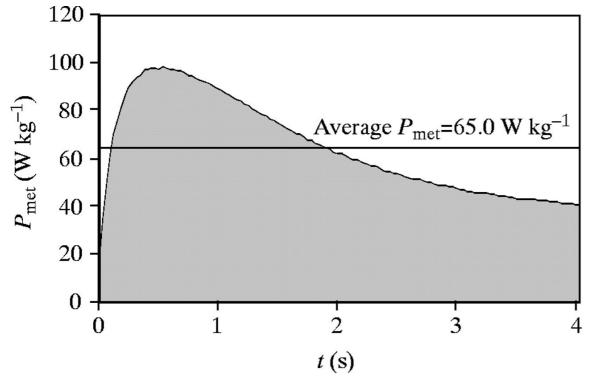
## Costo energetico della corsa sprint (ECsr)



ES è responsabile per la maggior parte dell'aumento di ECsr



### Potenza metabolica della corsa sprint (ECsr)



$$P(W kg^{-1}) = EC_{sr} * s$$

La potenza metabolica istantanea (Pmet, W/kg) è il prodotto di Csr (J/(kg m)) per la velocità (v, m/s): Pmet = Csr \* v. La potenza media nei primi 30 m (circa 4 s) è 65 W/kg. NB: Un valore di VO2max di 75 ml/(kg min) al di sopra del valore di riposo corrisponde a 26 W/kg

#### Risultati e confronto

$$P(W kg^{-1}) = EC_{sr} * s$$

Valori medi e di picco, e relativa deviazione standard (DS) (n = 12), del costo energetico dello sprint (Csr, J/(kg.m)) e della potenza metabolica (Pmet, W/kg).

Il valore medio di Csr è stato calcolato su 30 m e la potenza metabolica media su 4 s. I valori di picco si osservano nei primi 0,25 - 0,5 secondi

Med	dia	Picco					
EC <sub>st</sub> (J kg <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	P <sub>met</sub> (W kg <sup>-1</sup> )	EC <sub>st</sub> (J kg <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	P <sub>met</sub> (W kg <sup>-1</sup> )				
10.7 ± 0.59	61.0 ± 4.66	43.8 ± 10.4	91.9 ± 20.5				
Carl Lewis							
ES	EM	EC <sub>st</sub> (J kg <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	P <sub>met</sub> (W kg <sup>-1</sup> )				
0.80	0.80 1.3		145.0				

Emet stimata Carl Lewis (J kg-1) = 650

Il costo energetico della corsa in accelerazione può essere riassunto in un'unica formula:

Csr = 
$$(155.4 \cdot ES^5 - 30.4 \cdot ES^4 - 43.3 \cdot ES^3 + 46.3 \cdot ES^2 + 19.5 \cdot ES + 3.6) \cdot EM + k' \cdot v^2$$

v = velocità rispetto all'aria,  
ES = 
$$(a_f/g) * 100$$
  
EM =  $\sqrt{(a_f^2/g^2 + 1)}$ 

dove k'·v² (k' = 0.01 J·s²·m-³ per kg di massa corporea), è l'energia spesa per unità di distanza contro la resistenza dell'aria. Quest'equazione può essere risolta in funzione del tempo, purché la velocità, e quindi l'accelerazione, siano note. Inoltre il prodotto di Csr per la velocità è la potenza metabolica istantanea.

Va sottolineato che questo approccio si basa su una serie di semplificazioni e presupposti:

i) il soggetto si muove come un "unicum" localizzato a livello del centro di massa.

Di conseguenza:

ii) il lavoro interno è trascurato.

Infine:

iii) si presuppone che l'equazione di Minetti sia valida anche per pendenze superiori (o inferiori) a quelle da cui fu ottenuta (tra - 45 % e + 45 %).

