

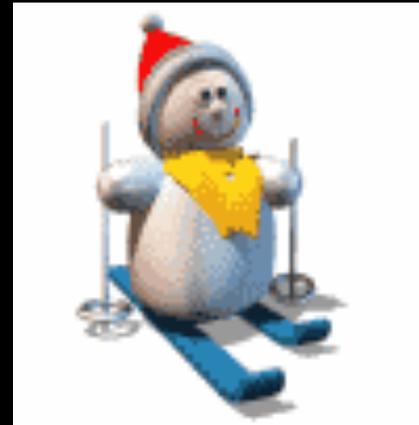
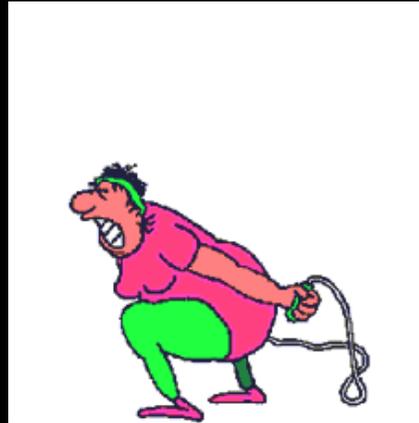
THE ENDURANCE SPORT EXPERIENCE  
**CAMP MELLITO 3.0**  
TUSCANY

FISIOPATOLOGIA DEGLI SPORT DI ENDURANCE  
"ENTRY LEVEL"

PRIMA PARTE: LA FISIOLOGIA

DOTT. MAURIZIO SUDANO - URBINO

# ENDURANCE: SEMPRE E SOLO AEROBIOSI?



“Attività sportive nelle quali la prestazione atletica è prolungata nel tempo e/o nello spazio  
Sono attività prevalentemente aerobiche”

# Prevalentemente? Provate a farvi queste domande...

- Se aumento bruscamente il ritmo in salita durante una corsa in bici di 200 km sono in aerobiosi?
- Se riprendo a tappe forzate la preparazione per una maratona dopo mesi di inattività sono comunque in aerobiosi?

L'aerobiosi non è una caratteristica dell'attività sportiva in sé ma dipende dal tipo di allenamento, dall'intensità e dal ritmo della prestazione, dalla condizione atletica del soggetto.

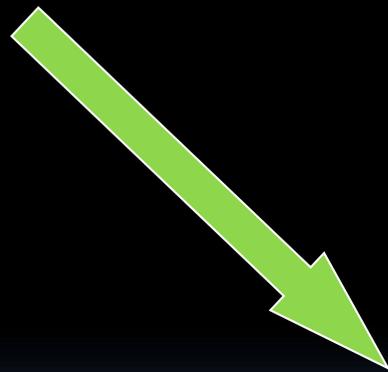
Questo concetto ha implicazioni metaboliche FONDAMENTALI

# La contrazione muscolare ricava energia da una sola molecola

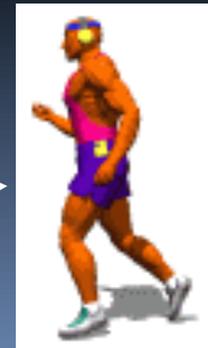
Sistema anaerobico  
alattacido

Sistema anaerobico

Sistema aerobico



**ATP**

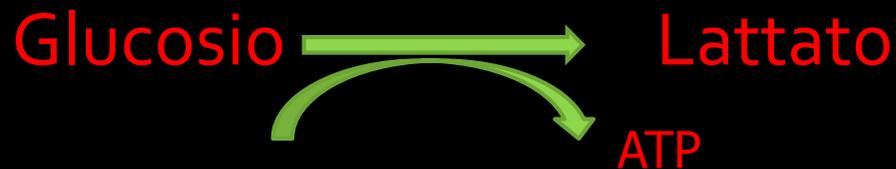


# Metabolismo anaerobico alattacido: lo Shuttle della fosfocreatina

- La fosfocreatina è contenuta all'interno delle fibre muscolari
  - Fosfocreatina + ADP + H<sup>+</sup> ⇌ ATP + Creatina
- Reazione rapidissima, principale fornitrice di ATP durante i primi secondi di esercizio fisico intenso
  - 60" corsa campestre
  - 20-30" corsa velocità media
  - 5-6" scatto in velocità

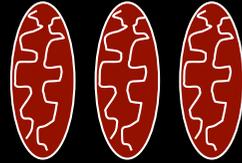
# sistema anaerobico: la Glicolisi

- Reazione che avviene in assenza di Ossigeno
- COMBUSTIBILE (o SUBSTRATO) UTILIZZATO: Glucosio



- Fonte importante di ATP all'inizio dell'esercizio **intenso**
- Fornisce ATP per i primi minuti di attività. In seguito, contribuisce in misura minore alla formazione di ATP (picchi di attività)
- Il lattato è a sua volta un substrato energetico che può essere riutilizzato dalle cellule muscolari (ciclo del lattato)

