



Briciole di metabolismo dei flussi energetici

Dott. Maurizio Sudano - Urbino

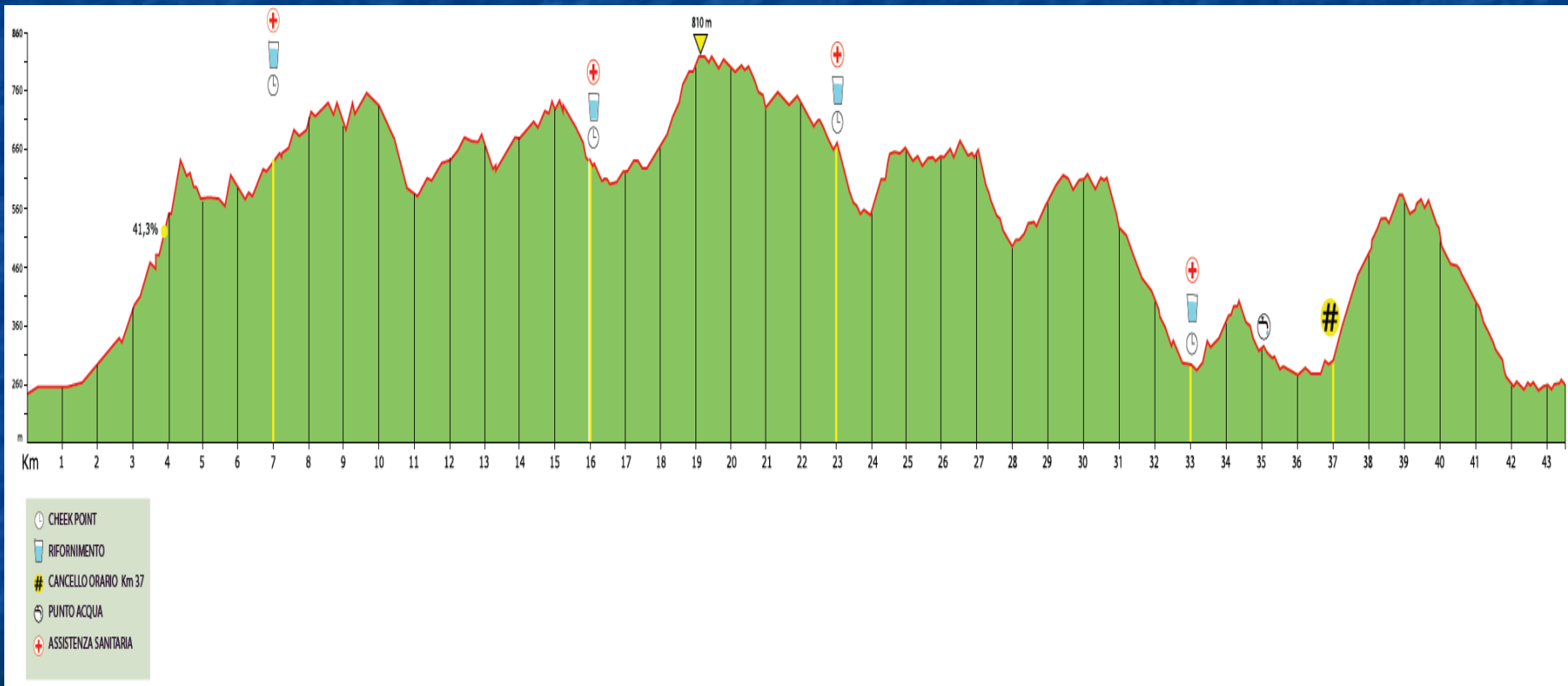
Endurance: solo aerobiosi?



“Attività sportive nelle quali la prestazione atletica è prolungata nel tempo e/o nello spazio

Sono attività prevalentemente aerobiche”

“PREVALENTEMENTE.....? Profilo altimetrico della Ronda Ghibellina 2013

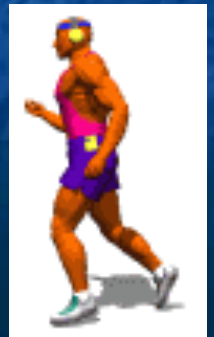
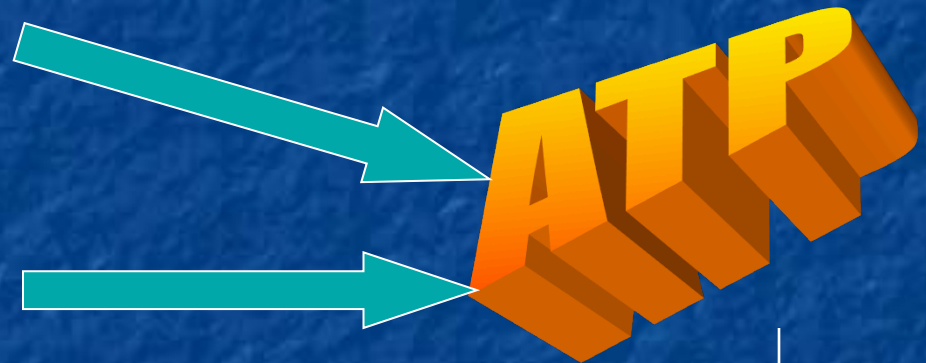


La contrazione muscolare ricava energia da una sola molecola

Sistema anaerobico
alattacido

Sistema anaerobico

Sistema aerobico



L'ATP già presente nelle fibre muscolari
basta solo per 2-3 contrazioni massimali

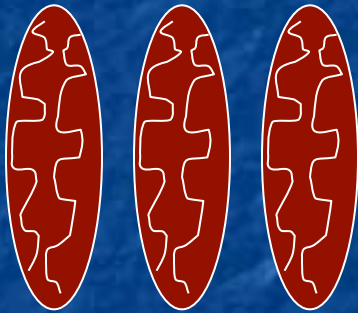
Metabolismo anaerobico lattacido: lo Shuttle della fosfocreatina

- $\text{PCr} + \text{ADP} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{ATP} + \text{Cr}$
- Principale fornitore di ATP durante i primi secondi di esercizio fisico intenso
 - 60'' corsa campestre
 - 20-30'' corsa velocità media
 - 5-6'' scatto in velocità

Meccanismo anaerobico: la Glicolisi

- $\text{Glucosio} + 2 \text{ Pi} + 2 \text{ ADP} \rightarrow 2 \text{ Lattato} + 2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ ATP}$
- Fonte importante di ATP all'inizio dell'esercizio intenso
- Può fornire ATP per i primi minuti di attività. In seguito, contribuisce in misura minore alla formazione di ATP (picchi di attività)
- Il lattato viene riutilizzato dalle cellule muscolari (ciclo del lattato)

Meccanismo aerobico: la Fosforilazione ossidativa



Nei mitocondri i substrati sono completamente ossidati in CO₂ attraverso la fosforilazione ossidativa,

SUBSTRATI (carburanti)

- Carboidrati (glicogeno intracellulare, glucosio circolante o prodotto ex novo)
- Lipidi (Acidi grassi liberi)
- Proteine

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)
LIPIDI	Tessuto adiposo	11-17	15-25	100.000-150.000
PROTEINE	Tessuto muscolare (principalmente)	8-12	12-17	32.000-48.000
carboidrati	Fegato (glicogeno)	0.07	<1	280
	Muscolo (glicogeno)	0.2	<1	800
	Sangue (glucosio)	0.02	<1	80

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

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

Le Fonti Energetiche: riepilogo

Grassi

Zuccheri

Aerobico

Anaerobico Lattacido

Anaerobico Alattacido

Potenza

Minima

Quasi Max

Max

Durata

Illimitata

15" – 45" * 45" – 180"

10" – 15"

F.C.