#### Bilancio energetico della corsa sprint

Scopo: stimare le quantità di energia anaerobica ed aerobica necessaria a C. Lewis per coprire i 100 m

$$E = AnS - V' O_{2max} t - V' O_{2max} \tau (1-e^{-t\tau-1})$$
  
 $\tau = 10 - 23 \text{ s; } V' O_{2max} = 25 \text{ W kg}^{-1}$ 

1. Massima energia che teoricamente potrebbe ottenere dalla glicolisi anaerobia:

20 mM • 3 mlO<sub>2</sub> mM<sub>-1</sub> kg<sub>-1</sub> • 20.9 J mlO<sub>2-1</sub> = 1250 J kg<sub>-1</sub>

#### Bilancio energetico della corsa sprint

2. Massima energia che teoricamente potrebbe ottenere dalla scissione di PCr e ATP

 $0.25 \cdot 22 \text{ mmol kg}^{-1} \cdot 1/6 \text{ mmolO}_2/\text{mmol PCr} \cdot 22.4 \text{ mlO}_2/\text{mmolO}_2 \cdot 20.9 \text{ J mlO}_2^{-1} = 430 \text{ J kg}^{-1}$ 

3.  $E_{tot} = 430 + 1250 = 1680 \text{ J kg}^{-1}$ 

Si può concludere, quindi, che la quantità di energia che deriva da **AnS** durante uno sprint sui 100 m è circa **1/3** della quantità totale di energia che si può ottenere dal completo sfruttamento di AnS (che sostiene i 200-400m)

## **PARTE II**

## La potenza come vero misuratore dell'intensità nel calcio rispetto alla velocità

Applicazione dell'approccio riassunto nella Parte I al gioco del calcio, mediante "video match analysis".

## **Energy Cost and Metabolic Power in Elite Soccer: a new Match Analysis Approach**

C. Osgnach, S. Poser, R. Bernardini, R. Rinaldo, P.E. di Prampero.

Med. Sci Sport Exerc. 42: 170 – 178, 2010

## Modello di prestazione del calcio

#### DISTANZE PERCORSE:

- . 10-12 km per i giocatori in campo
- . 4 km per il portiere
- . Nel secondo tempo rispetto al primo l'intensità è ridotta e la distanza coperta è del 5-10% in meno

#### • ATTIVITA':

- . 1000-1400 azioni prevalentemente brevi ogni 4-6s
- . 10-20 sprint ad alta intensità (dall'1-11% della distanza totale)
- . 15 tackles (contrasti/intercettazioni)
- . 50 coinvolgimenti con la palla (dribbling, tiri, ecc;)
- . 30 passaggi

## Profilo energetico del calcio

(dalla letteratura)

•Spesa energetica stimata: 1200 – 1500 kcal

- •Potenza metabolica media stimata: 70% di VO2 max
  - Temperatura corporea
  - Freq. cardiaca
  - Consumo di O2

## Video Match Analysis

- •2-8 telecamere ai margini del campo;
- Automatic tracking dei giocatori (60% del tempo totale);
- Manual tracking (per il restante 40% del tempo);
- •Output: posizione del giocatore (frequenza di campionamento 25 Hz: circa 3.000.000 di dati per partita);
- Valutazione tecnica e tattica;
- Valutazione della prestazione atletica.

