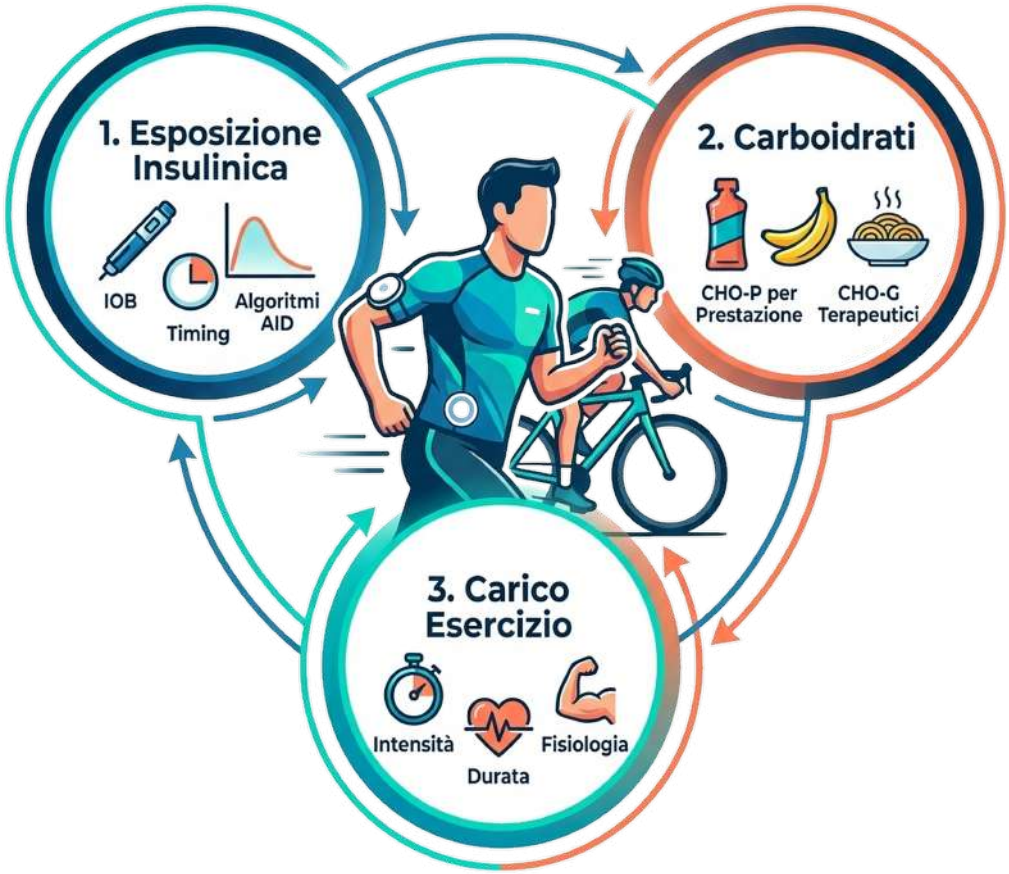
ATLANTE PRATICO DI FISIOPATOLOGIA, INSULINA, NUTRIZIONE E SPORT NEL DIABETE TIPO 1



Conoscere la fisiopatologia per personalizzare terapia, alimentazione, AID ed esercizio fisico

AUTORI

Felice STROLLO[1], Cristina BRUNELLI[2], Cristina DE FAZIO[3], Roberta ASSALONI[4], Marcello GRUSSU[5], Sandro GENTILE[6], Giuseppe PIPICELLI[7] e Gerardo CORIGLIANO[8]

[1] Diabetologo, Dipartimento di Endocrinologia, IRCCS San Raffaele Roma, Roma, Italia

[2] Specialista della Formazione e Docente CdL Fisioterapia UNIVPM Ancona, UOC MED RIAB AST Macerata, Italia (Presidente ANIAD)

[3] Chinesiologa AMPA, Specialista in Scienze delle Attività Motorie Preventive ed Adattate, Napoli, Italia

[4] Diabetologa, SC Diabete e Centro Trattamento Piede Diabetico, ASUGI, Trieste, Italia

