



**OLTRE LE LINEE GUIDA ... FLUSSI
ENERGETICI E GESTIONE DEL DIABETE
TIPO 1 NEGLI SPORT DI ENDURANCE**

ENDURANCE: SOLO AEROBIOSI?



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

“PREVALEMENTE.....?”

PROFILO ALTIMETRICO UTMB 2013

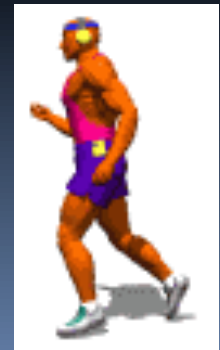
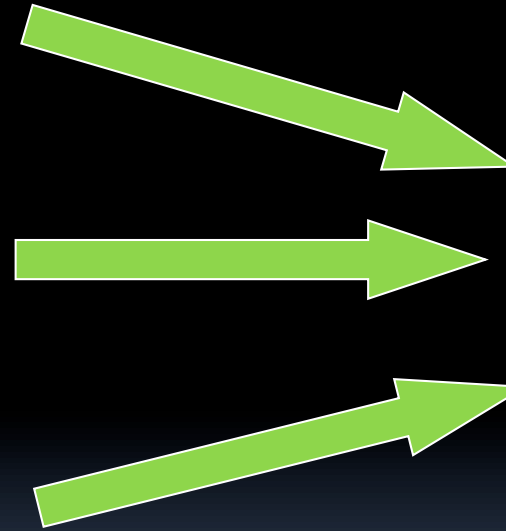


La contrazione muscolare ricava energia da una sola molecola

**Sistema anaerobico
alattacido**

Sistema anaerobico

**Sistema
aerobico**



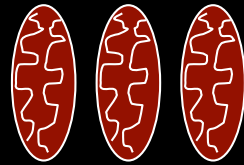
Metabolismo anaerobico alattacido: lo Shuttle della fosfocreatina

- $\text{PCr} + \text{ADP} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{ATP} + \text{Cr}$
- 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

sistema anaerobico: la Glicolisi

- COMBUSTIBILE (SUBSTRATO) UTILIZZATO: Glucosio
(Glucosio + 2 Pi + 2 ADP → 2 Lattato + 2 H₂O + 2 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 può essere riutilizzato dalle cellule muscolari (ciclo del lattato)