# Video Match Analysis Valutazione della prestazione atletica (dalla letteratura)

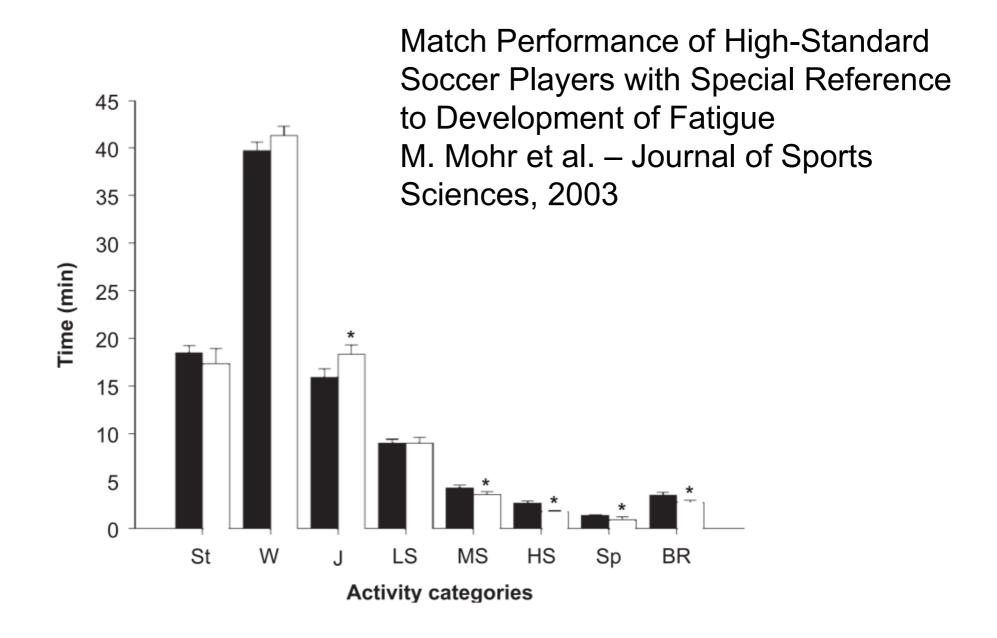
- •Distanza totale: 10 − 13 km;
- •Fatica: la distanza coperta nel 1° tempo è del 5-10% superiore a quella coperta nel 2° tempo;
- •Intensità, classi di velocità:

Walking Jogging Running LS Running HS Sprinting;
70% del tempo totale: Walking, Jogging o Running LS;
30% → 150-250 azioni di 15-20 metri Running HS

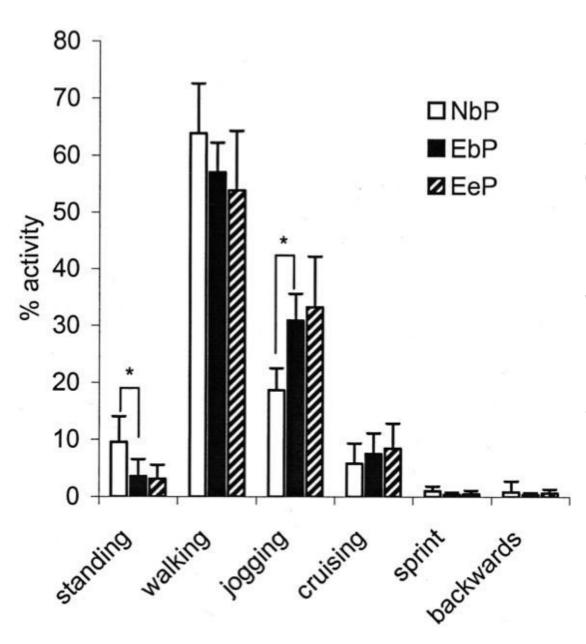
•*Sprinting* (definito come velocità di corsa superiore a 19-25 km/h):5-10% della distanza totale, 1-3% del tempo totale.

Per quanto dettagliate, queste analisi non tengono conto di un elemento essenziale del calcio: le accelerazioni e decelerazioni

#### ATHLETIC PERFORMANCE EVALUATION



#### ATHLETIC PERFORMANCE EVALUATION



Physiological Profile and Activity Pattern of Young Soccer Players during Match Play J. Stroyer et al. – Medicine and Science in Sport and Exercise, 2004

### Lo studio:

399 giocatori di Serie A - Campionato 2007-2008

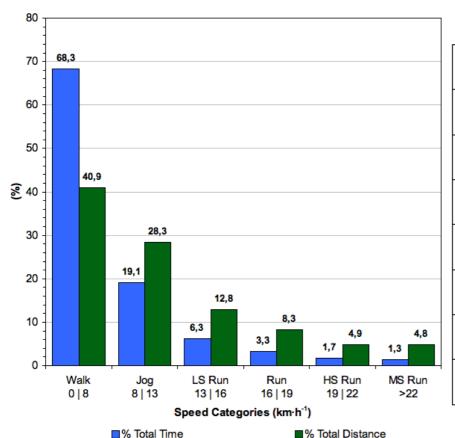
- Oltre 50 partite
- Oltre 1,050 giocatori
- •età 27±4 anni
- Massa corporea 75.8±5.0 kg
- •statura 1.80±0.06 m