[5] Atleta con Diabete tipo 1, Oristano, Italia (già Presidente ANIAD)

[6] Diabetologo, Dipartimento di Ricerca, Nefrocenter Research Centers, Torre del Greco, Naples, Italy

[7] Diabetologo, già Direttore U.O.C. Diabetologia e Dietologia A.S.P. Catanzaro, Soverato (CZ), Italia

[8] Diabetologo, Responsabile servizio di Diabetologia AID Nefrocenter, Napoli, Italia (già Presidente ANIAD)

Si ringrazia la dott.ssa Sabrina Tramonto per il suo contributo editoriale

INDICE GENERALE

RIFERIMENTO	TITOLO CAPITOLO / SEZIONE	Pag.
PREFAZIONE	Prefazione e introduzione metodologica	1
PARTE I — COMPRENDERE BENE L'ESERCIZIO		
Capitolo 1	Dalla fisiologia alla vita reale: la prospettiva della persona con diabete tipo 1	3
Capitolo 2	Che cosa accade realmente quando un muscolo comincia a lavorare?	9
Capitolo 3	Il glicogeno: il carburante strategico	18
Capitolo 4	Il fegato durante l'esercizio: il partner invisibile del muscolo	22
PARTE II — INSULINA, NUTRIZIONE E DECISIONE		
Capitolo 5	L'insulina durante l'esercizio: quando una dose corretta a riposo diventa eccessiva	26
Capitolo 6	Insulina attiva (IOB): la variabile invisibile che cambia lo sport	31
Capitolo 7	Nutrizione, insulina e stabilità glicemica nello sport con diabete tipo 1	35
Capitolo 8	Carboidrati: dalla struttura alla disponibilità durante l'esercizio	37
Capitolo 9	Integrazione durante l'esercizio: quantità, miscele e gut training	40
Capitolo 10	Prima, durante e dopo: la nutrizione come processo continuo	44
Capitolo 11	Tradurre la nutrizione nella terapia	46
PARTE III — SISTEMI AID: CONOSCERE LE DIFFERENZE SENZA STILARE CLASSIFICHE		
Capitolo 12	Come funziona realmente un sistema AID	48
Capitolo 13	MiniMed 780G: SmartGuard, autocorrezioni e target temporaneo	51
Capitolo 14	Tandem Movi / Control-IQ+: previsione, Exercise Activity e AutoBolus	52
Capitolo 15	Omnipod 5: SmartAdjust, Activity Feature e algoritmo nel Pod	54
Capitolo 16	mylife YpsoPump / CamAPS FX e confronto fra filosofie di automazione	56

PARTE IV — ALLENARE L'ATLETA E APPLICARE I PRINCIPI ALLO SPORT		
Capitolo 17	**Preparare l'atleta con diabete tipo 1: allenamento, adattamento e prestazione**	**60**
PARTE V — DALLO SPORT SPECIFICO ALLA LETTURA DELLA RISPOSTA		
Capitolo 18	**Sport di endurance: corsa e ciclismo**	**70**
Capitolo 19	**Sport intermittenti, di squadra o di combattimento**	**77**
Capitolo 20	**Nuoto, triathlon e altre discipline combinate**	**85**
Capitolo 21	**Tennis e altri sport intermittenti individuali**	**88**
Capitolo 22	**Forza, palestra e HIIT: quando l'esercizio non riduce necessariamente la glicemia**	**90**
PARTE VI — TECNOLOGIA, EDUCAZIONE E DECISIONI CLINICHE		
Capitolo 23	**Come leggere una curva CGM nello sport senza attribuirle ciò che non misura**	**93**
Capitolo 24	**Ogni microinfusore ha le sue peculiarità: scelta del dispositivo, formazione e flowchart cliniche**	**95**
Capitolo 25	**Perché due atleti allenati non rispondono allo stesso modo**	**99**
PARTE VII — PERSONA E VARIABILITÀ INDIVIDUALE		
Capitolo 26	**Allenare la persona: motivazione, autonomia e coaching nello sport con diabete tipo 1**	**100**
PARTE VIII — PERSONALIZZAZIONE E MODELLI INTEGRATI		
Capitolo 27	**Dal protocollo alla personalizzazione: carico, contesto e apprendimento**	**110**
Capitolo 28	**Intelligenza Artificiale, sistemi complessi e la dimensione umana nel Diabete tipo 1**	**112**
Capitolo 29	**Modelli integrati per ragionare: triangolo Insulina–CHO–Esercizio e mappa IOB–Exercise**	**117**
Capitolo 30	**BIBLIOGRAFIA TRASVERSALE ESSENZIALE (Elenco unificato 48 voci)**	**121**
Agli amici della prima ora	**In ricordo del Dott. Mariano Agrusta e del Dott. Giuseppe Di Blasi**	**124**