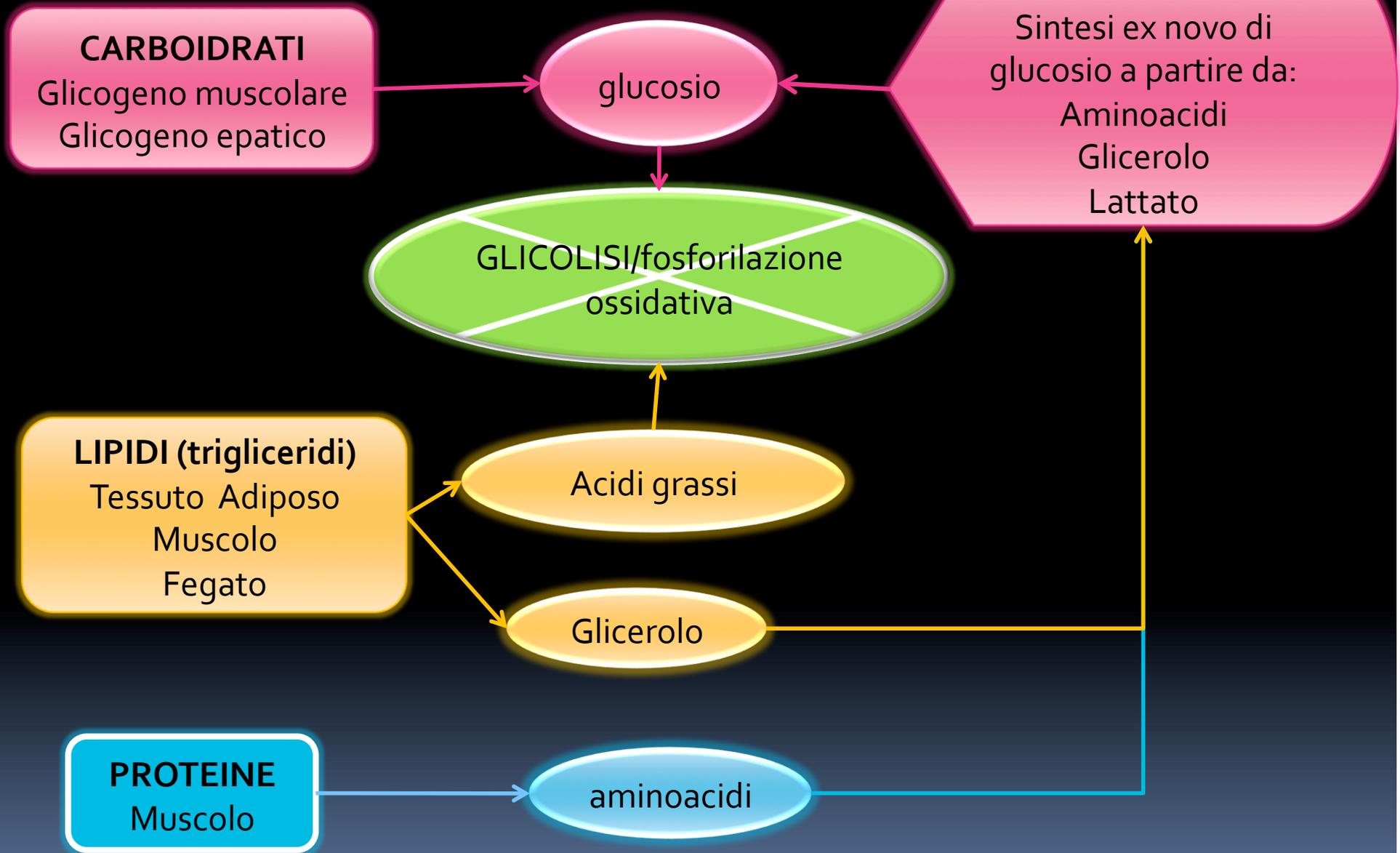
# Sistema aerobico: la Fosforilazione ossidativa



*Nei mitocondri i substrati (CARBOIDRATI, LIPIDI , PROTEINE) sono completamente ossidati in  $\text{CO}_2$  attraverso la fosforilazione ossidativa.*

*Il processo avviene solo in presenza di adeguate concentrazioni di Ossigeno*

# Depositi e vie del carburante



# Riserve energetiche

Composizione dell'organismo e delle riserve energetiche in un soggetto umano normale di 70 Kg

Tipo di substrato	tessuto	Peso (Kg)	% del peso corporeo	Valore calorico (Kcal)
<b>LIPIDI</b>	<b>Tessuto adiposo</b> <b>muscolo</b>	<b>11-17</b>	<b>15-25</b>	<b>100.000-150.000</b>
<b>PROTEINE</b>	<b>Tessuto muscolare</b> <b>(principalmente)</b>	<b>8-12</b>	<b>12-17</b>	<b>32.000-48.000</b>
<b>carboidrati</b>	<b>Fegato (glicogeno)</b>	<b>0.07</b>	<b>&lt;1</b>	<b>280</b>
	<b>Muscolo</b> <b>(glicogeno)</b>	<b>0.2</b>	<b>&lt;1</b>	<b>800</b>
	<b>Sangue (glucosio)</b>	<b>0.02</b>	<b>&lt;1</b>	<b>80</b>

Tipo di substrato	Peso (Kg)	Valore calorico (Kcal)
<b>Glucosio</b>	<b>0.02</b>	<b>80</b>
<b>Acidi grassi liberi</b>	<b>0.0003</b>	<b>3</b>
<b>triacilglicerolo</b>	<b>0.003</b>	<b>30</b>

L'energia totale immediatamente disponibile dal plasma è estremamente bassa e basta per circa 80 min di metabolismo basale (1800 Kcal/giorno)

# L'attivazione dei vari metabolismi: questione di tempo, intensità e...allenamento



# I flussi energetici fondamentali: riepilogo

## Grassi

## Zuccheri

**Aerobico**

**Anaerobico Lattacido**

**Anaerobico Alattacido**

**Potenza**

Minima

Quasi Max

Max

**Durata**

Illimitata

15" – 180"

10" – 15"

**Recupero**

da 0" a giorni

da 2-3' a giorni

da 0" a 120'

N.B.!! Il metabolismo non si attiva con gli interruttori...