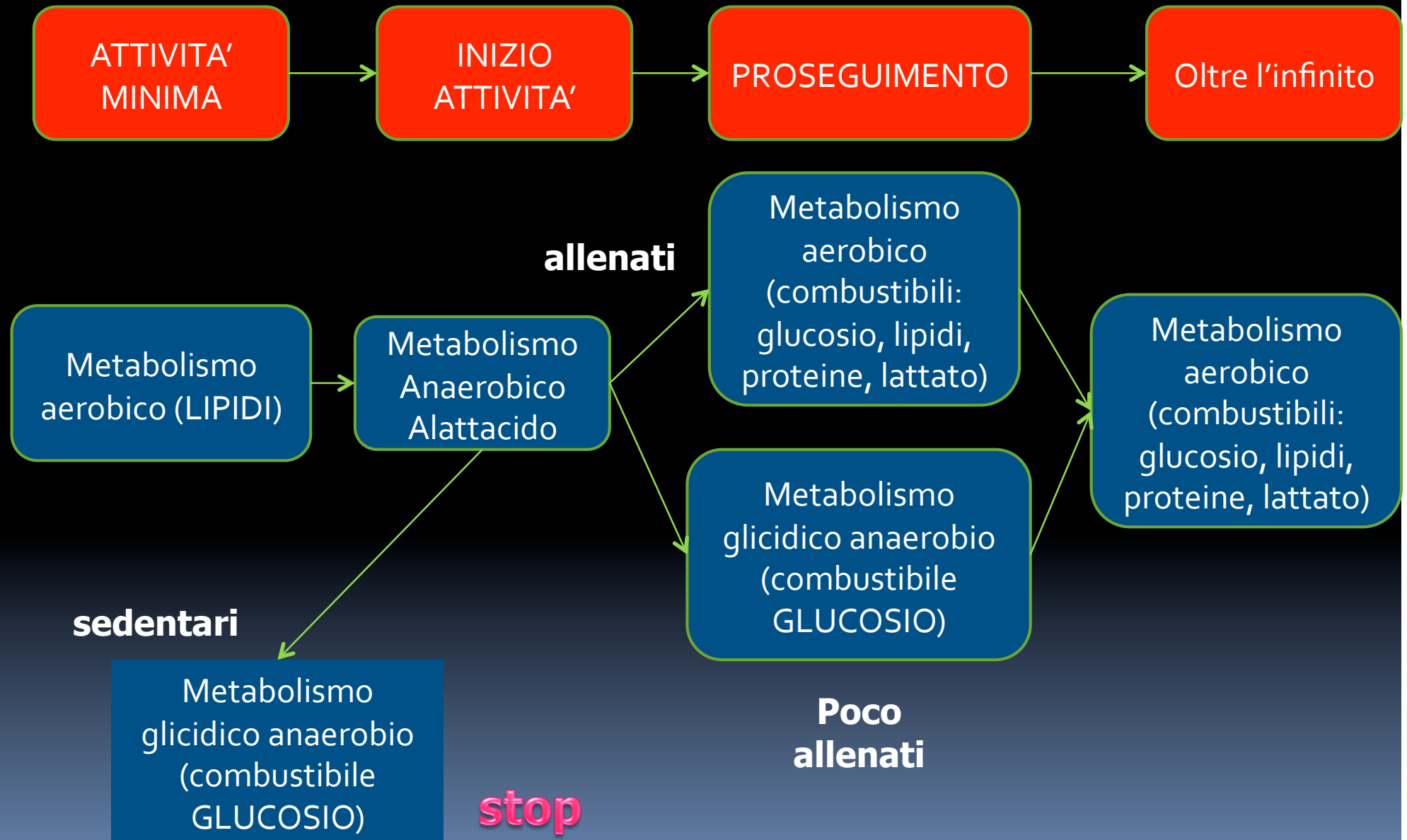
Sistema aerobico: la Fosforilazione ossidativa



Nei mitocondri i substrati (CARBOIDRATI, LIPIDI , PROTEINE) sono completamente ossidati in CO_2 attraverso la fosforilazione ossidativa.