Prefazione

Metodo del libro

Ogni capitolo parte da una domanda clinica, ricostruisce la fisiologia pertinente, propone una rappresentazione visiva, applica il modello a una situazione reale e conclude con pochi messaggi operativi.

La gestione del diabete tipo 1 durante l'esercizio fisico è spesso presentata attraverso percentuali, soglie e protocolli. Tali strumenti sono utili, ma diventano fragili quando la persona si discosta dallo scenario per il quale sono stati concepiti. Un allenamento più intenso, un pasto diverso dal solito, un bolo ancora attivo, la tensione pre-gara o algoritmi dei microinfusori caratterizzati da logiche differenti possono trasformare una strategia apparentemente corretta in una scelta inefficace.

Il presente volume vuole cogliere l'occasione dei 35 anni di attività dell'ANIAD, Associazione Nazionale Italiana Atleti Diabetici, organizzazione di volontariato dedicata alla diffusione dell'esercizio fisico e dello sport come pratica costante, consapevole e sicura fra le persone con diabete. In tanti anni di attività abbiamo imparato che la presenza sul campo accanto agli atleti rappresenta uno strumento insostituibile per acquisire conoscenze applicabili alla pratica quotidiana, attraverso uno scambio continuo di esperienze e competenze fra team diabetologici e persone assistite.

È tuttavia necessario chiarire fin da questa Prefazione la natura del progetto e il significato del riferimento ad ANIAD. L'Atlante viene promosso, fatto proprio e diffuso dall'Associazione nell'ambito delle sue finalità di informazione, sensibilizzazione e sostegno alle persone con diabete. ANIAD, in quanto organizzazione di volontariato, non svolge funzioni sanitarie e non possiede, come Associazione, competenze proprie per elaborare o validare indicazioni cliniche e scientifiche. Il riferimento ad ANIAD identifica quindi il contesto associativo nel quale il lavoro è nato e l'impegno assunto per renderlo accessibile; non attribuisce all'Associazione il ruolo di autore scientifico o di soggetto prescrittore.

ANIAD deve la propria esistenza al Prof. Andrea W. D'Agostino, pioniere della diabetologia italiana e due volte presidente dell'Associazione Medici Diabetologi (AMD) negli anni 1986–1990. L'Associazione nacque a sostegno di ragazzi con diabete mellito tipo 1 che, in un'epoca nella quale lo stigma sociale e sportivo era ancora difficile da contrastare, erano spesso costretti a rinunciare alle proprie aspirazioni o a perseguirle nascondendo la malattia.

Da allora ANIAD ha promosso numerose iniziative di informazione e formazione, progressivamente estese da Napoli alle realtà vicine e infine a tutto il territorio nazionale, organizzando numerosi eventi sportivi in molteplici discipline (mountaineering, atletica leggera, nuoto, cycling, football, futsal, corse di fondo), fra cui meritano di essere ricordate le molte partecipazioni ufficiali alla Maratona di Roma. Il lungo percorso intrapreso ha contribuito a vedere finalmente riconosciuto, in Italia e all'estero e talvolta testimoniato anche da risultati sportivi di altissimo livello, il ruolo degli atleti con diabete nelle discipline più diverse.