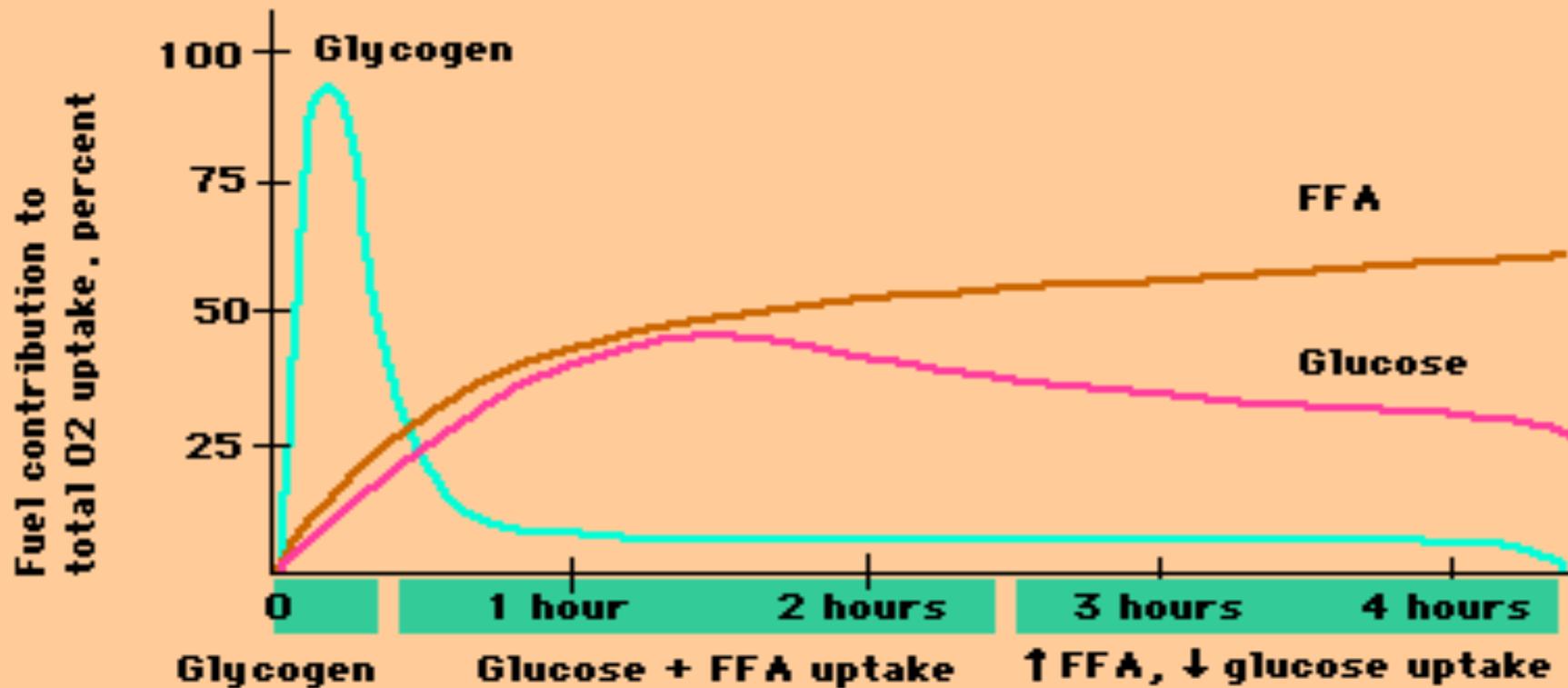


1. I tre sistemi energetici spesso operano simultaneamente durante l'attività fisica.
2. Il contributo relativo di ogni sistema alle richieste energetiche totali dipende notevolmente dall'intensità dell'esercizio e dalla sua durata

# La miscela ottimale di carburanti nel corso di attività fisica prolungata



# Contributo dei vari substrati nel corso di una maratona



## Un pò di grandezze(1): $\dot{V}O_2\text{max}$

- Massima quantità di ossigeno che può essere utilizzata nell'unità di tempo da un individuo, nel corso di una attività che coinvolge grandi gruppi muscolari e protratta fino all'esaurimento
- Si esprime in ml/Kg/min.
- Valutabile direttamente con apparecchiature complesse
- Indirettamente e con qualche approssimazione tramite la  $FC_{\text{max}}$

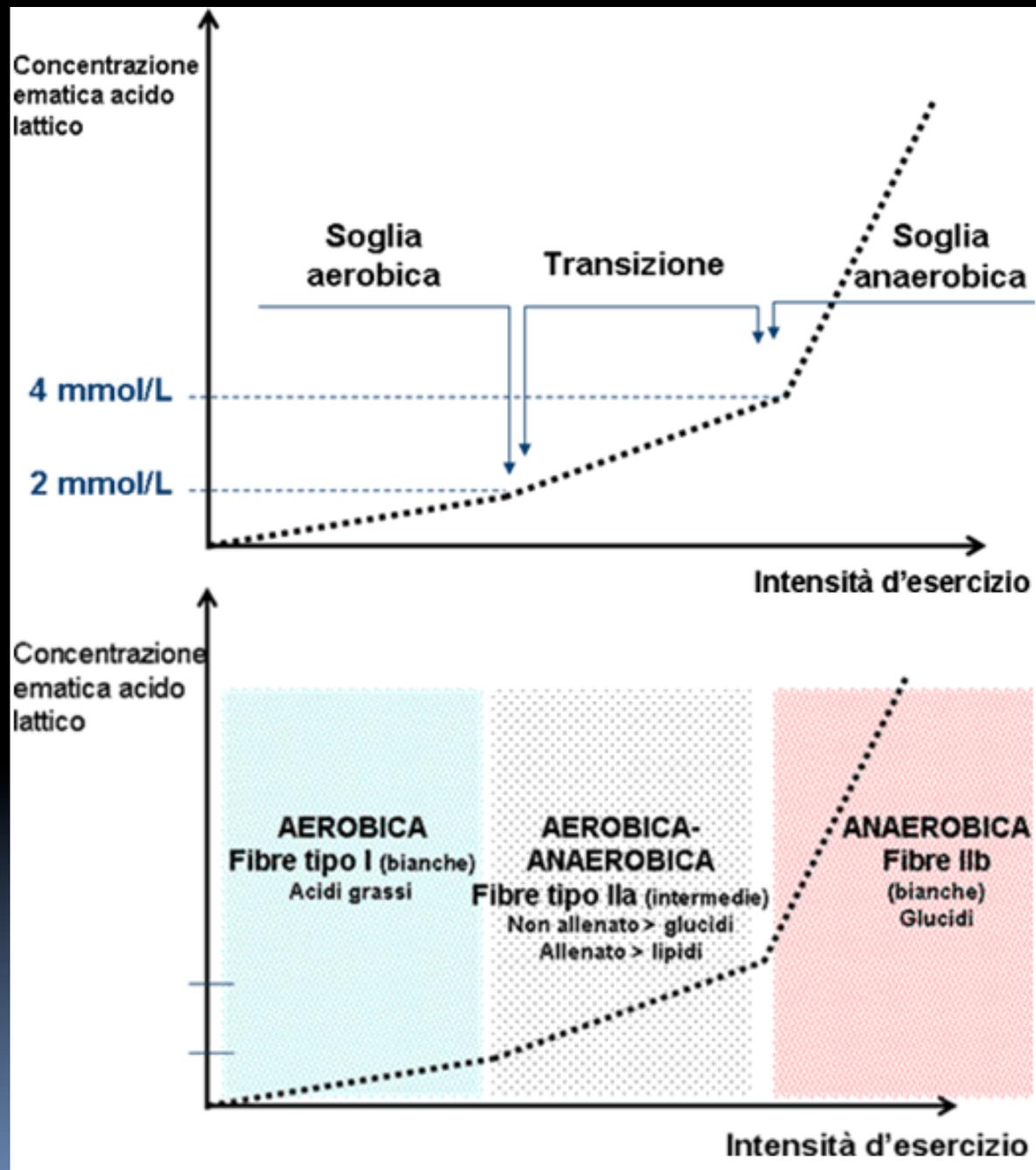
## Un pò di grandezze (2): Soglia del lattato (impropriamente soglia anaerobica)

- Intensità di esercizio a partire dalla quale la quantità di acido lattico prodotta è superiore a quella che l'organismo riesce ad utilizzare, con aumento esponenziale del lattato nel sangue (convenzionalmente  $> 4$  mmol/L)
- IN PAROLE POVERE indica l'intensità massima di esercizio A RITMO COSTANTE che il soggetto può sostenere senza accusare la fatica. La durata di sopportazione della soglia del lattato è INDIVIDUALE.
- Il superamento della soglia del lattato per più di pochi minuti anticipa l'insorgenza della fatica
- La sensazione di fatica o dolore muscolare non è però dovuta al lattato ma all'accumulo di ioni  $H^+$

# Correlazione fra V02 e FC

(N.B. Valori indicativi!)