120 - 150

> 160

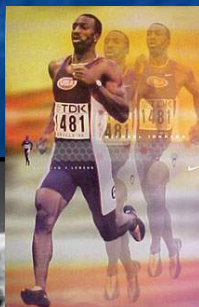
Norm - > 180

Recupero

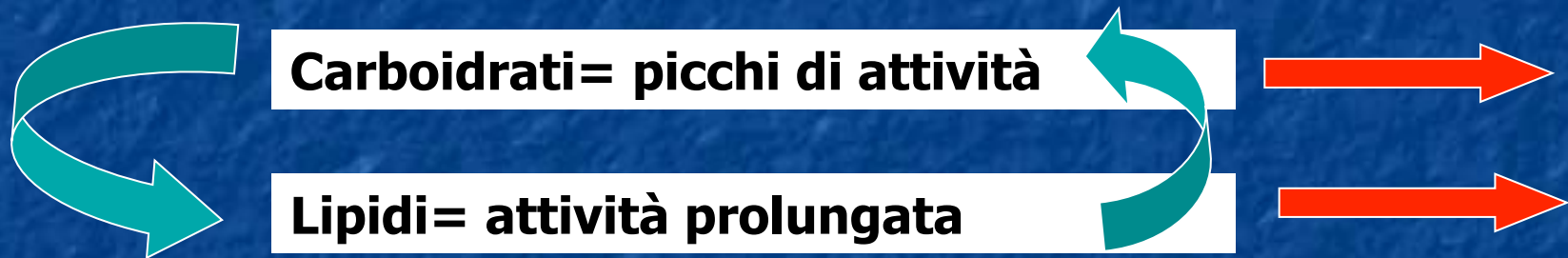
da 0" a giorni

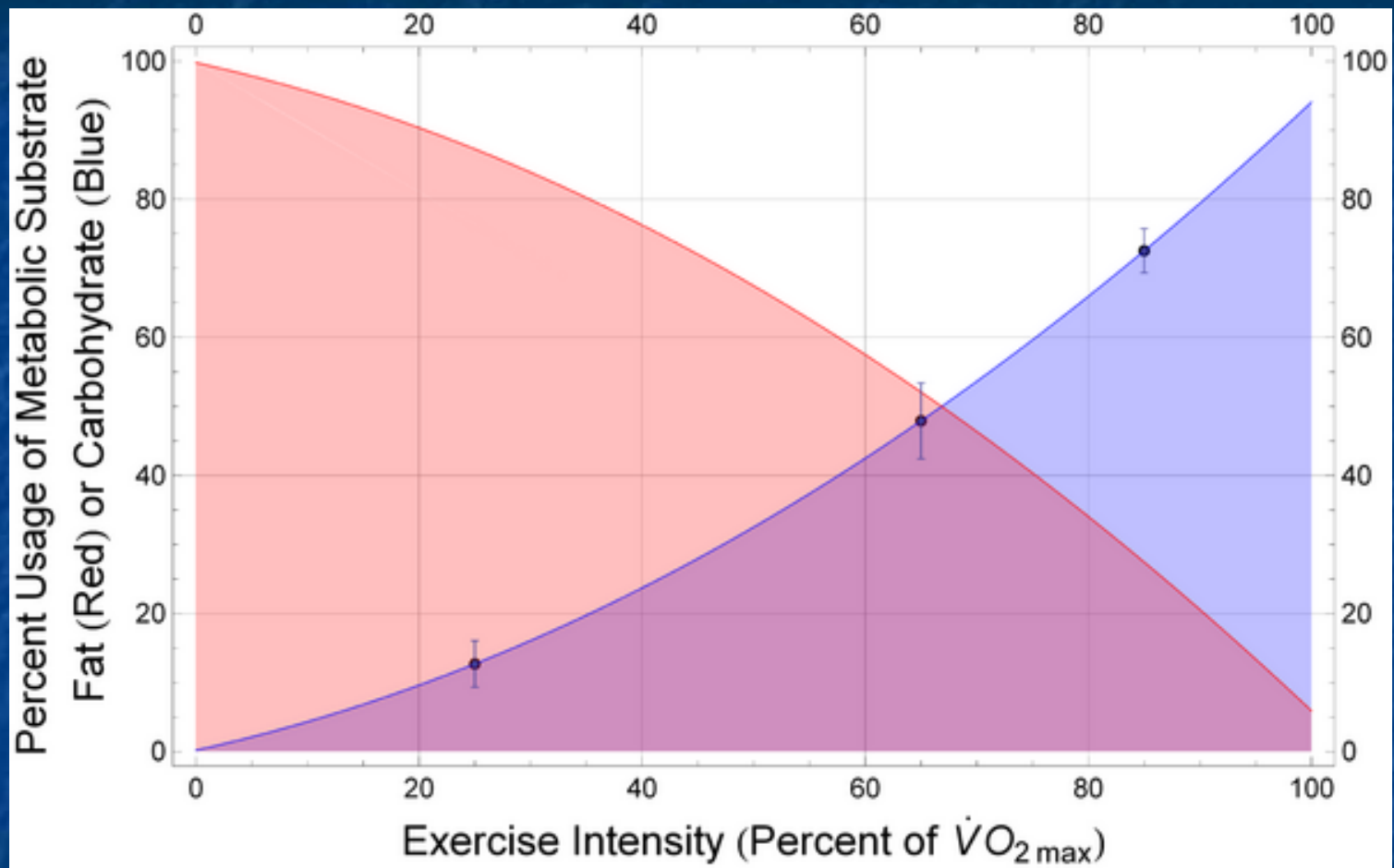
da 2-3' a giorni

da 0" a 120'