Il processo avviene solo in presenza di adeguate concentrazioni di Ossigeno

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



Riserve energetiche

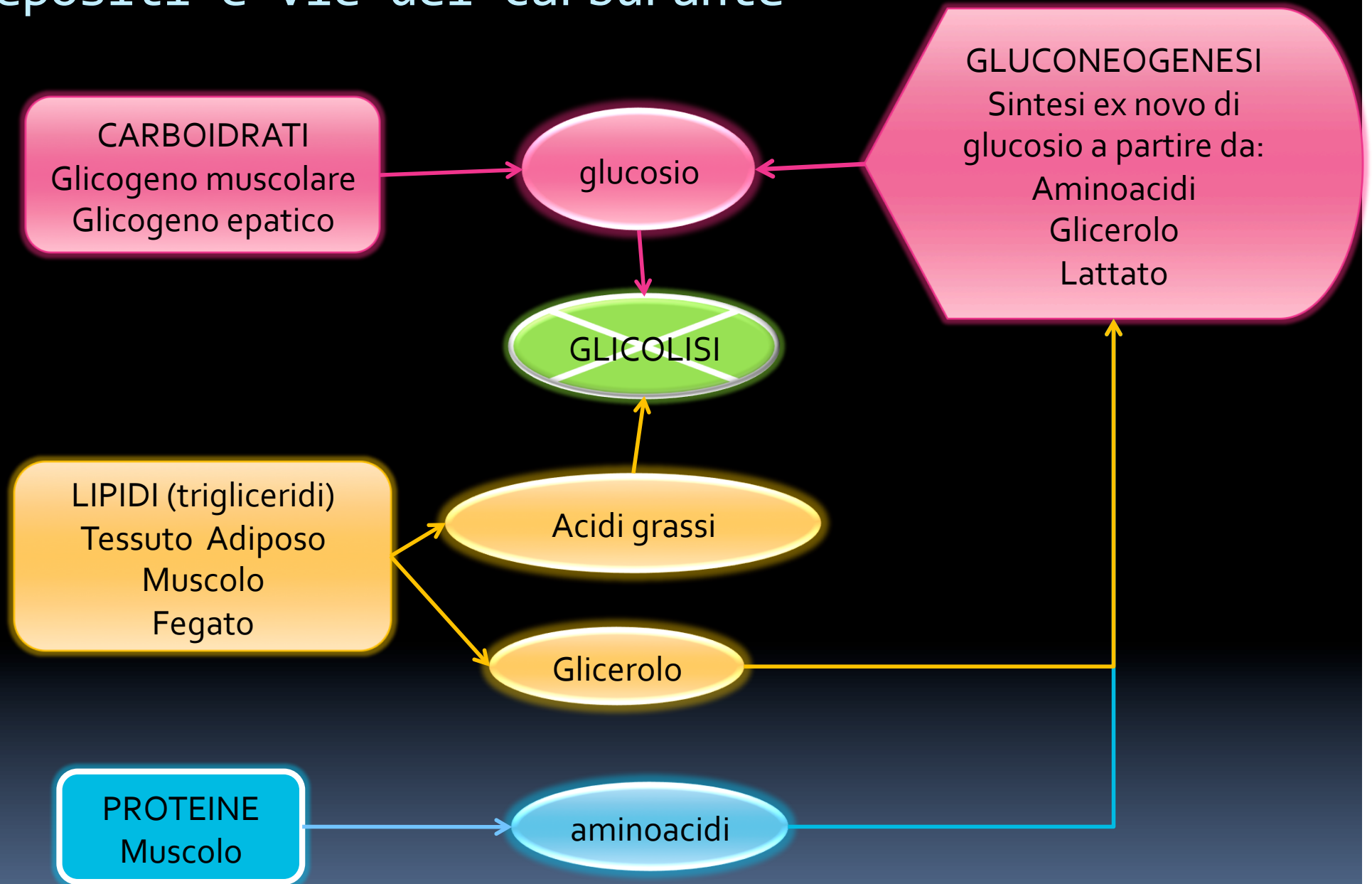
Composizione dell'organismo e delle riserve energetiche in un soggetto umano normale di 70 Kg

Tipo di substrato	tessuto	Peso (Kg)	% del peso corporeo	Valore calorico (Kcal)
LIPIDI	Tessuto adiposo muscolo	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)

Depositi e vie del carburante



I tre flussi energetici di base: 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'

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_{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^+