%VO <sub>2</sub> max	%FCmax	Substrato energetico principale
35-50	50-60	Lipidi
60	70	Lipidi
73	80	Glucidi/lipidi
>85	90	glucidi



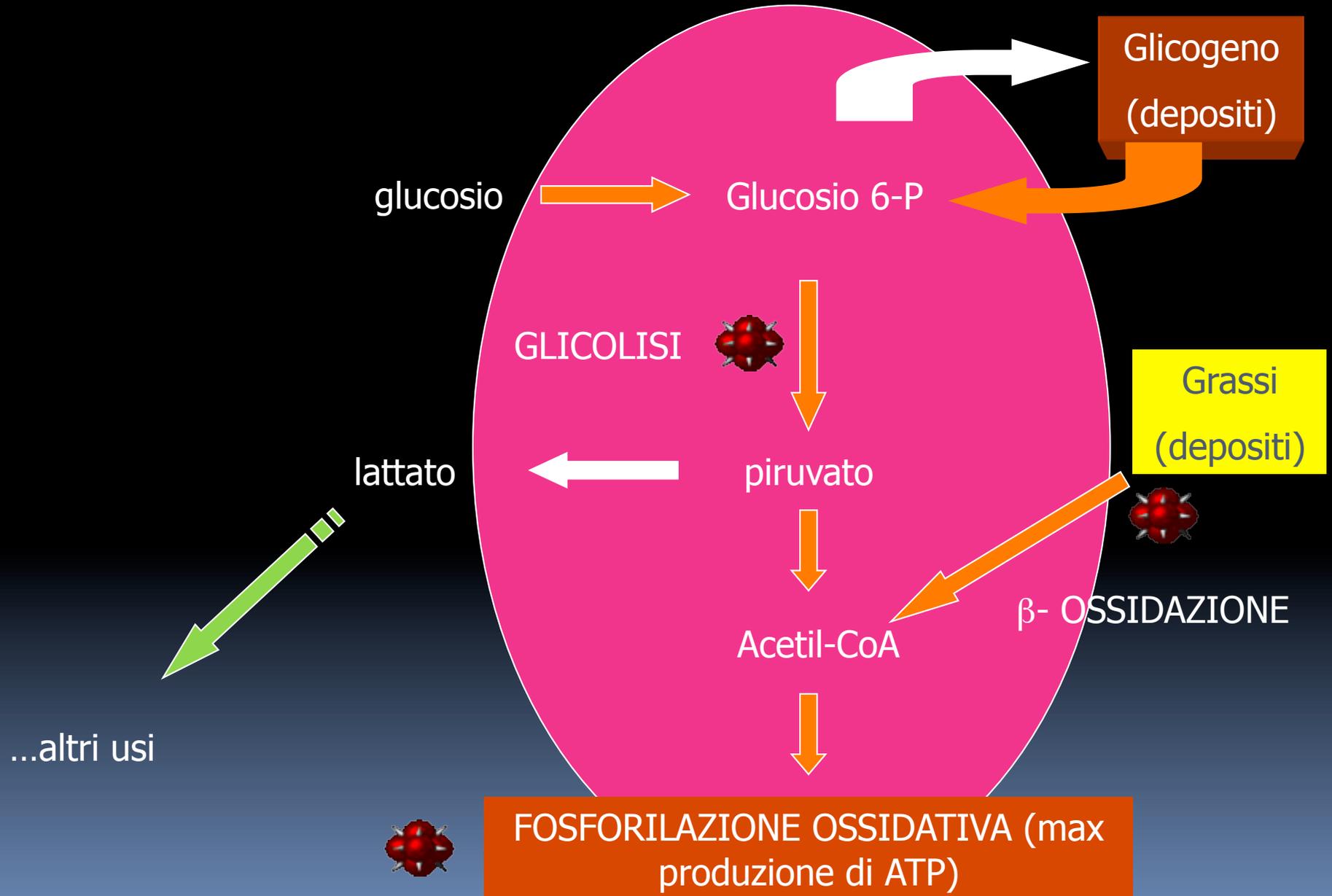
# Stabilire la soglia del lattato

- Individui non allenati: 50-60%  $VO_2\text{max}$
- Individui allenati: 75%  $VO_2\text{max}$
- Atleti di élite: 80-90%  $VO_2\text{max}$

Oppure:

- Soggetti non allenati: 50-60%  $FC\text{max}$
- Soggetti allenati: 80-90%  $FC\text{max}$

# Endurance e metabolismo energetico



# Scenario 1) Sedentario volenteroso



glucosio

Glucosio 6-P

Glicogeno  
(depositi)

GLICOLISI

piruvato

lattato

Grassi  
(depositi)