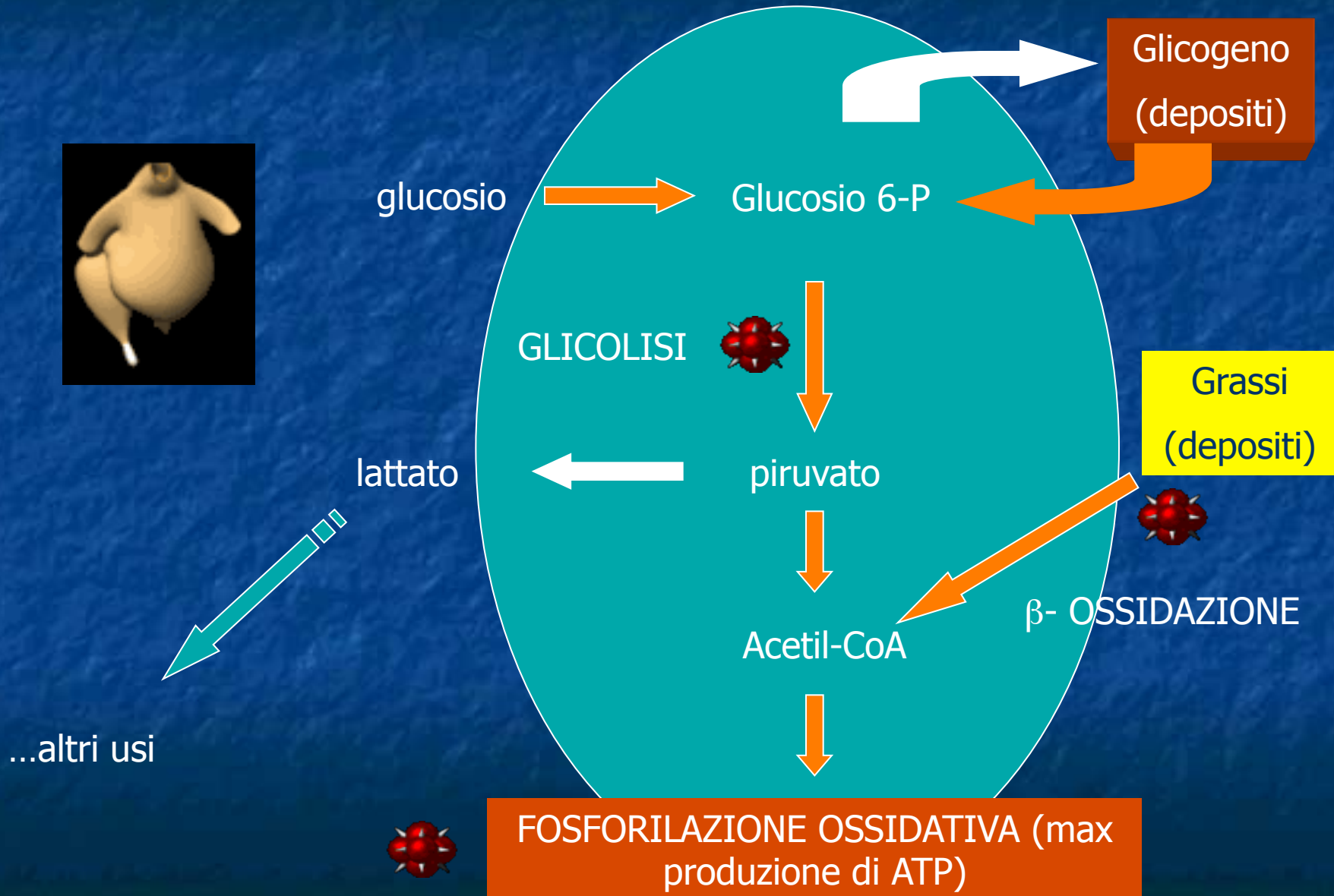


La miscela di carburanti nel corso di attività fisica prolungata

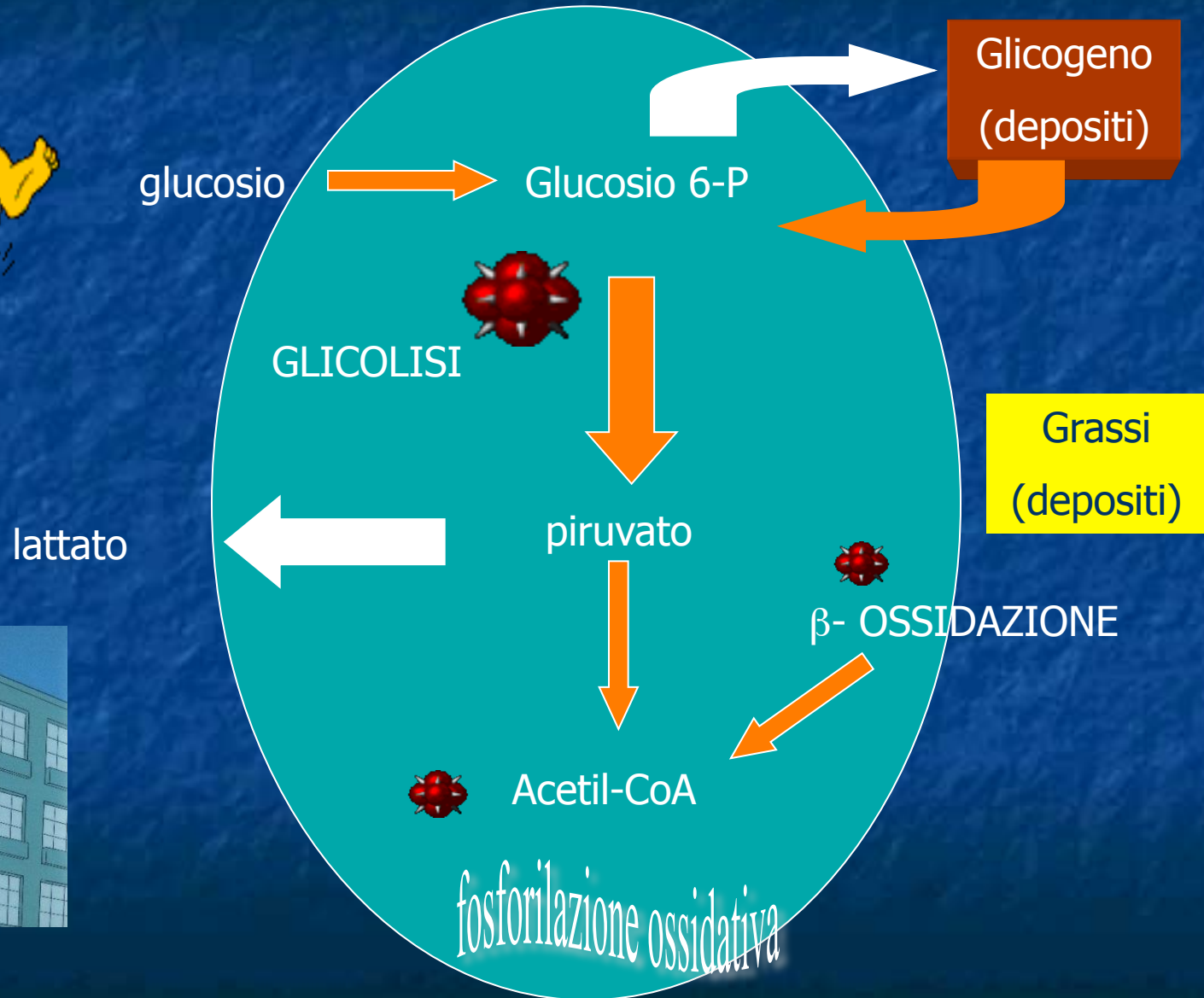




Il metabolismo energetico nelle attività di endurance



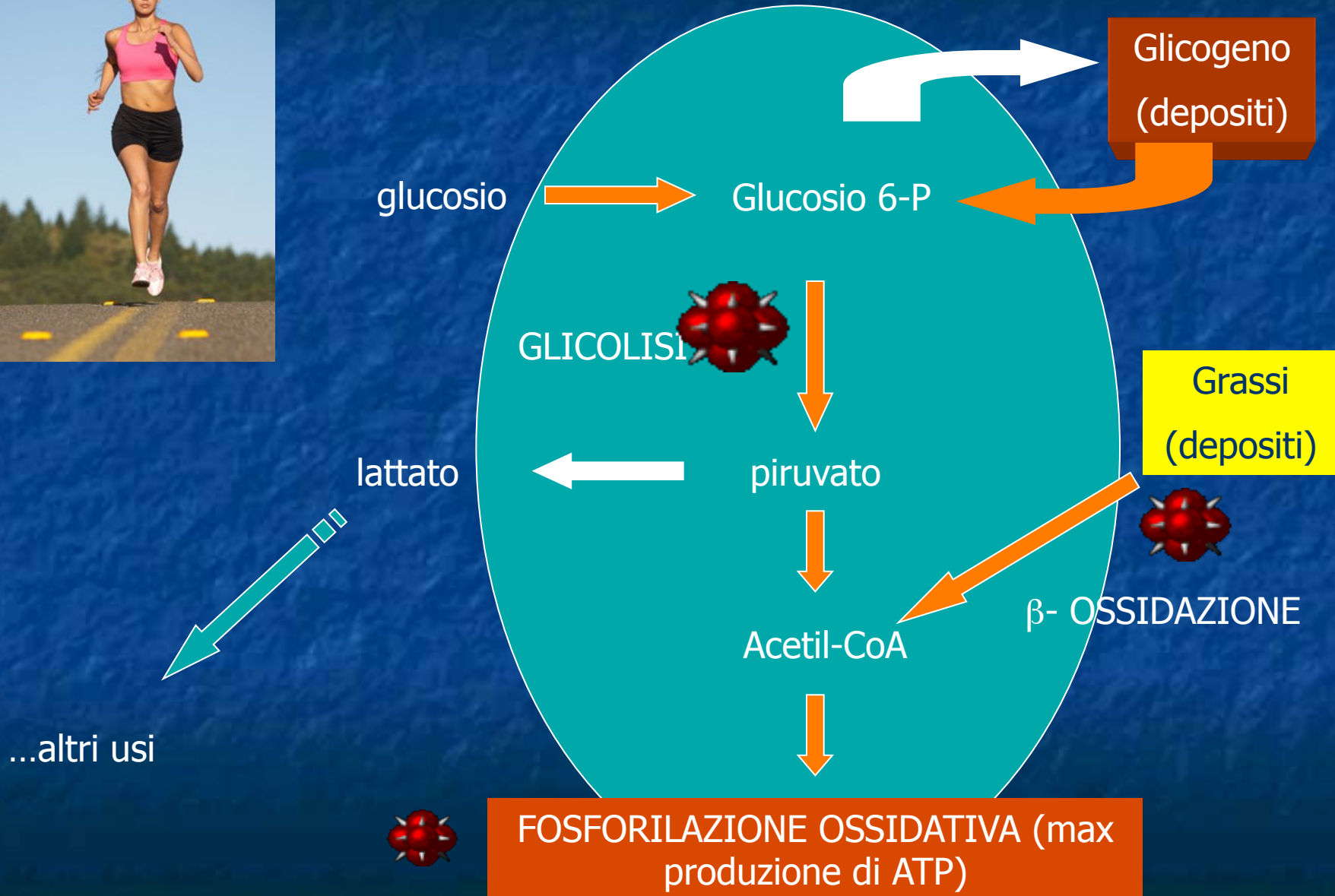
Ipotesi A) Sedentario impenitente



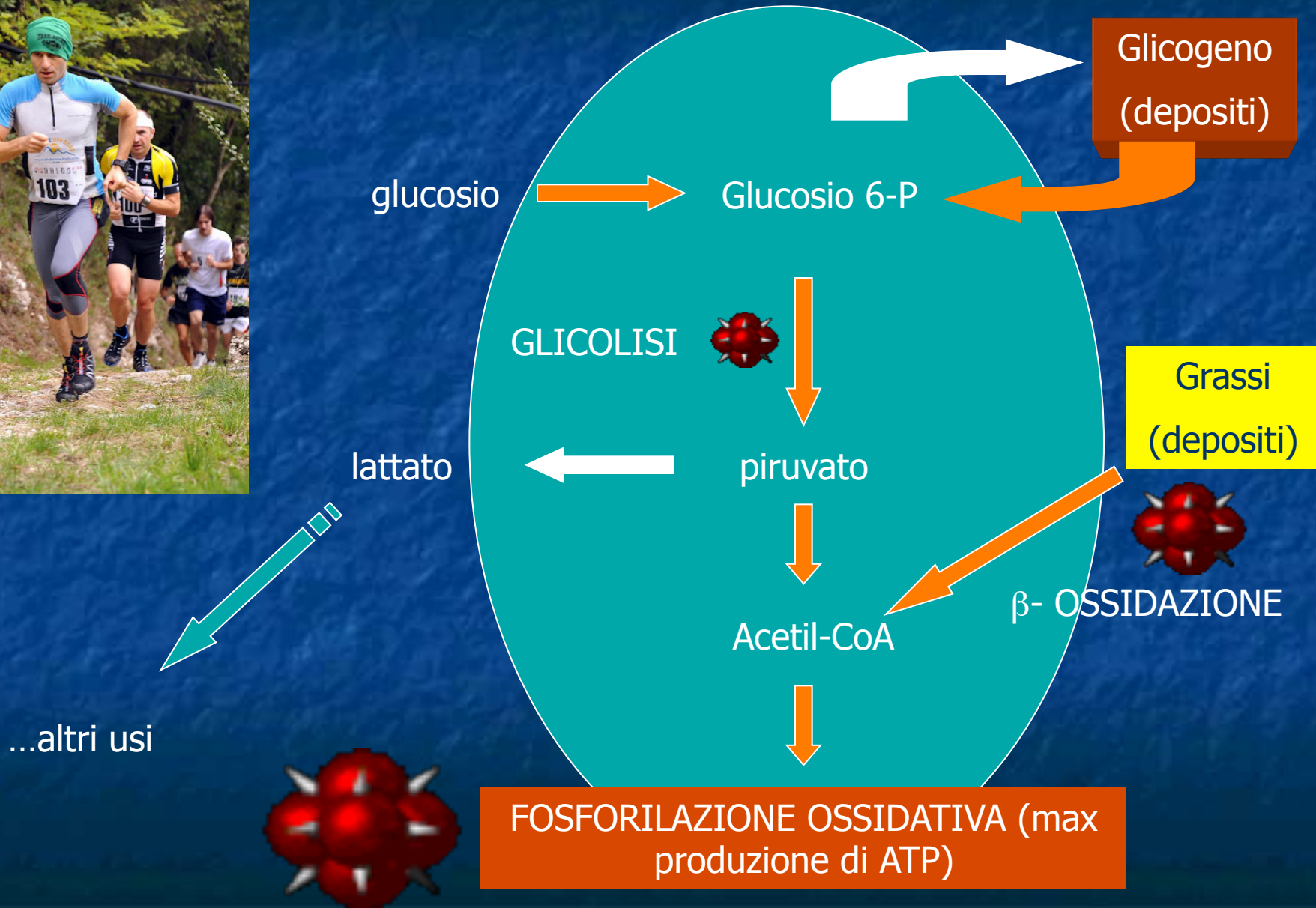