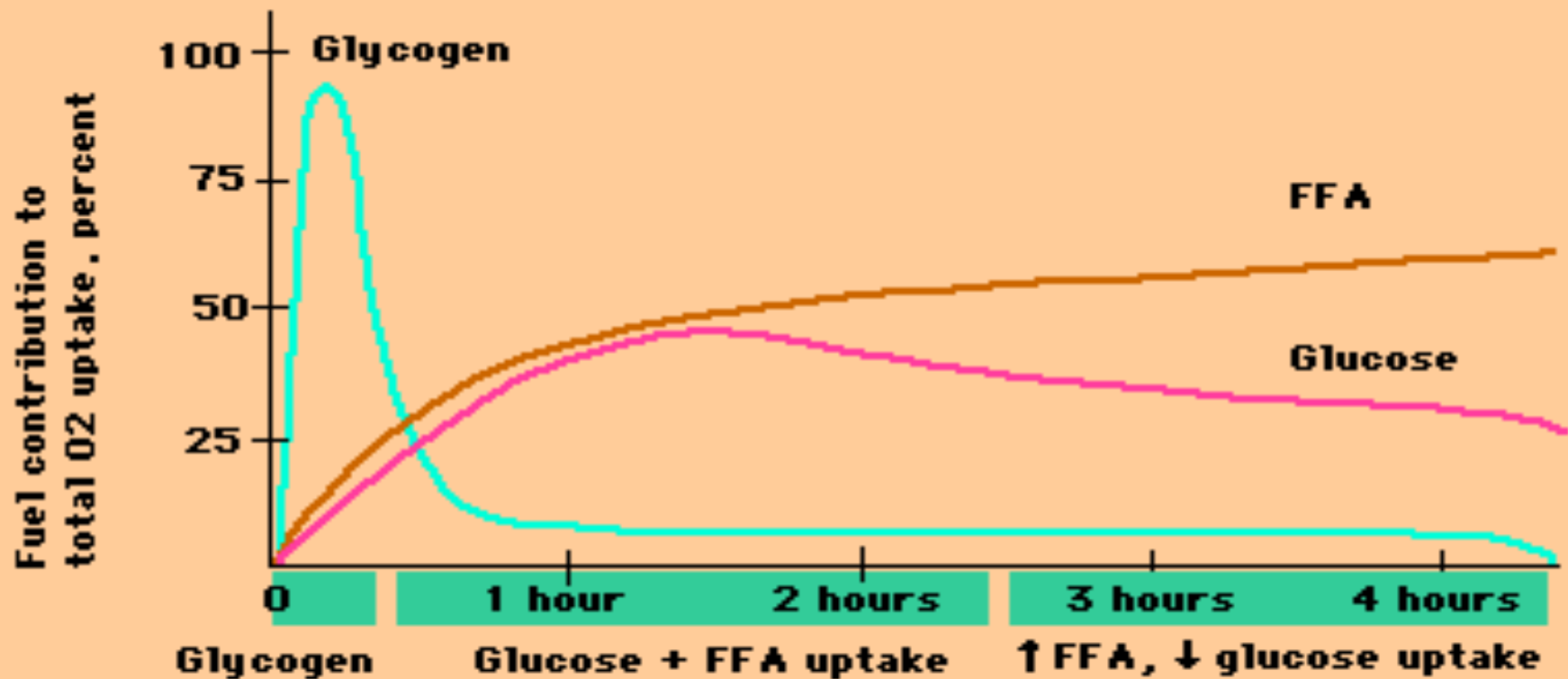
Stabilire la soglia del lattato

- Individui non allenati: 50-60% $\dot{V}O_2\text{max}$
- Individui allenati: 75% $\dot{V}O_2\text{max}$
- Atleti di élite: 80-90% $\dot{V}O_2\text{max}$