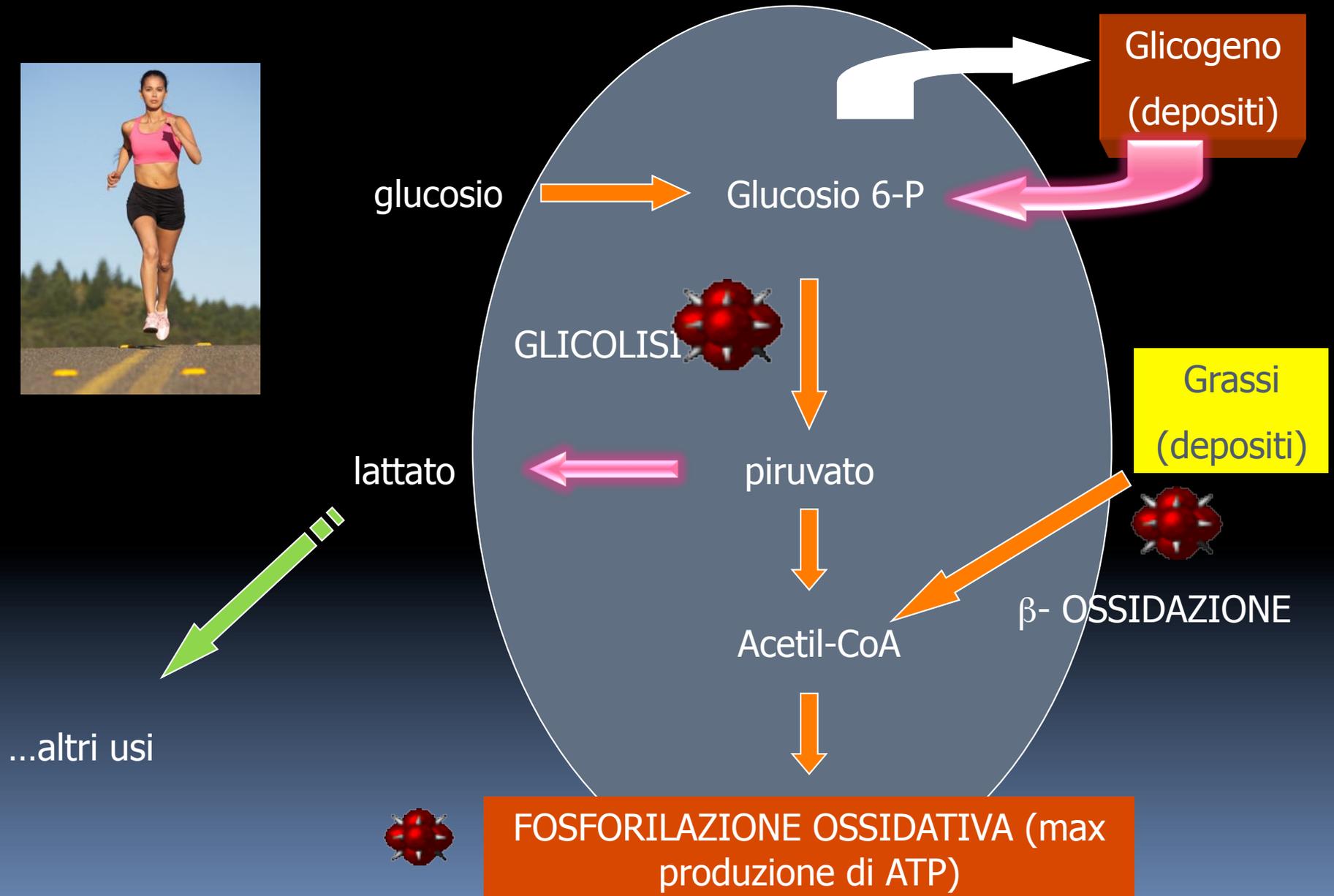
$\beta$ - OSSIDAZIONE

Acetil-CoA

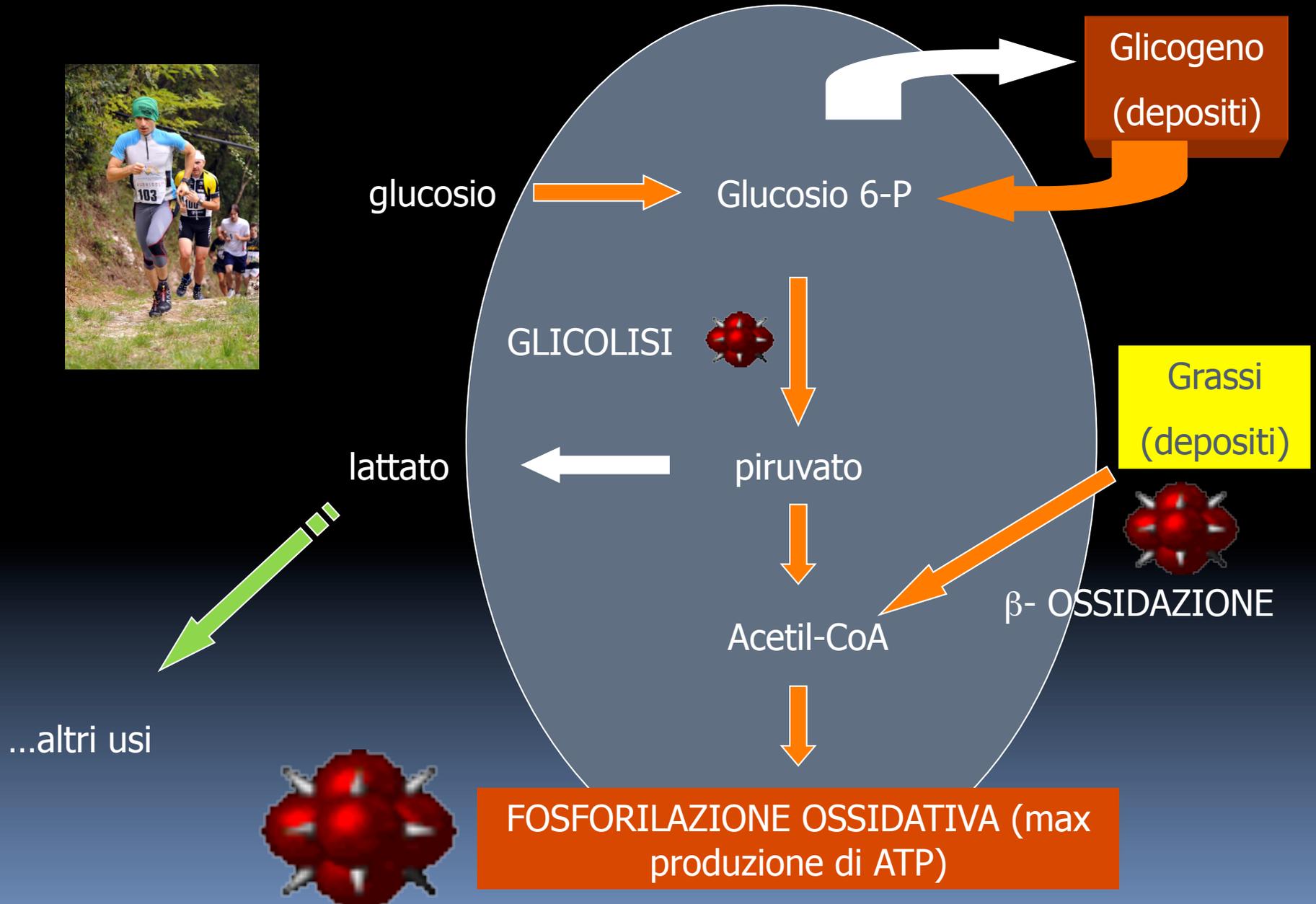
~~Fosforilazione ossidativa~~



# Scenario 2): Allenato "carboidratico"



# Scenario 3): il super-fondista consumatore di grassi e risparmiatore di glicogeno





# Il controllo metabolico nelle attività prolungate è FUNZIONE (anche) DEL GRADO DI PREPARAZIONE

- A comparative investigation of glycemic control in elite and recreationally-active individuals with and without T<sub>1</sub>DM during multi-day ultra-distance exercise: the 2013 mHealth Grand Tour



Campbell et al. EASD Vienna 2014

..ma anche la costituzione ha il suo ruolo!





N.B. I meccanismi di adattamento appena esposti non sono una “stranezza” del metabolismo dell’atleta, ma sono potenzialmente presenti in tutte le persone, diabetici e non.



...come mai?