Infatti nel corso dei 35 anni di attività l'A.N.I.A.D. ha compreso fin da subito che l'attività sportiva strutturata, specie nella persona con diabete di tipo 1, sarebbe stata importante sia dal punto di vista metabolico che da quello prettamente sportivo. Per questo nel 2010 e successivamente nel 2014 sono stati implementati due protocolli di intesa con il Comitato Olimpico Nazionale Italiano al fine di avvicinare le istituzioni sportive ai pazienti diabetici per far capire le esigenze specifiche di questi pazienti e trovare percorsi condivisi con il fine di tracciare un percorso comune atto a valorizzare le prestazioni dei diabetici facendo conoscere alle varie Federazioni le esigenze specifiche e facilitare a livello di C.O.N.I., le procedure per l'idoneità sportiva con la collaborazione della Federazione Medico Sportiva Italiana e la N.A.D.O.. Questo costante interscambio attraverso meeting, iniziative sportive e

collaborazioni editoriali ha permesso una maggiore conoscenza delle necessità dei pazienti con significativi miglioramenti nella gestione dell'attività sportiva che ha prodotto anche performance simili a quanto realizzato da chi non ha il diabete.

Tale traguardo è stato favorito anche dalla piena integrazione dell'ANIAD nell'International Diabetes Federation Europe (IDFE), che ha rappresentato un'importante cassa di risonanza internazionale delle problematiche affrontate e delle possibili soluzioni. Proprio in virtù di tale collaborazione, ANIAD intende promuovere e diffondere il presente Atlante sul diabete tipo 1 e lo sport in occasione della Giornata Mondiale del Diabete del 14 novembre 2026, auspicandone la pubblicazione sul sito di IDFE con la relativa egida e il patrocinio. La scelta del formato PDF risponde all'obiettivo di raggiungere il maggior numero possibile di persone con diabete interessate allo sport e di professionisti disponibili a confrontarsi con l'esperienza maturata sul campo.

La redazione e la cura dei contenuti clinici e scientifici sono affidate ai diabetologi componenti del Comitato Scientifico dell'ANIAD, che operano sulla base delle rispettive competenze professionali. Il lavoro si avvale inoltre, per gli specifici ambiti di competenza, del contributo di professionisti esterni impegnati nei settori dell'esercizio fisico, dell'allenamento, della motivazione e del coaching. Le valutazioni tecniche e le indicazioni contenute nei singoli capitoli fanno pertanto capo ai rispettivi autori e devono essere lette nel quadro della necessaria personalizzazione con il team diabetologico.

Il ruolo dell'ANIAD è diverso, ma non secondario. L'Associazione mette a disposizione l'esperienza maturata accanto alle persone con diabete, favorisce il confronto fra professionisti e persone assistite, contribuisce a verificare la comprensibilità e l'applicabilità dei contenuti e ne sostiene la più ampia diffusione. È su questa alleanza fra competenze scientifiche, esperienza vissuta e responsabilità associativa che l'Atlante costruisce la propria identità.

La composizione stessa del gruppo degli autori riflette una convinzione maturata negli anni: la gestione cardio-metabolica rappresenta una condizione necessaria per praticare sport in sicurezza, ma non esaurisce le esigenze dell'atleta. La costruzione della prestazione richiede competenze specifiche di allenamento, mentre la continuità, l'autonomia, la capacità di affrontare l'incertezza e il rapporto quotidiano con la malattia coinvolgono inevitabilmente anche la dimensione motivazionale e personale.

Abbiamo scelto il formato PDF al posto del libro cartaceo per rendere il documento facilmente aggiornabile in funzione della rapida evoluzione delle conoscenze e delle tecnologie, nonché scaricabile e fruibile da chiunque sia interessato. Vorremmo inoltre ampliare la comunità ANIAD, affinché tanti colleghi ancora isolati nei propri ambulatori possano condividere l'esperienza della presenza sul campo accanto alle persone assistite, secondo il principio di educare e al tempo stesso imparare da chi vive quotidianamente la malattia, evitando indicazioni teoricamente valide ma potenzialmente lontane dalla realtà concreta.

Per tale motivo abbiamo preferito spostare l'attenzione dalla regola al ragionamento. L'obiettivo non è fornire una nuova serie di ricette terapeutiche, ma mostrare come muscolo, fegato, insulina, glicogeno, carboidrati, allenamento e sistemi automatizzati interagiscano nel determinare la risposta dell'atleta all'esercizio.