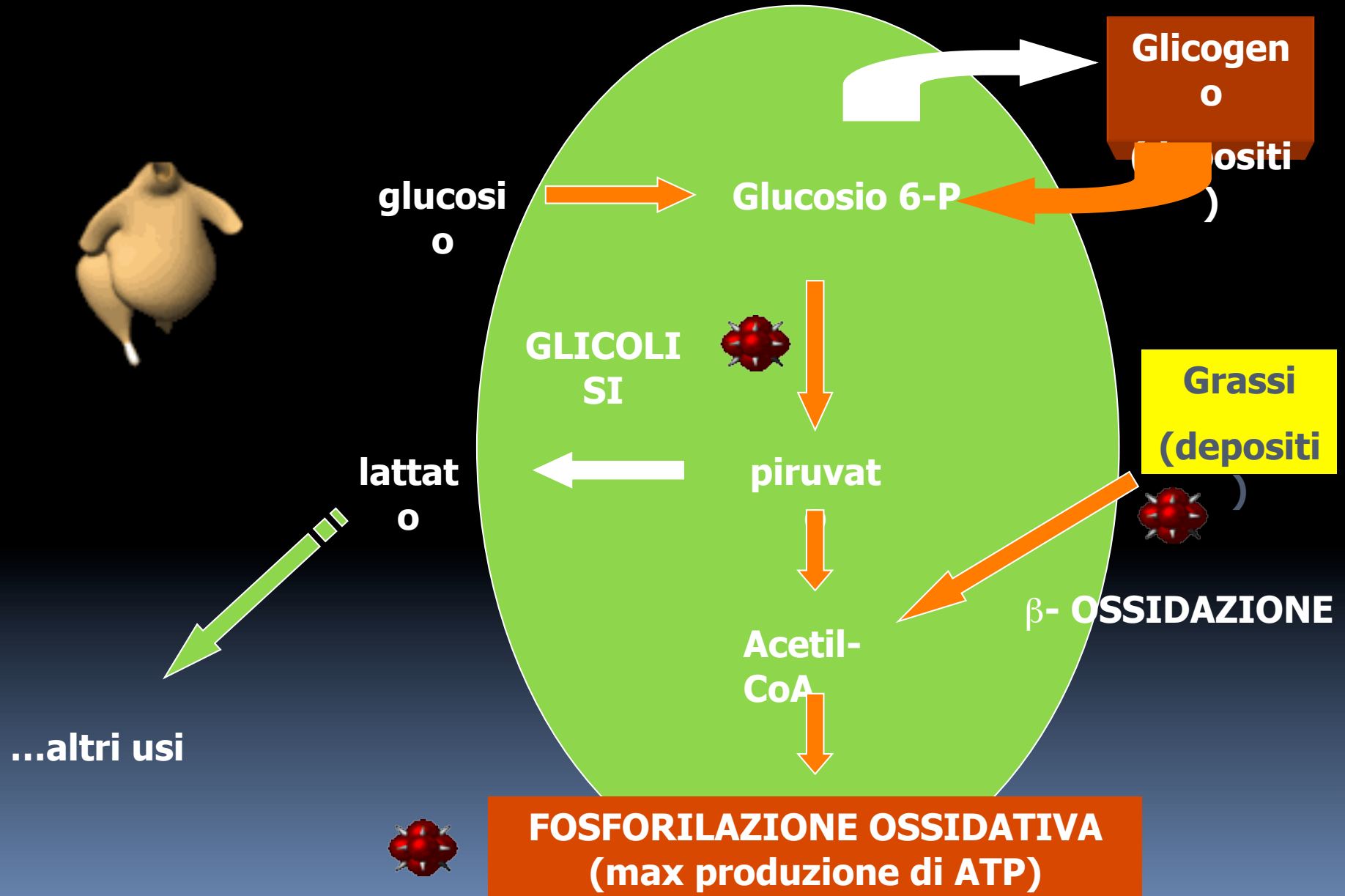
Oppure:

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

Contributo dei vari substrati durante una maratona



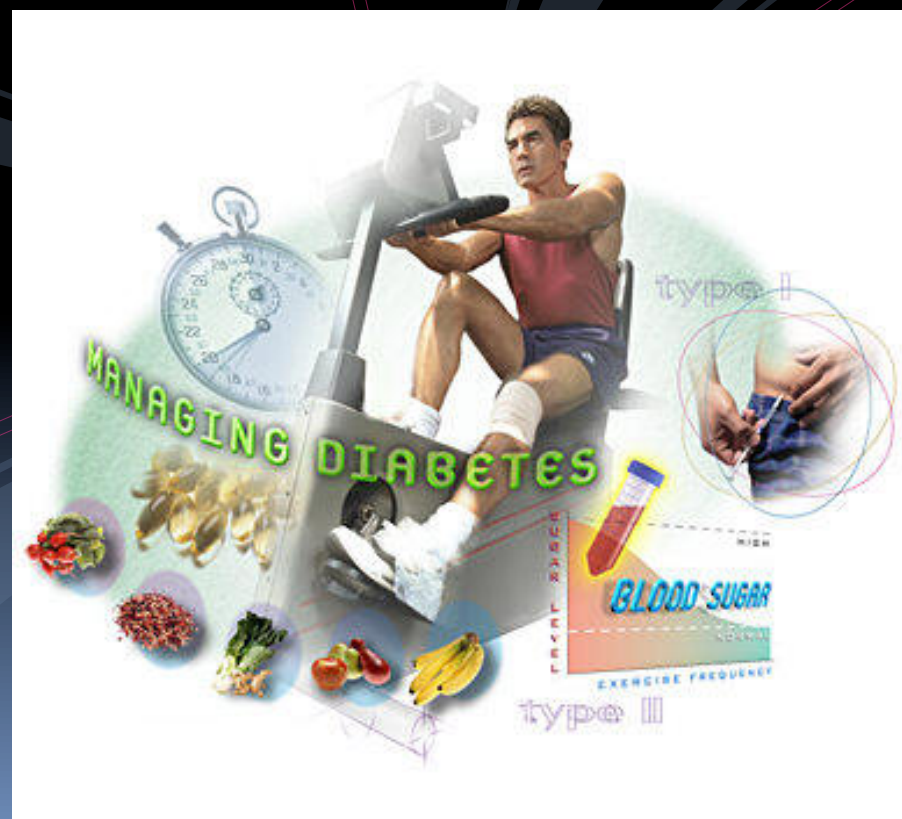
Il metabolismo energetico nelle attività di endurance