## Match analisi tradizionale

•Tempo totale: **95 min 5 s ± 1 min 40** 

•Distanza totale: 10950 ± 1044 m

•Classi di velocità:



Speed Category	Т	D
Walk (from 0 to 8 km·h-1)	3895±333 s	4421±322 m
Jog (from 8 to 13 km·h <sup>-1</sup> )	1089±169 s	3111±497 m
LSR (from 13 to 16 km·h-1)	357±89 s	1423±356 m
ISR (from 16 to 19 km·h-1)	191±56 s	919±270 m
HSR (from 19 to 22 km·h <sup>-1</sup> )	97±31 s	546±178 m
MSR (>22 km·h-1)	77±31 s	531±214 m
TOTAL	5705±100 s	10950±1044 m

#### Applicazione del : Cost of sprint running, **Csr**

H Dec

-3 | -2

M Dec

-2 | -1

■% Total Time

L Dec

-1 | 0

Acceleration Categories (m·s-2)

Max Dec

<-3

LAcc

0 | 1

MAcc

1 | 2

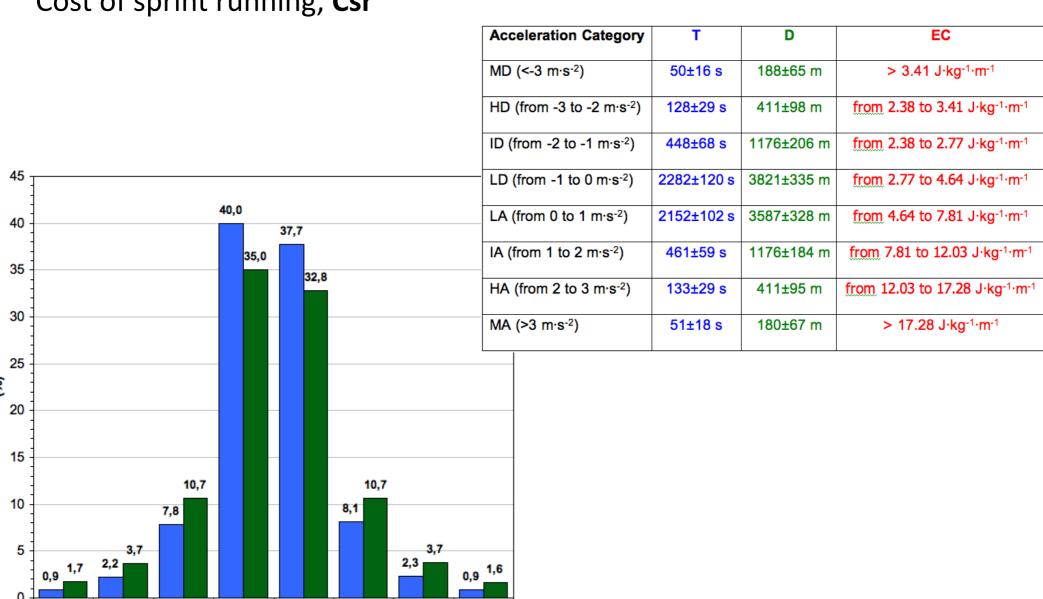
% Total Distance

H<sub>Acc</sub>

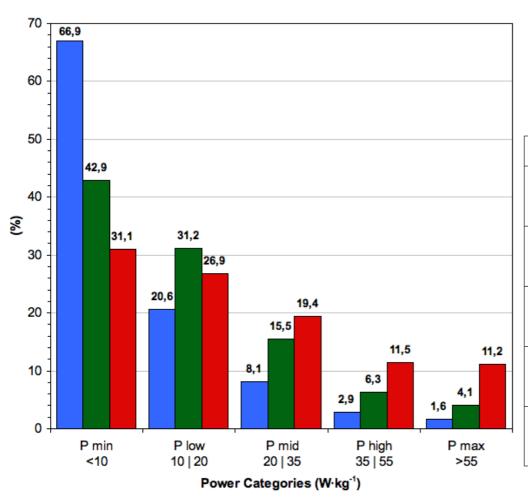
2 | 3

Max Acc

>3



# Dal prodotto tra Csr e velocità istantanea, sono state calcolate le Classi di Potenza metabolica



■% Total Time ■% Total Distance ■% Total Extimated Energy Expenditure

8±299 s	4647±230 m	19.01±1.21 kJ·kg <sup>-1</sup>
		4.54±0.29 kcal·kg <sup>-1</sup>
1173±161 s	3435±572 m	16.41±2.34 kJ·kg <sup>-1</sup>
		3.92±0.56 kcal·kg <sup>-1</sup>
461±91 s	1718±380 m	11.89±2.39 kJ·kg <sup>-1</sup>
		2.84±0.57 kcal·kg <sup>-1</sup>
163±38 s	670±173 m	6.99±1.63 kJ·kg <sup>-1</sup>
		1.67±0.39 kcal·kg <sup>-1</sup>
91±28 s	451±144 m	6.82±2.22 <u>kJ</u> ·kg <sup>-1</sup>
		1.63±0.53 kcal·kg <sup>-1</sup>
	3±161 s 1±91 s 3±38 s	3±161 s 3435±572 m 1±91 s 1718±380 m 3±38 s 670±173 m

#### **Applicazioni: Match analysis**

### 1. Match analysis

Determinazione di distanza (d), velocità (v) e accelerazione (a), tempo totale (T) e distanza totale (TD)

#### 2. Match activities

Suddivisione i diverse categorie di v (6), a (4 positive, 4 negative) e potenza (5)