Il filo conduttore è semplice: prima comprendere bene la fisiopatologia attraverso concetti scientificamente solidi ma resi accessibili a fini didattici, poi adattare nutrizione, terapia e tecnologia alla prestazione e alla persona. Le indicazioni pratiche acquistano significato soltanto quando vengono collocate all'interno del meccanismo che le giustifica.

PARTE I — COMPRENDERE BENE L'ESERCIZIO

Capitolo 1 — Dalla fisiologia alla vita reale. La prospettiva della persona con diabete tipo 1

Il presente contributo nasce dall'esperienza diretta di una persona con diabete tipo 1, ma anche dalle testimonianze raccolte nel corso di molti anni di sport amatoriale, volontariato e rappresentanza associativa, attraverso il confronto con altre persone con le quali sono stati condivisi percorsi, difficoltà e obiettivi. Non intende formulare prescrizioni né trasformare le esperienze personali e le testimonianze raccolte in regole generali. Muove da una domanda: in che modo conoscenze scientifiche corrette e indicazioni tecniche accurate possono diventare scelte realmente comprensibili, sicure e sostenibili nella vita quotidiana delle persone con diabete tipo 1? Il suo obiettivo è portare nel lavoro condiviso domande, difficoltà e bisogni osservati nella vita reale, da integrare con le competenze cliniche e professionali degli altri autori.

1.1 Perché è necessaria la prospettiva della persona

Negli ultimi anni le conoscenze sul diabete tipo 1 e sull'attività fisica sono cresciute in modo considerevole. Anche le tecnologie e le possibilità terapeutiche hanno reso più sicuro e più accessibile ciò che, fino a non molto tempo fa, appariva particolarmente difficile. Un Atlante dedicato alla fisiologia, all'insulina, alla nutrizione e allo sport rappresenta quindi uno strumento importante per permettere alle persone di orientarsi al meglio in un contesto di conoscenze complesse e articolate.

Ciò nonostante, tra la formulazione e l'applicazione concreta di una raccomandazione scientificamente corretta esiste uno spazio che non può essere ignorato. In tale spazio troviamo la storia della persona, le paure, il tipo di terapia, le opportunità disponibili, il rapporto con il diabetologo di riferimento e, soprattutto, il significato che ciascuno attribuisce all'attività fisica. La persona con diabete non può essere considerata il punto terminale di una sequenza di istruzioni: deve essere parte del percorso attraverso il quale le indicazioni vengono comprese, adattate e rese fruibili.

Tale passaggio è particolarmente evidente nello sport, un ambito nel quale le decisioni di chi pratica AF vengono spesso assunte lontano dall'ambulatorio e in condizioni mutevoli. Si corre, si pedala, si nuota, si gioca o semplicemente si cammina e, nel frattempo, occorre interpretare un dato, gestire un imprevisto e operare scelte valide in tempi brevi. In questo senso, il valore educativo del documento dipende anche dalla capacità di accompagnare la persona verso una maggiore autonomia, senza promettere una totale prevedibilità che non può essere garantita.

L'elemento centrale intorno al quale si impernia l'intero documento è la consapevolezza del fatto che anche se indispensabile, la conoscenza diventa realmente utile soltanto quando può essere tradotta, insieme al proprio diabetologo, in scelte adatte alla vita, alle possibilità e agli obiettivi della singola persona.

1.2 Dalla conoscenza alla scelta concreta

Conoscere una regola è certamente necessario, ma non equivale ancora a saperla utilizzare. Occorre prima comprenderne il significato, poi interpretare la situazione concreta e, infine, scegliere un comportamento entro i limiti concordati con il proprio diabetologo, passaggi diversi, che richiedono informazioni, esperienza e una progressiva capacità di interpretare appieno quanto sta accadendo.

La possibilità di confrontarsi con un team diabetologico multiprofessionale rappresenterebbe certamente la condizione più favorevole. Tuttavia, tale opportunità non corrisponde ancora alla realtà assistenziale vissuta dalla maggior parte delle persone con diabete, che si confrontano principalmente con il proprio diabetologo.