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.

Seconda parte: endurance e diabete T1



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)**

Nei non diabetico...

Attività fisica

**Diminuisce il
rilascio di
insulina**

**Aumenta l'attività
degli ormoni
controinsulari**

**Aumento
dell'ingresso di
glucosio nei
muscoli**

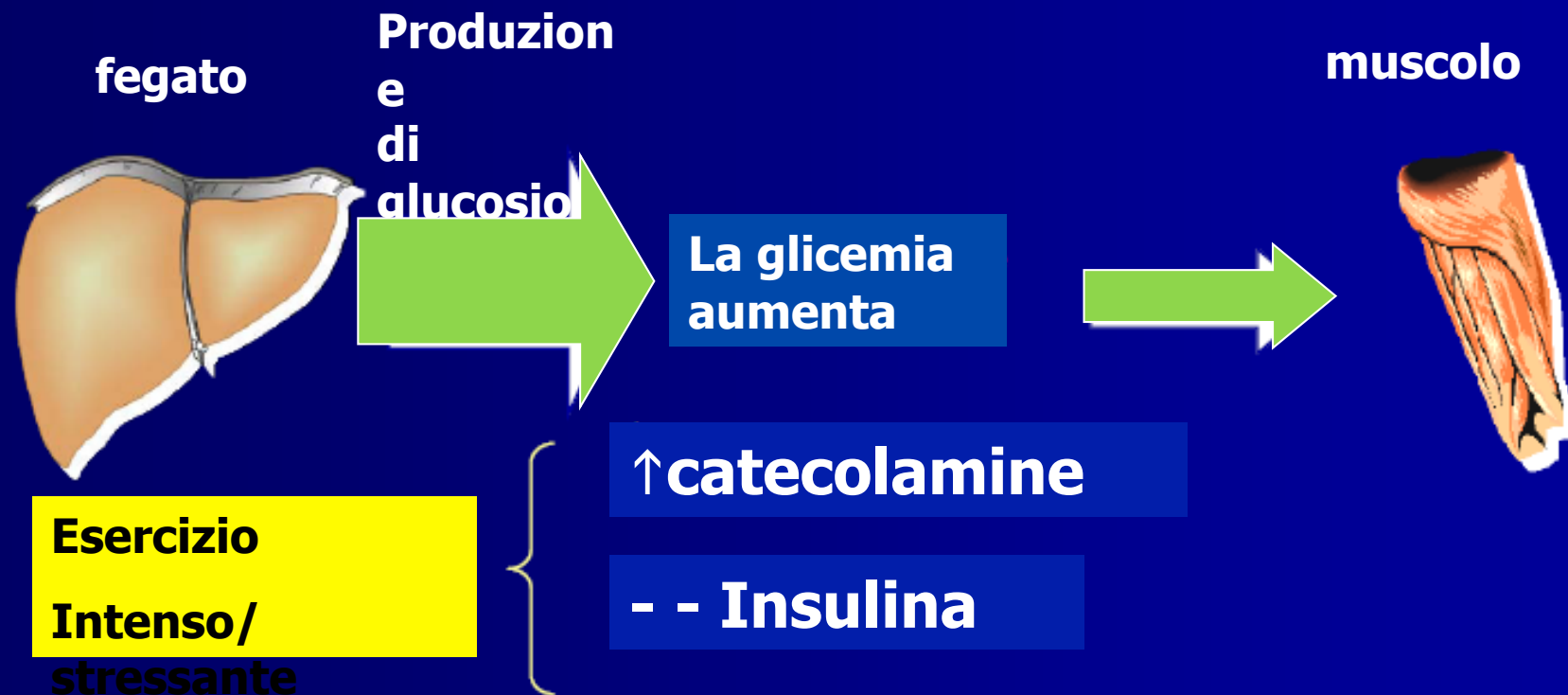
normoglicemia

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

Controllo della glicemia ed esercizio aerobico in persone con T1DM



Controllo della glicemia ed esercizio anaerobico intenso in persone con T1DM



Novità da EASD Barcellona 2013

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

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)