# Non siamo nati sedentari...



*Review* Maurizio Sudano

*Il Giornale di AMD 2013;16:411-419*

## Stile di vita ancestrale e collisione evolutiva. Parte 1\*: la scimmia cacciatrice



M. Sudano<sup>1</sup>, F. Gregorio<sup>2</sup>  
msudano\_99@yahoo.it

<sup>1</sup> Servizio di Diabetologia e Malattie Metaboliche – ASUR Marche AV1 Urbino; <sup>2</sup> UOSD Malattie Metaboliche e Diabetologia Ospedale ASUR Marche, AV2, ZT6 “E. Profili” Fabriano (AN)

**Parole chiave:** Medicina evolutivista, Cacciatori-raccoglitori, Paleo-dieta, Genotipo parsimonioso, Insulino-resistenza

**Key words:** Evolutionary medicine, Hunter-gatherers, Paleo-diet, Thrifty genotype, Insulin-resistance

Il Giornale di AMD, 2013;16:411-419

*e di AMD 2014;17:24-32*

## Stile di vita ancestrale e collisione evolutiva. Parte 2\*: natural born runners

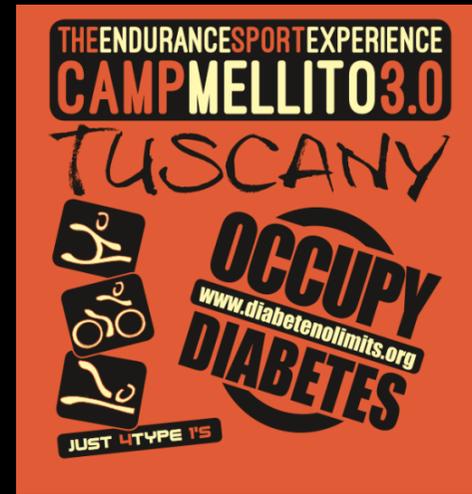


F. Gregorio<sup>1</sup>, M. Sudano<sup>2</sup>, D. Gregorio<sup>3</sup>  
franco.gregorio@sanita.marche.it

<sup>1</sup> UOSD Malattie Metaboliche e Diabetologia Ospedale ASUR Marche, AV2, ZT6 “E. Profili” Fabriano (AN); <sup>2</sup> Servizio di Diabetologia e Malattie Metaboliche – ASUR Marche AV1 Urbino; <sup>3</sup> Corso Laurea in Scienze e Tecniche Psicologiche dei Processi Mentali, Università di Perugia

**Parole chiave:** Corsa aerobica, Caccia, Evoluzione homo  
**Key words:** Endurance running, Unting, Hominid evolution

Il Giornale di AMD, 2014;17:24-32



# SECONDA PARTE

## GENERALITA' SU DIABETE T1 E SPORT DI ENDURANCE

Dott. Maurizio Sudano - Urbino

# AZIONI DELL'INSULINA

- Rimuove il glucosio dal circolo
- Incrementa i “depositi” di glucosio nel muscolo e nel fegato (glicogeno)
- Blocca la neoproduzione di glucosio dal fegato (gluconeogenesi) e la liberazione in circolo di glucosio (glicogenolisi)
- Facilita la trasformazione degli acidi grassi in lipidi di deposito
- Stimola la sintesi proteica



Da ricordare  
una volta  
per tutte!!!

- L'insulina è un ormone ad azione prevalentemente ANABOLICA
- L'insulina non "brucia" né carboidrati né altro!
- Facilita l'ingresso di glucosio nelle cellule, MA E' IL VOSTRO LAVORO A DETERMINARE QUANTO NE VERRA' "BRUCIATO"
- Un eccesso di insulinizzazione provoca....una ipoglicemia, e non un aumento della "combustione" di zuccheri

# Perché l'attività fisica diminuisce il fabbisogno insulinico ?

- ↑ **perfusione del letto vascolare**
- ↑ **attività di IGF-1, chinine, prostaglandine, ossido nitrico**
- ↑ **sensibilità dei recettori per l'insulina**
- ↑ **esposizione dei recettori per l'insulina**
- ↑ **attività GLUT 4**
- ↑ **trasporto del glucosio dentro la cellula indipendente da insulina ( att. AMPK)**

# Ormoni “controinsulari”

- Cortisolo, adrenalina, noradrenalina, glucagone, GH
- Fra le altre cose hanno la funzione di mobilitare glucosio per garantire un adeguato supporto energetico ai muscoli che lavorano
- L'aumento dell'attività controinsulare è direttamente proporzionale all'intensità dello sforzo

Nei non diabetico...

# Attività fisica

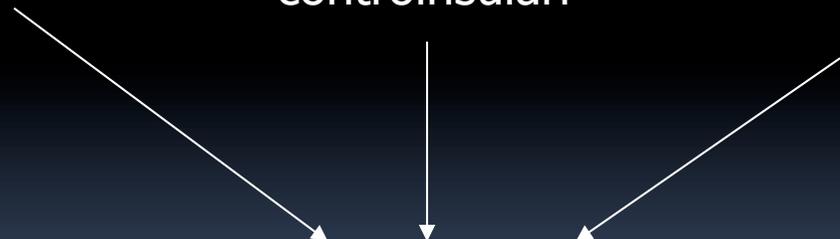


Diminuisce il  
rilascio di insulina

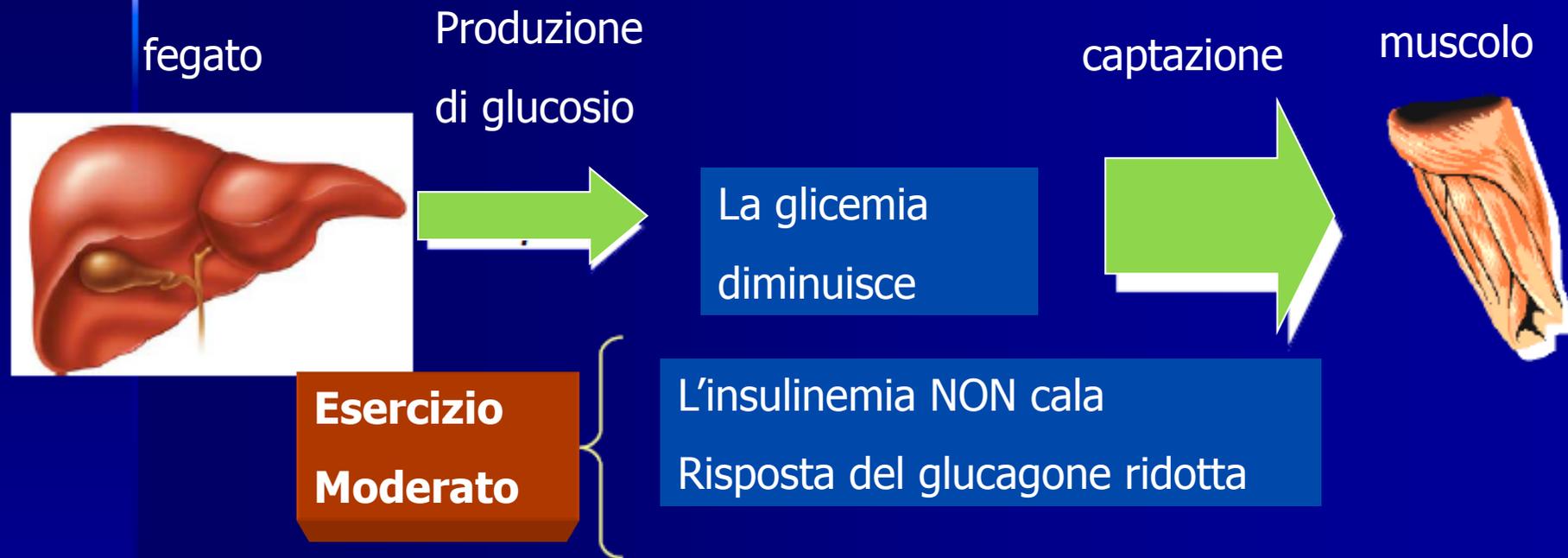
Aumenta l'attività  
degli ormoni  
controinsulari