Una persona può avere compreso perfettamente il meccanismo e sentirsi comunque insicura nel momento della decisione. Non siamo necessariamente di fronte ad un problema di scarsa formazione o di scarso impegno. Più semplicemente, occorre prendere atto del fatto che nella vita reale molte variabili cambiano nello stesso momento e non sempre il loro significato è immediatamente riconoscibile. È proprio qui che l'educazione deve trasformarsi in accompagnamento all'autonomia.

Il passaggio dalla conoscenza all'autonomia può essere ricondotto a quattro momenti:

1. **Comprendere**. Che cosa significa questa indicazione e quali sono i suoi limiti?

2. **Interpretare**. Che cosa significa essa oggi, per questa AF e con questa quantità di insulina attiva?

3. **Decidere**. Che cosa posso fare adesso in sicurezza, mantenendomi nell'ambito delle opzioni concordate con il diabetologo?

4. **Rivedere**. Che cosa posso imparare da ciò che è accaduto, senza trasformare il risultato in un giudizio sulla persona?

1.3 La complessità che spesso non si vede

Per chi osserva dall'esterno, prepararsi per una corsa può voler dire indossare le scarpe e uscire. Per una persona con diabete tipo 1 significa spesso valutare la composizione del pasto precedente, la quantità di insulina ancora attiva, la glicemia come dato attuale e come tendenza, la durata prevista della sessione, il materiale necessario (integratori o zuccheri a rapido assorbimento), e i possibili eventi attesi per le ore successive. A tutto questo si aggiungono le condizioni del luogo, la possibilità di fermarsi e l'affidabilità dei dispositivi.

Si tratta di un lavoro in gran parte invisibile, che può affaticare ancora prima che si intraprenda l'attività. Detto questo, il carico mentale non deve essere considerato un elemento secondario: una strategia troppo complessa è più difficile da ricordare e da applicare proprio quando lo sforzo, la fretta o la tensione riducono l'attenzione disponibile. La qualità di un'indicazione si misura, quindi, anche nella semplicità d'uso.

Tale complessità accompagna la persona prima, durante e dopo l'attività:

Prima dell'attività, come già detto, occorre considerare ciò che si sta per fare, la durata e l'intensità previste, la possibilità di interruzioni, il pasto, il bolo, la quantità di insulina ancora attiva, la glicemia come dato attuale e come tendenza oltre ai prodotti per l'eventuale integrazione necessari e a un possibile piano alternativo.

Durante l'attività occorre osservare quanto ciò che sta accadendo corrisponda al programma, prestando attenzione ai sintomi, ai dati del sensore, alle frecce di tendenza, alla disponibilità del dato e all'eventuale necessità di assumere carboidrati aggiuntivi.

Dopo l'attività è utile considerare la necessità di recupero, il pasto previsto, l'insulina residua e i possibili effetti tardivi, registrando soltanto le informazioni che potranno aiutare a comprendere meglio l'esperienza.

Una buona indicazione, quindi, deve essere non soltanto corretta ma anche pienamente compresa, ricordata e applicata nel momento opportuno. Se essa comporta la valutazione contemporanea di un numero eccessivo di elementi, è utile interrogarsi anche sulla reale applicabilità della strategia proposta e non soltanto sulla persona che fatica a seguirla.

1.4 Tra attività fisica programmata e vita reale

Molti percorsi educativi partono, correttamente, da un'AF definita in anticipo: orario noto, durata prevedibile, intensità stabilita e pasto controllato. Sebbene sia utile per imparare e ridurre le variabili, tale modello descrive soltanto una parte della vita reale.

Una camminata può prolungarsi, una partita può iniziare in ritardo, un allenamento può essere interrotto o una salita può richiedere uno sforzo maggiore del previsto. Anche la distinzione tra intensità bassa, moderata o elevata non è sempre immediatamente chiara per il principiante. Lo stesso esercizio, inoltre, può avere un costo molto diverso per persone differenti. È dunque necessario preparare non soltanto lo scenario ideale, ma anche il cambiamento di programma.