# Costo energetico e potenza

## 1. Costo totale (EC)

Calcolato sommando i dispendi parziali calcolati considerando la distanza coperta nei diversi tratti e i tratti percorsi in accelerazione positiva e negativa

# 2. Equivalent distance (ED)

ED = W (total energy exp. J kg-1)/(ECterreno in piano • 1,29)

# 3. Equivalent distance index (EDI)

EDI = ED/TD

# Costo energetico e potenza

# 4. Potenza (W)

$$E' = EC \cdot v$$

# 5. Anaerobic Index

AI=  $\Sigma W_{TP}/\Sigma W$ dove  $\Sigma W_{TP} > 20$  W kg-1

## Risultati:v, d, EC, EEE,

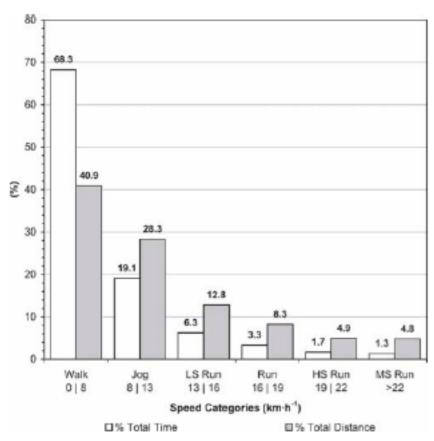


FIGURE 2—T and D (%) during the entire match in each speed category.

TABLE 2. T (s), D (m), and corresponding EC (J-kg<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup>) during the entire match in each acceleration category (mean  $\pm$  SD).

Acceleration Category	T(s)	D (m)	EC (J-kg <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup> )
MD (<-3 m·s <sup>-2</sup> )	50 ± 16	188 ± 65	>3.41
HD (from $-3$ to $-2$ m·s <sup>-2</sup> )	128 ± 29	411 ± 98	From 2.38 to 3.41
ID (from -2 to -1 m·s <sup>-2</sup> )	$448 \pm 68$	1176 ± 206	From 2.38 to 2.77
LD (from -1 to 0 m·s <sup>-2</sup> )	2282 ± 120	3821 ± 335	From 2.77 to 4.64
LA (from 0 to 1 m·s <sup>-2</sup> )	2152 ± 102	3587 ± 328	From 4.64 to 7.81
IA (from 1 to 2 m·s <sup>-2</sup> )	461 ± 59	1176 ± 184	From 7.81 to 12.03
HA (from 2 to 3 m·s <sup>-2</sup> )	133 ± 29	411 ± 95	From 12.03 to 17.28
MA (>3 m·s <sup>-2</sup> )	51 ± 18	180 ± 67	>17.28

As detailed in the Theoretical Model section, the EC of accelerated and decelerated running was obtained from the individual acceleration values, and the corresponding ES and EM was obtained with equation 4; the so-obtained results were then multiplied by the grassy terrain constant (KT = 1.29).