Soglia anaerobica

- Intensità di esercizio a partire dalla quale la quantità di acido lattico prodotta è superiore a quella che l'organismo riesce ad utilizzare (ciclo del lattato), con progressivo aumento del lattato nel sangue

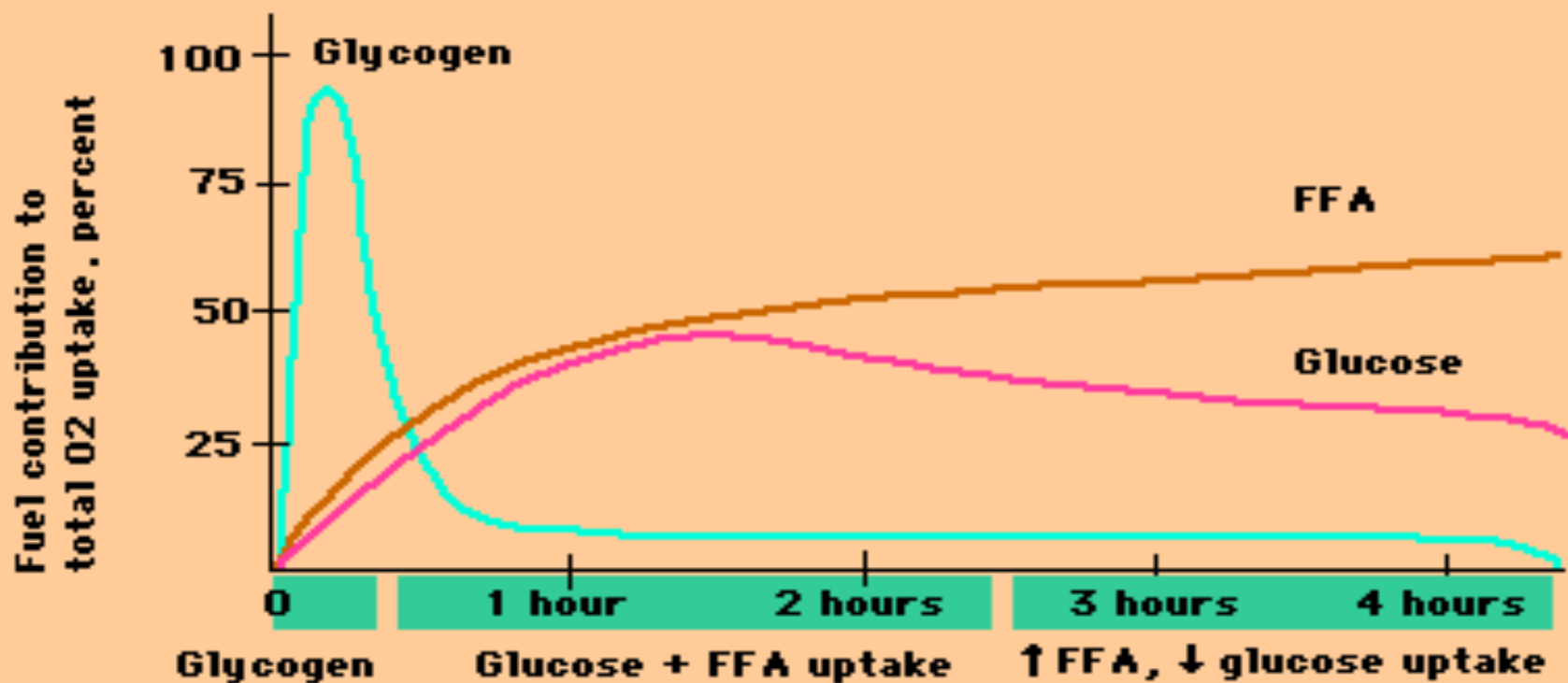
Ipotesi B): Allenato "carboidratico"