Aumento  
dell'ingresso di  
glucosio nei  
muscoli

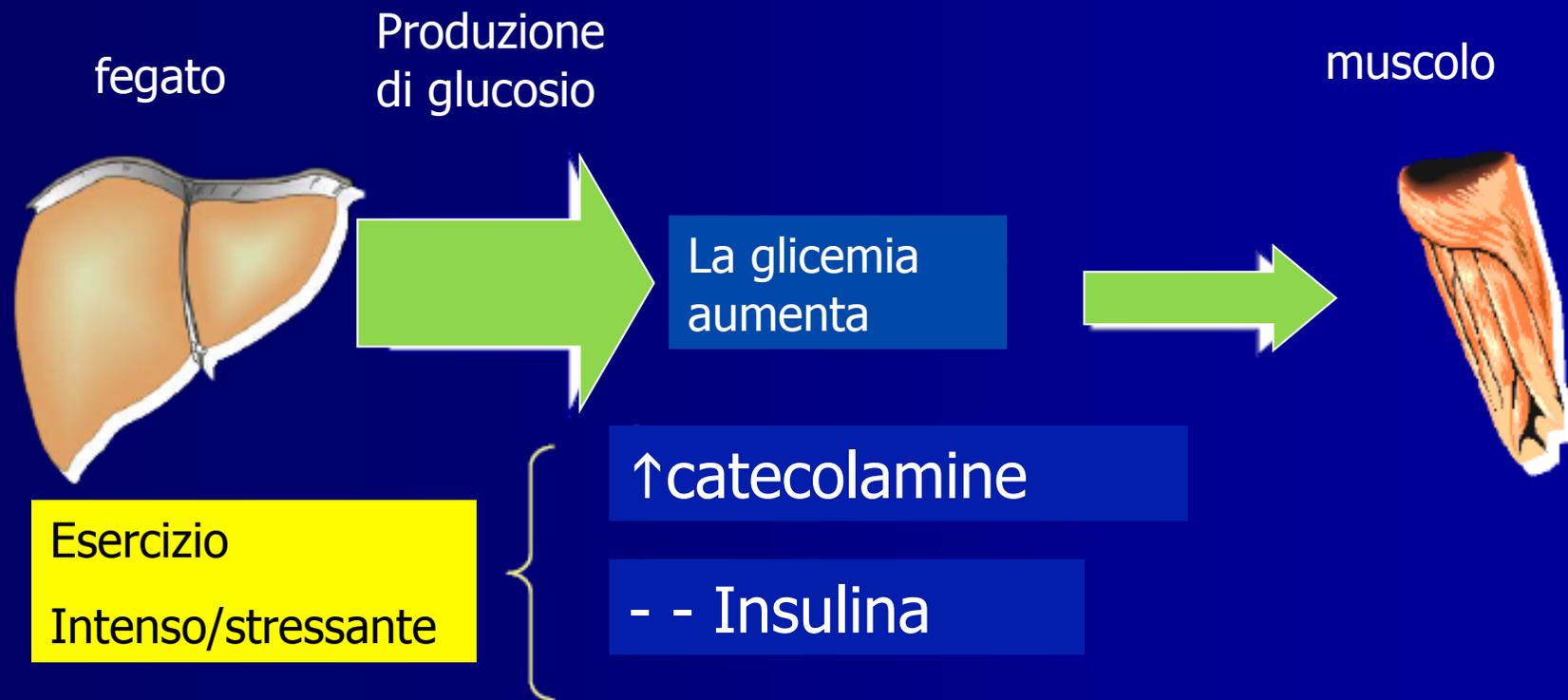
normoglicemia



# Controllo della glicemia ed esercizio aerobico in persone con T1DM



# Controllo della glicemia ed esercizio anaerobico intenso in persone con T1DM



# TIPI DI SPORT E GLICEMIA

Weightlifting, Power lifting

Track (sprinting & field events), Diving (Platform & springboard)

American football, Swimming (sprints), Gymnastics, Fencing

Wrestling, Volleyball, Ice hockey, Track cycling

n.b. !!! Fasi di anaerobiosi possono comparire anche nel corso di attività di endurance (superamento della soglia del lattato)

Rowing

In-line skating

Cross country skiing

Race walking

Marathon running

Iron Man triathlon

Ultra-marathon running

Hyperglycemia

**ANAEROBIC**  
Short duration  
High-intensity

**AEROBIC**  
Longer duration  
Lower Intensity

Hypoglycemia

# Impatto del carico di lavoro sul consumo di glucosio

- Glucose requirements for prevention of hypoglycemia during exercise in individuals with T1 diabetes mellitus.

Shetty VB et al. ,EASD Barcellona 2013

Soggetti sottoposti a clamp (con glicemie costanti fra 4,5 e 6 mmol/L (81-108 mg/dl);

Sottoposti a 40 minuti di lavoro a diverse  $VO_2Max$  (35%, 50%, 65%, 80%);

Misurazione del glucosio infuso (e quindi consumato)

- Risultati: il consumo di glucosio non ha un andamento lineare ma segue una curva:  
aumenta progressivamente fino al 65% di  $VO_2\text{Max}$  per calare successivamente ai carichi più elevati.
- Nessuno dei soggetti ha avuto bisogno di glucosio per carichi di lavoro a 80%  $VO_2\text{Max}$
- Peraltro due soggetti non hanno avuto mai bisogno di glucosio a qualunque carico (a questo punto dovrete saper e il motivo.....)
- Ipotesi su cui ragionare: a parità di altri fattori, il rischio di ipoglicemia nel corso di endurance è massimo per carichi di lavoro protratti di poco inferiori alla  $VO_2\text{ max}$

# Limitazioni di questi studi

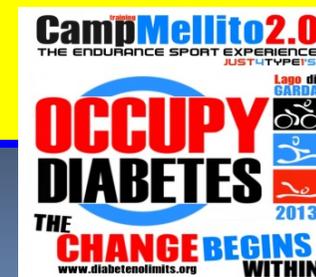
- La gran parte degli studi si basa su carichi di lavoro di durata limitata;
- Mancata valutazione del grado di allenamento;
- Poche osservazioni dinamiche;
- Esempio: picco sovrasoglia del lattato > attivazione del sistema controinsulare > iperglicemia > ma proseguendo tornando sotto soglia.....cosa succede?