TABLE 3. T(s), D(m), and EEE (kJ-kg<sup>-1</sup> or kcal-kg<sup>-1</sup>) during the entire match in each power category (mean  $\pm$  SD).

Power Category	T(s)	D (m)	EEE
LP (from 0 to 10 Wkg <sup>-1</sup> )	3818 ± 299	4647 ± 230	19.01 ± 1.21 kJ·kg <sup>-1</sup> 4.54 ± 0.29 kcal·kg <sup>-1</sup>
IP (from 10 to 20 Wkg <sup>-1</sup> )	1173 ± 161	3435 ± 572	16.41 ± 2.34 kJ·kg <sup>-1</sup> 3.92 ± 0.56 kcal·kg <sup>-1</sup>
HP (from 20 to 35 Wkg <sup>-1</sup> )	461 ± 91	1718 ± 380	11.89 ± 2.39 kJ·kg <sup>-1</sup> 2.84 ± 0.57 kcal·kg <sup>-1</sup>
EP (from 35 to 55 Wkg <sup>-1</sup> )	163 ± 38	670 ± 173	6.99 ± 1.63 kJ·kg <sup>-1</sup> 1.67 ± 0.39 kcal·kg <sup>-1</sup>
MP (>55 W·kg <sup>-1</sup> )	91 ± 28	451 ± 144	6.82 ± 2.22 kJ·kg <sup>-1</sup> 1.63 ± 0.53 kcal·kg <sup>-1</sup>

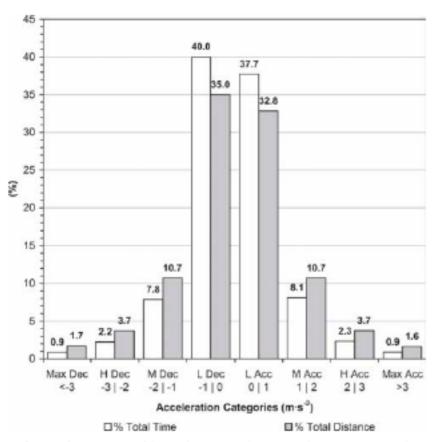


FIGURE 3—T and D (%) during the entire match in each acceleration category.

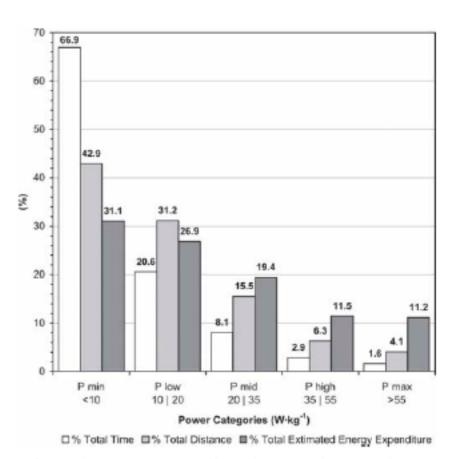


FIGURE 4—T, D, and EEE (%) during the entire match in each power category.