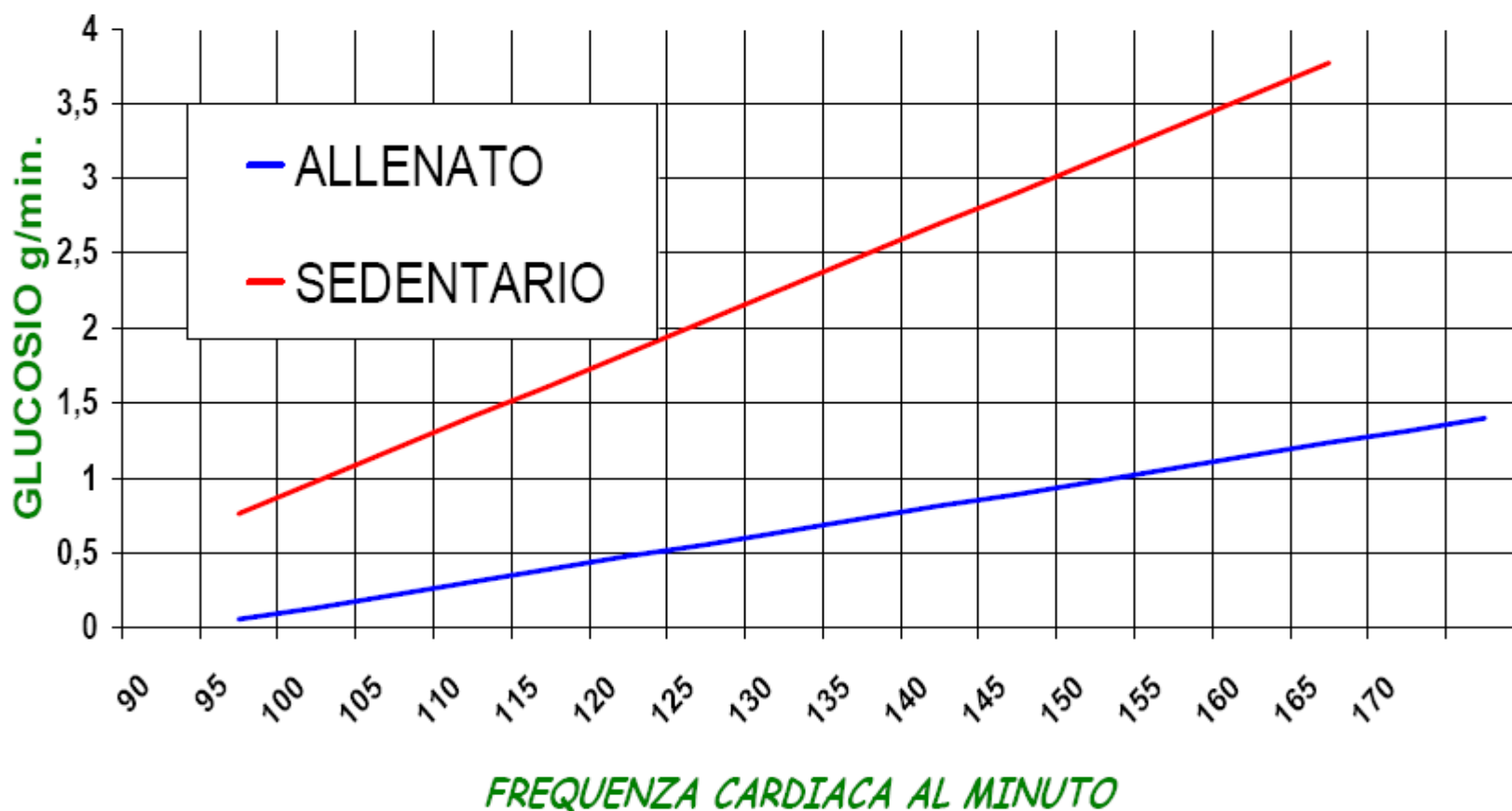
Ipotesi C) il grande maratoneta, risparmiatore di glicogeno e consumatore di grassi



Contributo dei vari substrati durante una maratona



UN MODO SEMPLICE PER CAPIRE CHE TIPO DI "CONSUMATORI" SIAMO: IL POLSO DI GLUCOSIO

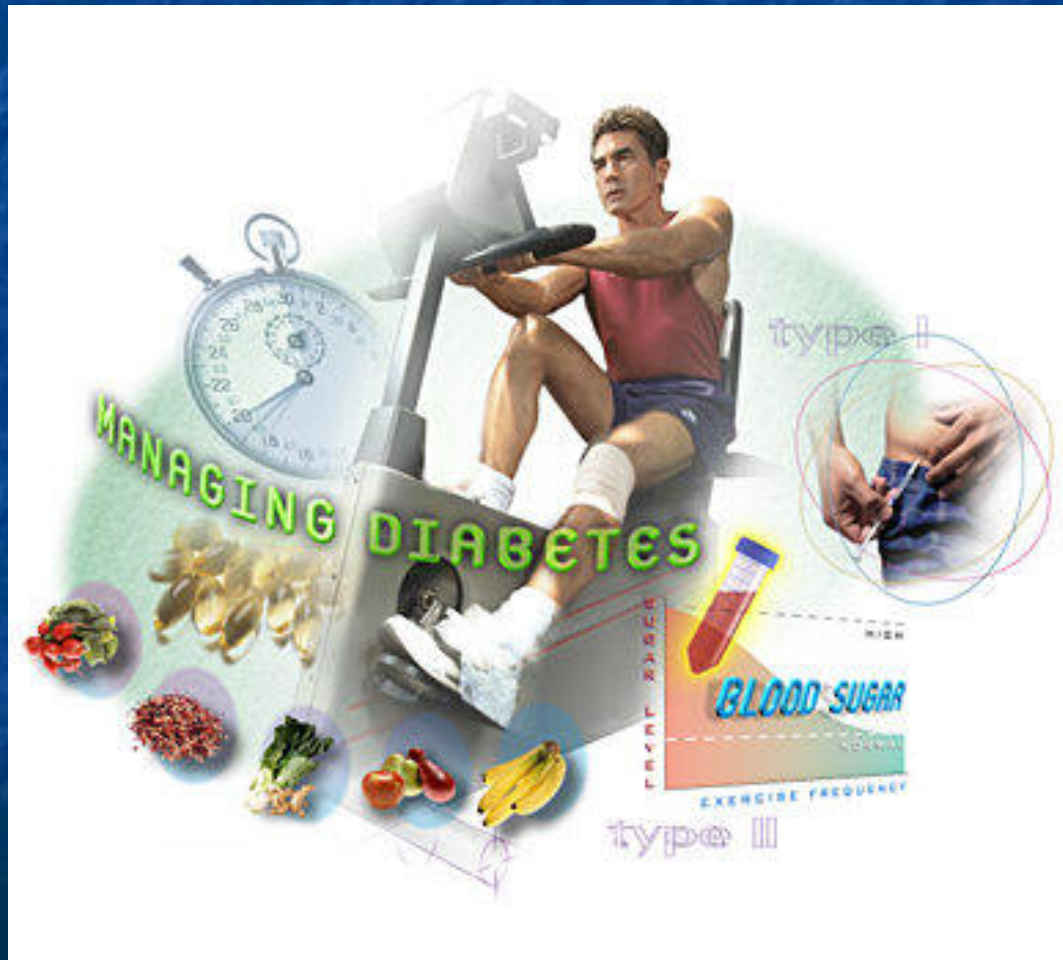


DIFFERENZA NEL CONSUMO DI GLUCOSIO TRA UN
SOGGETTO IDDM SEDENTARIO ED UNO ALLENATO

In sintesi:

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
3. L'entità del flusso di energia proveniente dal metabolismo anaerobio dipende dalle capacità della persona (anche la destrezza!) e dalla tolleranza all'accumulo di acido lattico.

Diabete T1 e endurance



C'è ancora chi porta iella.....



“....Unfortunately, the symptoms of hypoglycemia are often masked by physical activity and the stress of competition, and individuals may thus be at elevated risk for severe hypoglycemia, acute injury, and permanent organ/tissue damage if they continue to exercise.”

L'insulina è un ormone fondamentalmente anabolico

- 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

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

Aumento sensibilità all'insulina nel muscolo durante l'esercizio fisico

- **↑ 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)**

TIPI DI ESERCIZIO E GLICEMIA

Weightlifting, Power lifting

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

American football, Swimming (sprints), Gymnastics, Fencing

Wrestling, Volleyball, Ice hockey, Track cycling

Basketball, Soccer, Tennis, Lacrosse

Speed skating (500-1000m)

Skiing (slalom & downhill), Field hockey

Rowing (middle distance)

Running (middle distance), Speed skating (>1500m)

Road cycling

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

Nel non diabetico...

Sforzo



```
graph TD; Sforzo[Sforzo] --> A[Diminuisce il rilascio di insulina]; Sforzo --> B[Aumenta l'attività degli ormoni controinsulari]; Sforzo --> C[Aumento dell'ingresso di glucosio nei muscoli]; A --> D[normoglicemia]; B --> D; C --> D;
```