# Glicemia e carichi di lavoro "reali": test DNL style(Cristian)

	glicemia	FC	borg	lattato
zona 1	170	150	12	2,4
zona 2	192	157	13	3,6
zona 3	229	170	17	5,9
zona 4	220	179	5	
zona 5	202	183	19	6,2
post 15'	260			3,4

nota: test incrementale a steps di 15'



# Glicemia e carichi di lavoro “reali”: test DNL style(Alberto)

	glicemia	FC	borg	lattato
zona 1	138	149	13	3,4
zona 2	177	172	15	4,4
zona 3				
zona 4	218	176	17	7,3
zona 5	235	185	19	7,2
post 15'	243			1,1



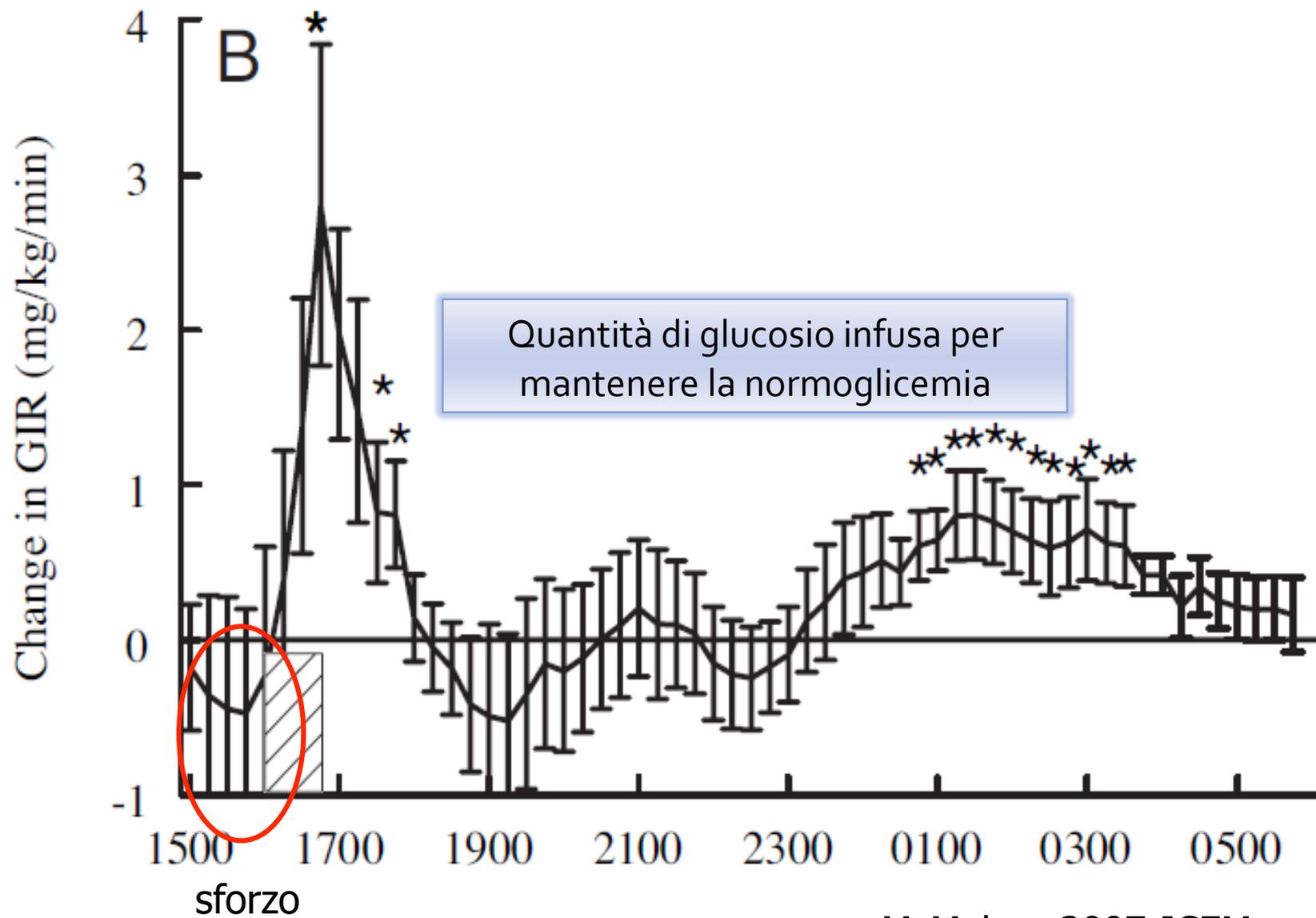
# Ipoglicemia per-competitiva, possibili cause:

- Eccesso di insulinizzazione (che provoca anche inibizione della combustione dei lipidi)
- Iperglicemia pre-competitiva (che inibisce la gluconeogenesi)
- Integrazione inadeguata
- Inadeguata preparazione "lipidica"

## E “dopo?”

- Iperglicemia precoce post-attività, cause:
  - brusca interruzione dell'esercizio fisico, associato a:
  - Raggiungimento (e superamento) della soglia del lattato nella parte finale della prestazione
- **Ipoglicemia precoce post-attività** (entro un'ora)
  - Prima “finestra” di ricostituzione delle scorte muscolari ed epatiche di glicogeno

# L'ipoglicemia tardiva



# Problemi extra...

- Stress percompetitivo ( $\uparrow$  adrenalina  $>$  iperglicemia)
- Disidratazione
- Esposizione al freddo
  - Può determinare un ulteriore incremento degli ormoni controinsulari
  - Possibile rallentamento dell'assorbimento di insulina (dati "vecchi" ricavati con insuline umane)
  - Problemi per il trasporto di insulina (wind chill!)
  - Affidabilità dei glucometri

# Wind Chill

Vel. Vento a 10 m (km/h)	Temperatura dell'aria, °C (da <i>Osczevski &amp; Bluestein, 2001</i> )									
	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47
10	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51
15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54
20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56
25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57
30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59
35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60
40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61
45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62
50	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63
55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63
60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64
65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65
70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65
75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66
80	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67
	Rischio di congelamento in esposizione prolungata									
	Rischio di congelamento in 10 minuti (su pelle calda, appena esposta)									
	Rischio di congelamento in meno di 2 min. (su pelle calda appena esposta)									