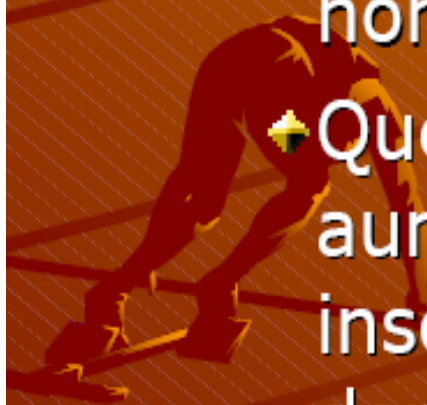
- Risultati: il consumo di glucosio non ha un andamento lineare ma segue una curva:
aumenta progressivamente fino al 65% di $VO_2\text{Max}$ per calare successivamente ai carichi più elevati.
- Nessuno dei soggetti ha avuto bisogno di glucosio per carichi di lavoro a 80% $VO_2\text{Max}$
- Peraltro due soggetti non hanno avuto mai bisogno di glucosio a qualunque carico (secondo voi perché?)
- 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 se si prosegue tornando sotto soglia.....cosa succede?

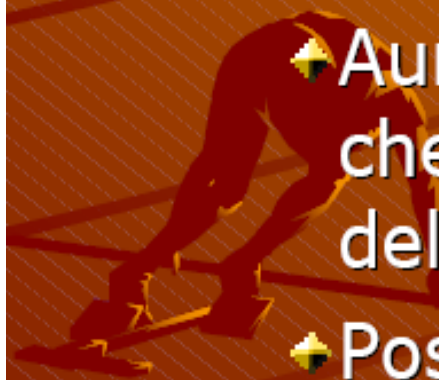
Fisiologia dell'esercizio fisico

- ✦ 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



...anche la "costituzione" ha il suo ruolo!

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**

Quel poco che le linee guida dicono sull'esercizio fisico per atleti con DMT 1 o T2 insulino-trattati (A.D.A.)

- **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.

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
- Glicemie "raccomandate": fra 120 e 180 mg/dl (6,6-10 mmol/L)