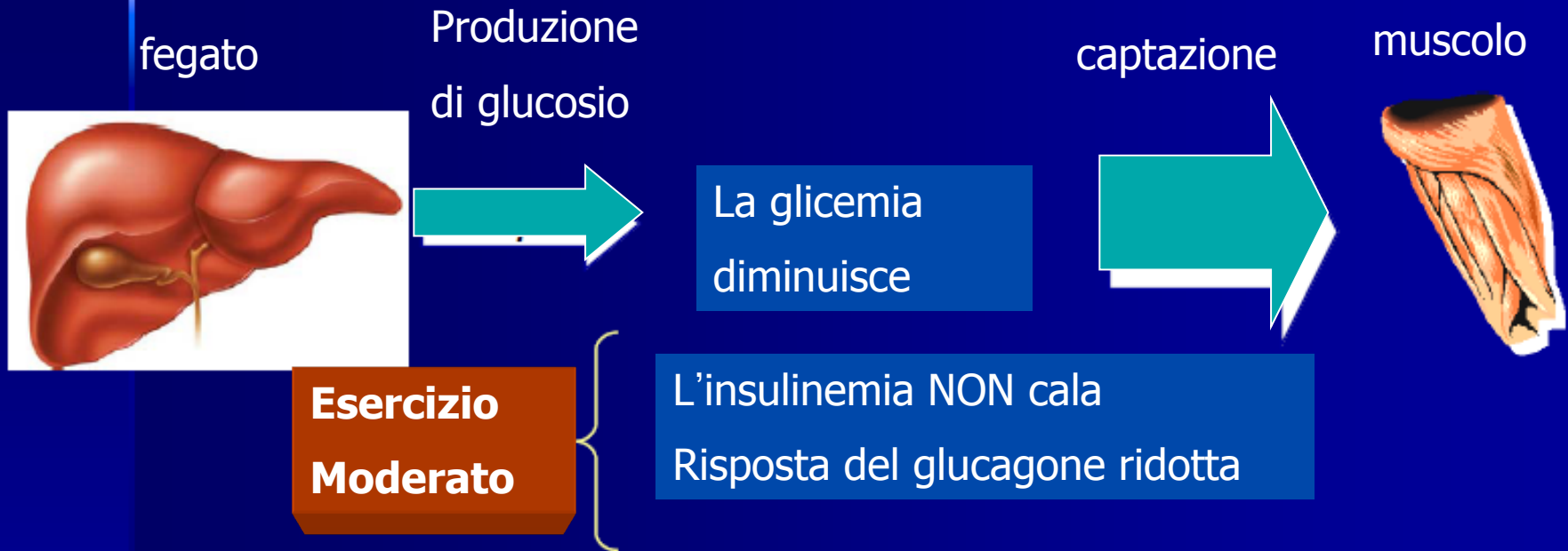
Diminuisce il
rilascio di insulina

Aumenta l'attività
degli ormoni
controinsulari

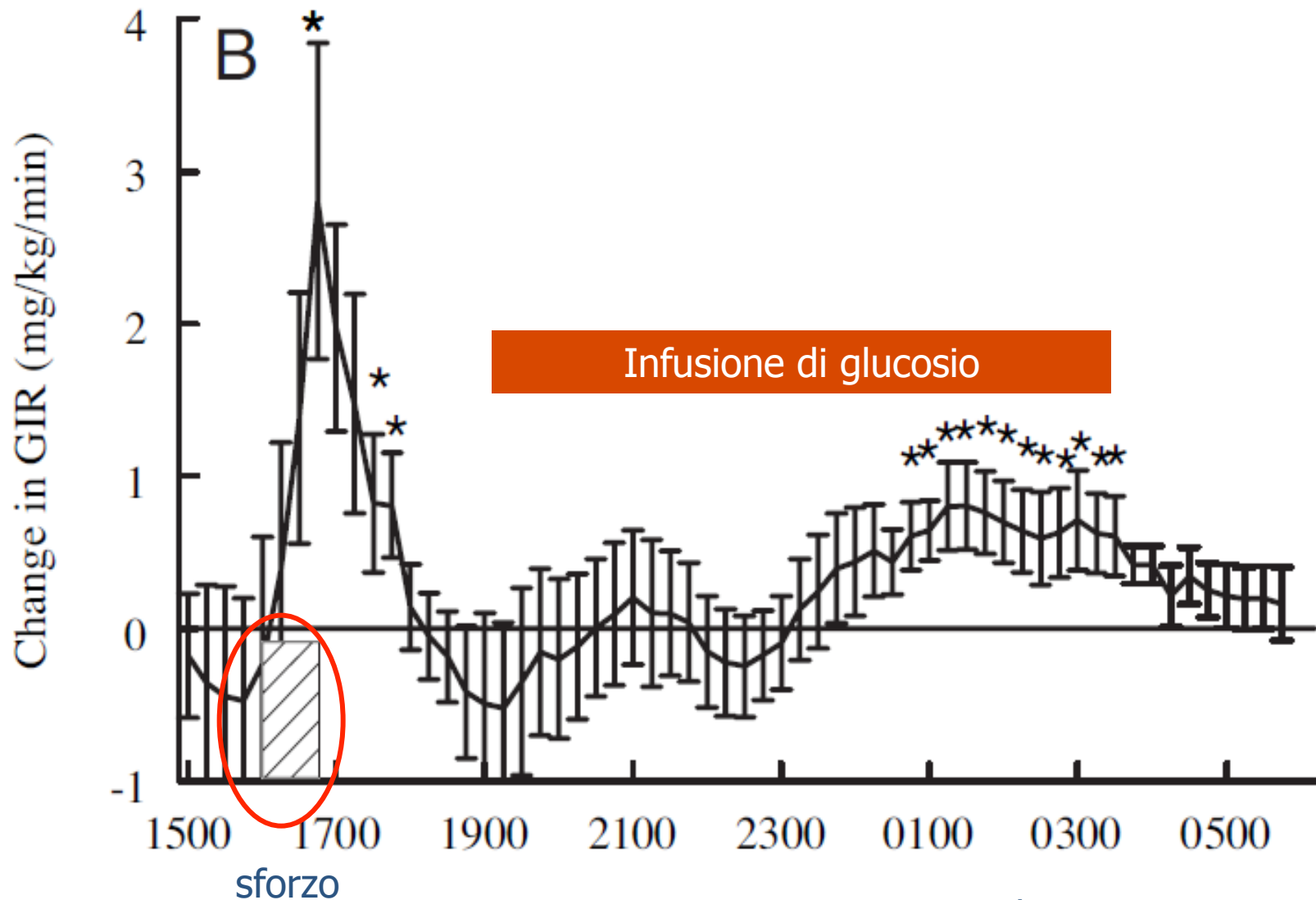
Aumento
dell'ingresso di
glucosio nei
muscoli

normoglicemia

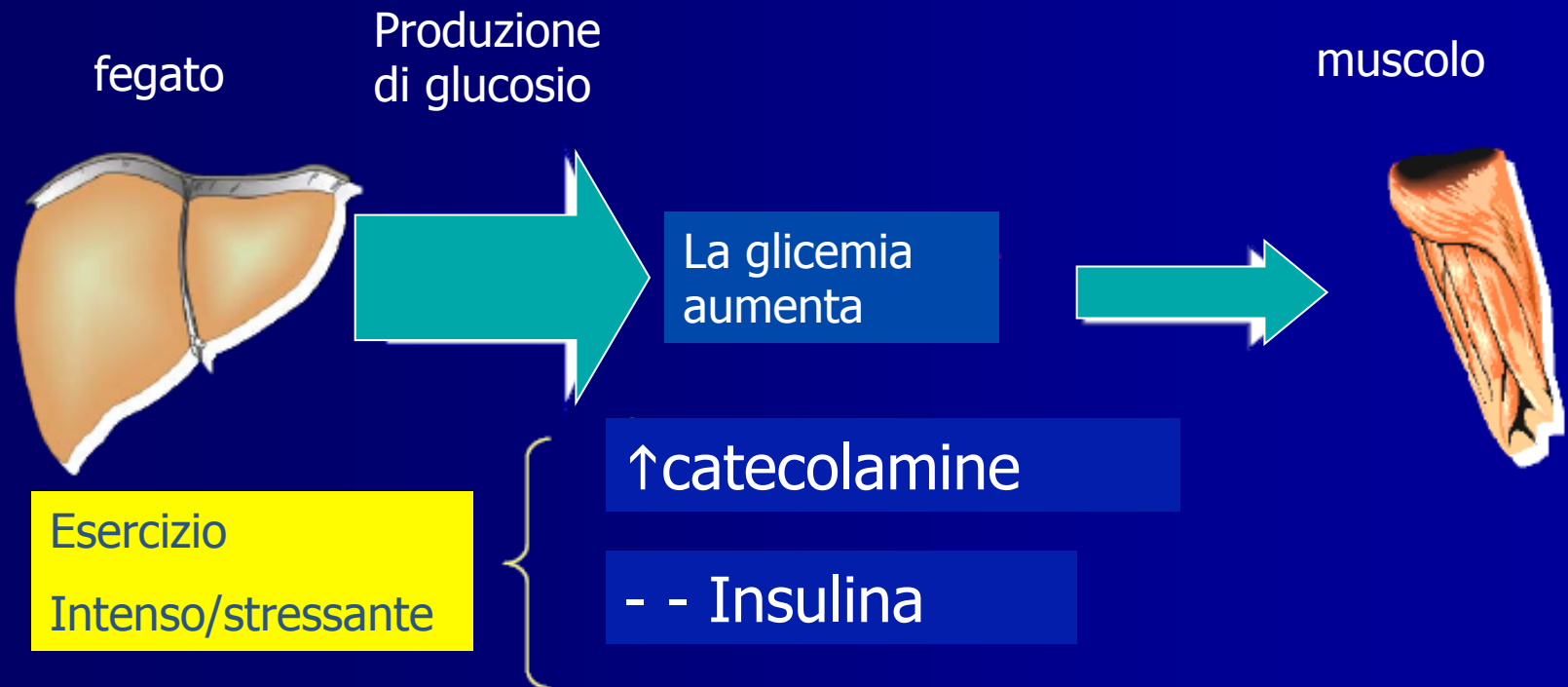
Controllo della glicemia ed esercizio aerobico in persone con T1DM