#### Risultati

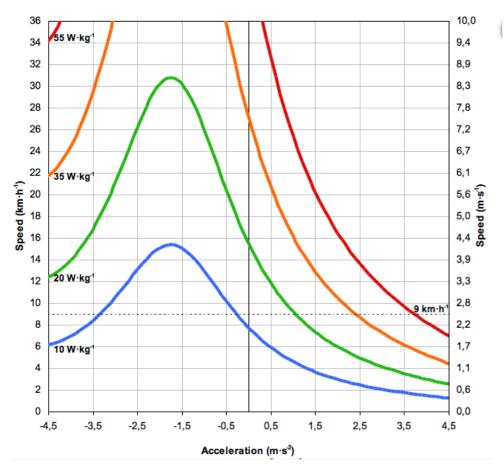
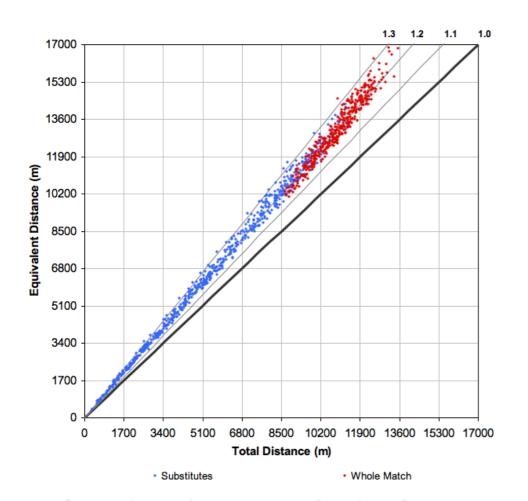


FIGURE 5—Isopower relationships calculated as function of speed (y-axis) and acceleration (x-axis). A speed of 9 km·h<sup>-1</sup> (horizontal sketched line) yields different power outputs depending on acceleration. For example, at a constant speed (9 km·h<sup>-1</sup>), the metabolic power would amount to approximately 13 W·kg<sup>-1</sup>, whereas at the same speed, but with an acceleration of 1 or 2.4 m·s<sup>-2</sup>, the metabolic power would increase to 20 or to 35 W·kg<sup>-1</sup>. Conversely, decelerated running would bring about a reduction of metabolic power.

#### W e accelerazione

- La stessa velocità media può corrispondere a potenze metaboliche diverse se si tiene conto dell'accelerazione
- Questo è il contributo innovativo dello studio



## Distanza Equivalente

#### **ED**

I calciatori più pigri sono caratterizzati da EDI più bassi, quelli più dinamici sono caratterizzati da EDI più elevati

FIGURE 6—ED is plotted as a function of TD. Players who complete the whole match are symbolized in *black circles*, whereas substitutes are symbolized in *gray circles*. Every *straight line* represents a constant ratio between ED and TD defined as EDI.

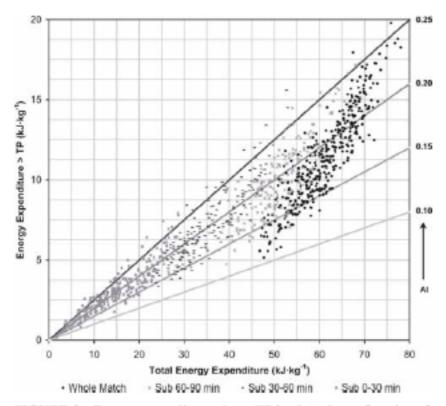


FIGURE 8—Energy expenditure above TP is plotted as a function of total energy expenditure. Players who completed the whole match are symbolized in *black circles*, substitutes who played from 60 to 90 min are symbolized in *gray crosses*, substitutes who played from 30 to 60 min are symbolized in *gray dashes*, and substitutes who played from 0 to 30 min are symbolized in *gray asterisks*. Every *straight line* represents a constant ratio between total energy expenditure and energy expenditure above TP defined as AI.

#### **Anaerobic Index (AI)**

- Al varia tra 0,15 e 0,25
- Ciò significa che il 15-25 per cento dell'energia metabolica totale è prodotta a intensità metaboliche massimali-sovra massimali

di Prampero PE et al **Sprint running: a new energetic approach.** J Exp Biol 208: 2809-2816, 2005

C. Osgnach, S. Poser, R. Bernardini, R. Rinaldo, P.E. di Prampero. Energy Cost and Metabolic Power in Elite Soccer: a new Match Analysis Approach Med. Sci Sport Exerc. 42: 170 – 178, 2010