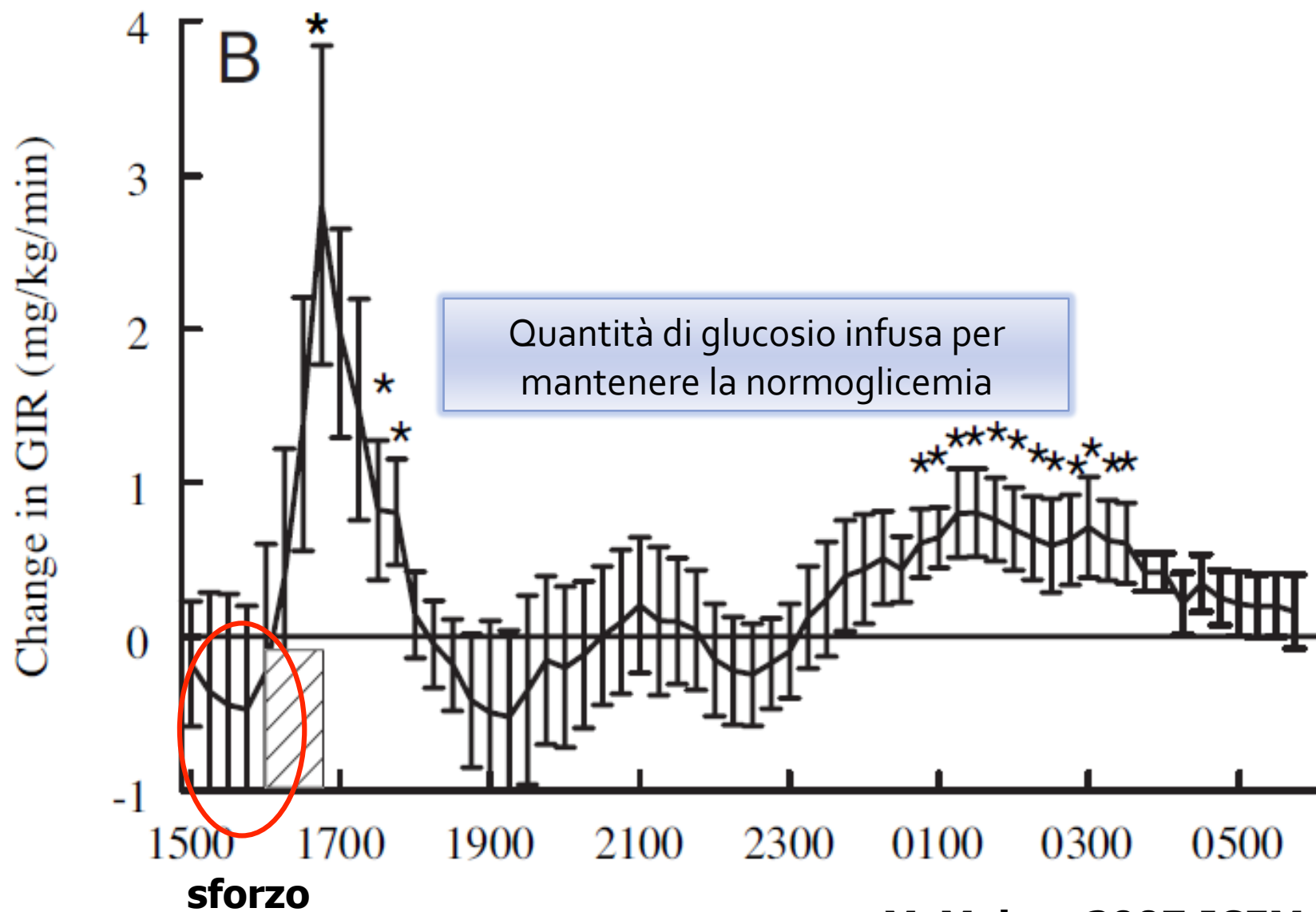
Strategie assortite

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, nessun effetto sull'ipoglicemia tardiva
Microinfusore	Flessibilità, rapido cambio della vel. di infusione post-esercizio	Costo, complessità d'uso, non adatto per alcuni sport

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
 - Rimedio: rapida integrazione e “burst” di 10 secondi
 - In fase di allenamento: attività aerobica alternata a attività di resistenza

L'ipoglicemia tardiva



The 10-s maximal sprint: a novel approach to counter an exercise-mediated fall in glycemia in individuals with type 1 diabetes.

Bussau VA, Ferreira LD, Jones TW, Fournier PA.

CONCLUSIONS:

These results suggest that after moderate-intensity exercise, it is preferable for young individuals with insulin-treated, complication-free type 1 diabetes to engage in a 10-s maximal sprint to acutely oppose a further fall in glycemia than to only rest. The addition of the sprint after moderate-intensity exercise provides another means to reduce the risk of hypoglycemia in active individuals with type 1 diabetes.

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%.
- Il grado di allenamento modifica di molto la richiesta

Alcuni consigli.....

- Snacks pre allenamento (in base a controllo glicemico)
- Integrazione durante l'attività in rapporto a durata/intensità (di solito non necessario per durata <2 ore ad intensità moderata)
- Integrazione post attività se intensi
- Tutte queste integrazioni vanno personalizzate
- Idealmente l'integrazione in CHO è simile a quella assunta dal non diabetico (1g CHO/Kg/Hr) (MOLTO IDEALMENTE, COME VEDREMO!)
- Regola N°1 : controllare, verificare, sperimentare su se stessi

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)									