Comportamento bifasico della glicemia durante esercizio moderato

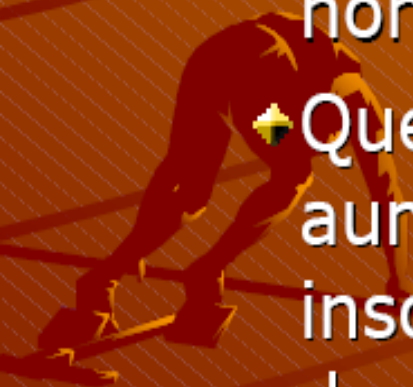


Controllo della glicemia ed esercizio anaerobico intenso in persone con T1DM



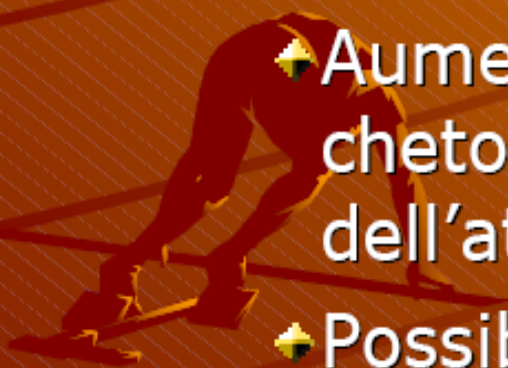
Fisiologia dell'esercizio fisico

- ✦ Per ottenere una glicemia nel range di norma ...
 - ✦ E' necessario un livello di insulina libera circolante pari quasi al doppio dei soggetti non diabetici (Lorini et al., Med Sport 1992)
 - ✦ Questo fatto comporta comunque un aumento del rischio di ipoglicemia ad insorgenza tardiva (fase di ripristino dei depositi energetici)



Carenza di insulina

- ◆ Se al momento dell'esercizio fisico il livello di insulina circolante è carente...
 - ◆ Diminuito consumo di glucosio
 - ◆ Aumentato rischio di iperglicemia e chetonemia durante lo svolgimento dell'attività fisica
 - ◆ Possibile rischio di episodi ipoglicemici ad insorgenza tardiva (in seguito alla correzione dell'iperglicemia)



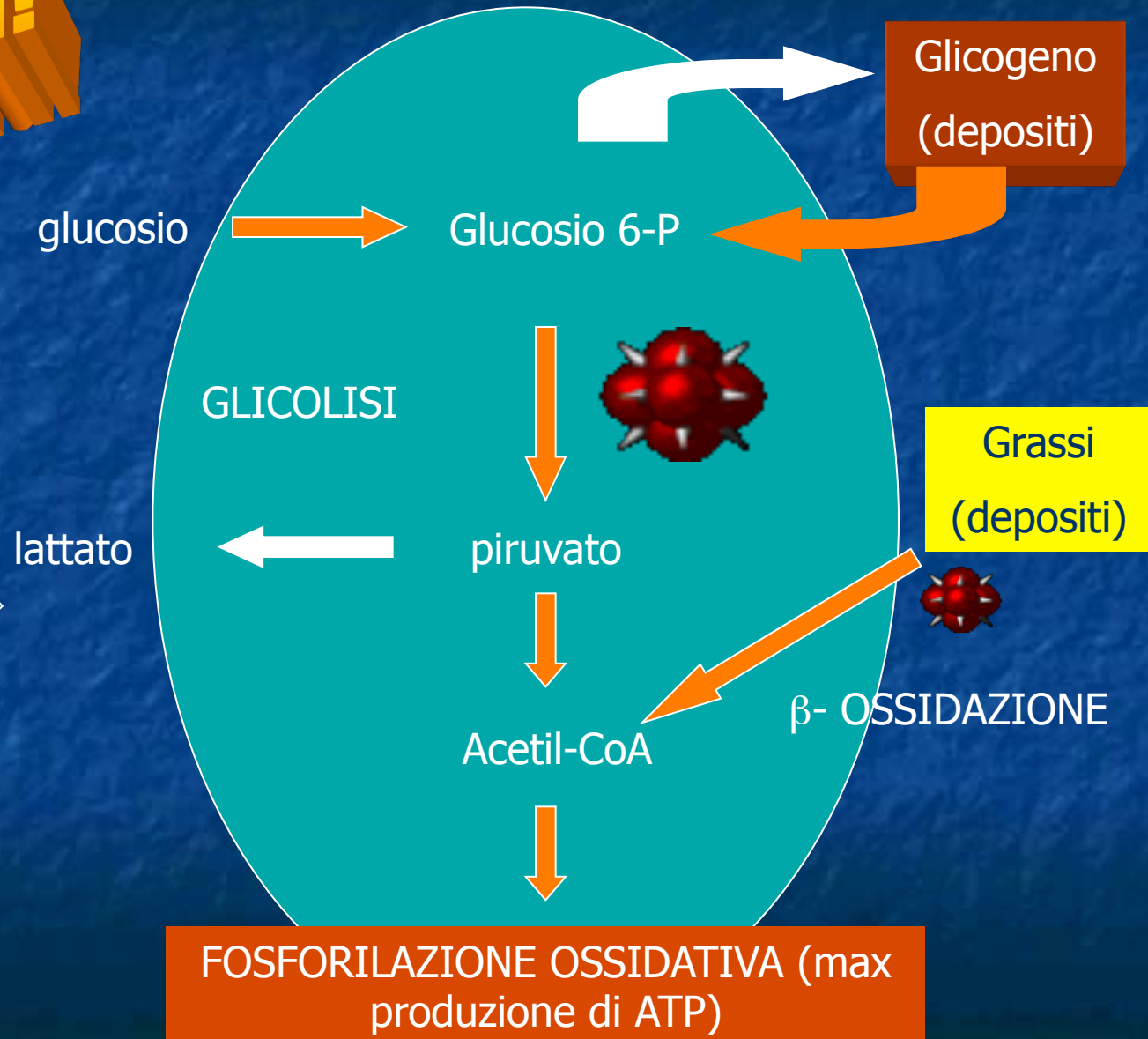
Eccesso di insulina

- ◆ Se al momento dell'esercizio fisico il livello di insulina circolante è eccessivo...
 - ◆ Eccessivo consumo di glucosio
 - ◆ Aumentato rischio di episodi ipoglicemici durante lo svolgimento dell'attività fisica
 - ◆ Aumentato rischio di episodi ipoglicemici ad insorgenza tardiva

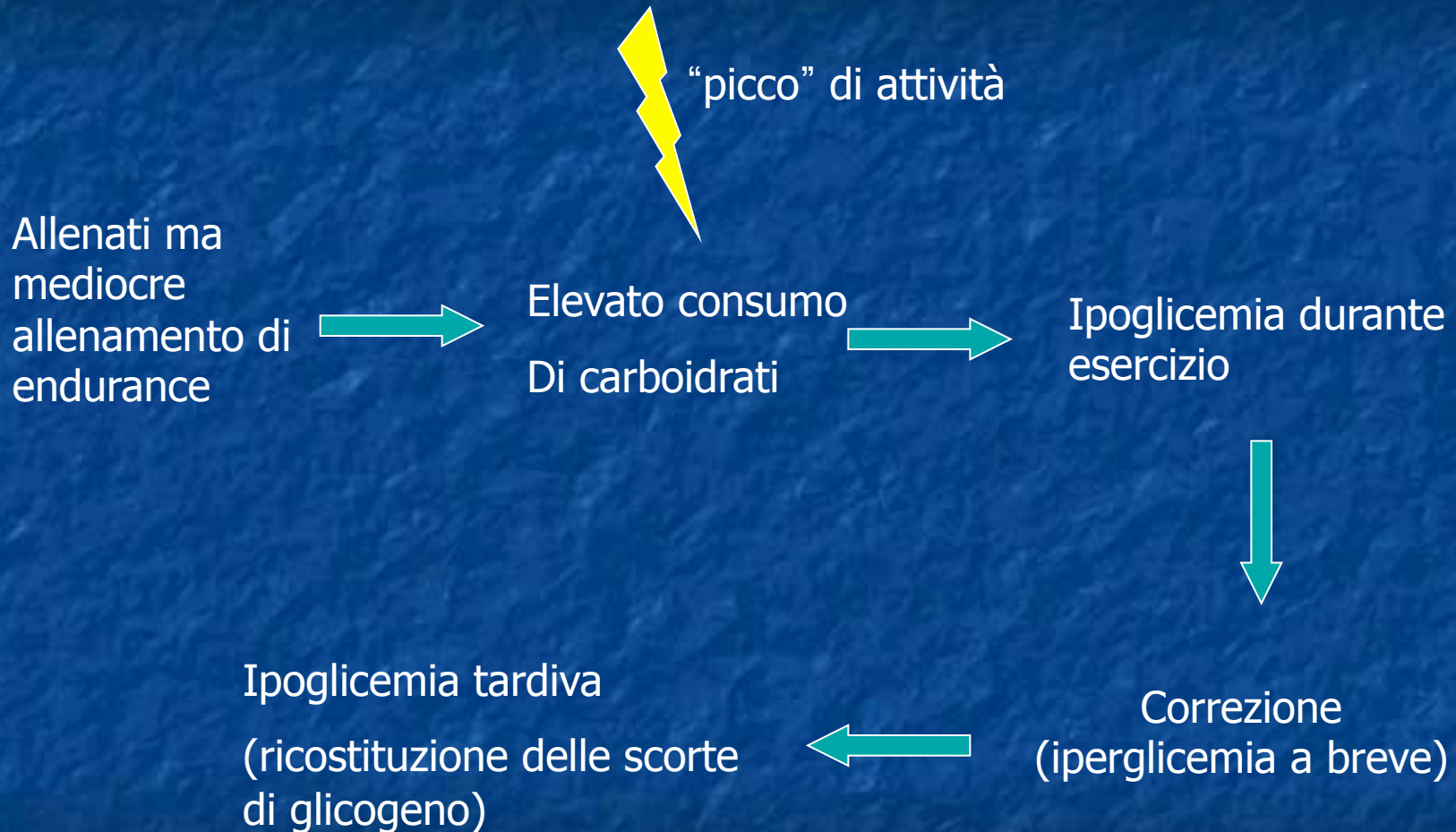


E il grado di allenamento? Ipotesi B): Allenato
“carboidratico” durante picco di attività

ipoglicemia!



Cosa aspettarsi in base al livello di allenamento



...e in base alla “costituzione”

**Stimolazione delle
fibre Tipo II**

**Stimolazione delle
fibre Tipo I**

Glicogeno, Glucosio

Grassi

Glicolisi

β ossidazione

Piruvato

Acetyl CoA

Lattato

Fosforilazione Ossidativa



Glicemia ottimale = equilibrio tra:

- **Livelli di insulina**
 - **Integrazione carboidrati**
 - **Livello e tipo di allenamento**
-
- Una glicemia alta può dipendere da carenza di insulina anche con scorte di CHO ridotte
 - Una glicemia bassa può dipendere da eccesso di insulina anche con scorte di CHO adeguate
 - Una glicemia bassa può dipendere da uno schema “teoricamente corretto” insulina/CHO ma non adeguato alle performance atletiche del soggetto

La normoglicemia PRIMA dello sforzo è importante

- L'iperglicemia “ricercata” da alcuni è inutile: 500 mg/dl equivalgono a 25 grammi di carboidrati in giro per il sangue...
- Inoltre diminuisce il rilascio di glucosio durante lo sforzo, aumentando così il rischio di ipoglicemia
- Una ipoglicemia severa anche 24 ore prima provoca un ritardo di adattamento del sistema di controregolazione con aumento del rischio di ipoglicemia

Strategie per l'esercizio moderato

Strategia	Vantaggi	Svantaggi
Riduzione bolo pre-esercizio	meno ipoglicemie durante e dopo l'esercizio Riduce il fabbisogno di carboidrati	Richiede pianificazione Non utile per esercizio estemporaneo o fatto in fase post-prandiale tardiva
Riduzione basale pre-esercizio	Come sopra	Come sopra, può causare iperglicemia pre-esercizio e tardiva post-esercizio tardivo
Riduzione basale post-esercizio	Riduzione ipoglicemie notturne	Può causare iperglicemia il mattino dopo
Assunzione carboidrati extra durante l'esercizio	Utile per esercizi prolungati o non pianificati	Non sempre possibile Facile "sovradosaggio"
"Burst" pre- o post-esercizio	Riduzione ipoglicemie precoci post-esercizio	No effetto sull'ipoglicemia durante l'esercizio, ↑ rischio ipoglic. tardiva
Microinfusore	Flessibilità, rapido cambio della vel. di infusione post-esercizio	Costo, complessità d'uso, non adatto per alcuni sport

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 & 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)									

Che la resistenza (e la resilienza)
siano con voi!



Alcuni consigli.....

- Snacks pre allenamento (in base a controllo glicemico)
- Integrazione durante l'attività in rapporto a durata/intensità
- Integrazione post attività se intensi
- Tutte queste integrazioni vanno personalizzate
- Idealmente l'integrazione in C.I. è simile a quella assunta dal non diabetico (1g CHO/Kg/Hr)
- Regola N°1 : controllare, verificare, sperimentare su se stessi

Insulina Basale (Glargine- detemir)

- Riduzione 20-50% se attiva durante esercizio
- Riduzione 20-40% successivamente all' esercizio
- Non necessaria riduzione se allenamenti quotidiani
- Farsi guidare dall' esperienza e autocontrollo

Paz. In microinfusore, se att >30'

■ Basale

Se l'attività fisica viene svolta lontano dai pasti

- Prima: ridurre da 0 a 30% un'ora prima dell'attività fisica, soprattutto se è di intensità moderata-intensa e di durata superiore a 30 minuti.
- Durante: ridurre dal 20 al 50% (dipende molto dalla basale in corso: se molto bassa, tipo 0.4-0.5 UI all'ora, è consigliabile una riduzione massima del 25%).
- Dopo: ridurre del 20-30% fino a 12 ore successive.
- Se non si è allenati, la riduzione della basale deve essere maggiore.

■ Boli

La variazione dipende molto dal momento della giornata in cui si effettua l'attività fisica; in particolare, è consigliabile praticarla:

- ridurre il bolo del pasto prima dell'attività fisica del 20-50%, in dipendenza anche dalla durata e dall'intensità dell'esercizio;
- per sforzi intensi e di lunga durata (maratona) ridurre del 20-50 % anche il bolo del pasto successivo.

Supplementazione CHO

- Tutti i soggetti con diabete in terapia insulinica dovrebbero effettuare la conta dei carboidrati.
- 15 gr di CHO, innalzano la glicemia di 45-105 mg%.
- Per esercizi moderati la richiesta di CHO è mediamente di 1 g/Kg di peso/ora
- Il grado di allenamento modifica di molto la richiesta
- Nel diabetico bisogna tener conto della extra richiesta legata alla iperinsulinizzazione del momento

Supplementazione CHO

- I soggetti con diabete che praticano attività fisica di lunga durata devono introdurre zuccheri semplici in base all'intensità dell'esercizio fisico: snack prima, durante ed eventualmente dopo.
- Il consumo di CHO/ora andrà calcolato in base all'intensità ed alle caratteristiche individuali.
- Bisogna aver sempre con se una extra scorta di CHO x emergenza

Linee guida ADA-ACSM sull'esercizio fisico per atleti con DMT 1 o T2 insulino-trattati

■ **CONTROLLO PRIMA DELL'ESERCIZIO**

■ Tendenza all'iperglicemia:

- Evitare l'esercizio se i livelli glicemici a digiuno sono >250 mg/dl ed e' presente chetonuria. Usare cautela se i livelli di glicemia a digiuno sono >300 mg/dl ed e' assente chetonuria

■ Tendenza all' ipoglicemia:

- Ingerire un extra di CHO se i livelli glicemici a digiuno risultano <100 mg/dl.

Il Fattore di Correzione Glicemico

- **E' calcolato dividendo 1700 per la TDD (dose totale giornaliera) e ci dice di quanto 1 U di analogo rapido abbassa la glicemia (in mg/dl)**

Rapporto Insulina/CHO

- **Quantità in g. di carboidrati “metabolizzati” da 1 U di insulina**
- **Approssimativamente: $6 \times \text{peso paz. (Kg)} / \text{TDD}$**
- **Mediamente 1 U di analogo rapido metabolizza 8-10 g di CHO; in atleti allenati, in corso di att. Fisica si arriva a 30-50 e oltre.**