Per tale motivo gli schemi decisionali dovrebbero prevedere anche una via per l'incertezza: che cosa osservare quando il programma cambia, quando la durata non è più prevedibile o quando non è possibile intervenire con l'anticipo ideale. Non si tratta di offrire risposte automatiche, ma di aiutare la persona a riconoscere quando la situazione non coincide più con quella per la quale la strategia era stata concordata.

Un esempio concreto può aiutare a comprendere tale passaggio. Una persona programma quaranta minuti di cammino, ma il gruppo decide di proseguire per altri trenta. Il problema non è soltanto che l'attività dura di più. Cambiano la disponibilità dei prodotti disponibili per eventuali integrazioni, l'orario del pasto successivo, la possibilità di rientrare e il significato della tendenza glicemica. L'educazione dovrebbe preparare anche a riconoscere tale cambiamento di scenario.

Quanto finora esplicitato è stato l'elemento guida dell'intero atlante. Quest'ultimo, infatti, si propone di fornire al lettore le chiavi utili ad assumere decisioni operative il più possibile valide in piena consapevolezza e, verificato il risultato, migliorare progressivamente il tiro, possibilmente in collaborazione con il team diabetologico di riferimento.

1.5 La paura dell'ipoglicemia: un rischio reale e una possibile barriera

La paura dell'ipoglicemia nasce da un rischio reale ma può essere accentuata da episodi precedenti, dal timore di perdere il controllo, dalla solitudine o dalla difficoltà di interrompere l'attività e assumere rapidamente carboidrati. Sarebbe quindi sbagliato liquidarla come una preoccupazione irrazionale o come una semplice mancanza di volontà.

I progressi tecnologici hanno certamente aumentato le informazioni disponibili e possono ridurre una parte del rischio. Tuttavia, la disponibilità di un sensore o di un sistema automatizzato non cancella il ricordo di un episodio negativo e non restituisce, da sola, la fiducia necessaria per riprovare. Se da un lato la tecnologia protegge, dall'altro occorre continuare a lavorare sull'educazione, sulla gradualità e sulla sicurezza percepita.

La paura può portare a rinunciare, a mantenere valori di glicemia volutamente elevati, ad assumere una quantità di carboidrati maggiore del necessario o a controllare continuamente il sensore. Il documento si ripropone proprio di evitare due estremi: minimizzare il problema oppure amplificarlo attraverso un elenco interminabile di pericoli, nella piena convinzione della necessità di favorire esperienze progressive, un piano di sicurezza realistico e un confine chiaro tra ciò che la persona può gestire e ciò che richiede il supporto del diabetologo.

Anche il modo di porre le domande può favorire o ostacolare tale percorso. Non è sufficiente che il team diabetologico si chieda perché un paziente non faccia attività fisica. È più utile comprendere che cosa la persona tema possa accadere, in quale momento si senta meno sicura e quale condizione potrebbe consentirle di iniziare un nuovo percorso con maggiore tranquillità.

1.6 Tecnologia: maggiori opportunità, nuove competenze

I sistemi di monitoraggio continuo della glicemia, i microinfusori e i sistemi automatizzati hanno trasformato positivamente la gestione dell'attività fisica. Allarmi, frecce di tendenza e modulazione dell'insulina offrono possibilità che in passato non esistevano. Quanto appena descritto rappresenta un progresso rilevante, che è ormai ampiamente riconosciuto e va sempre più valorizzato. Ciononostante, ogni nuovo dato richiede di essere interpretato e ogni funzione mantiene al suo interno condizioni operative e limiti.

Durante l'esercizio la persona può chiedersi se la freccia descriva davvero ciò che sta accadendo, se il sistema abbia già ridotto l'erogazione, quanta insulina rimanga attiva o se il sensore mostri un ritardo rispetto ai sintomi. In acqua, negli sport di contatto o durante una gara, anche l'accesso al dato può diventare discontinuo o addirittura impossibile. La tecnologia riduce la necessità di assumere alcune decisioni ma ne introduce altre.

Una buona formazione tecnologica non può limitarsi a spiegare dove premere sull'apparecchio in dotazione, deve chiarire che cosa il sistema riconosce e che cosa non può prevedere e come comportarsi quando il dato manca o appare poco plausibile. Anche la scelta del dispositivo dovrebbe considerare facilità d'uso, tollerabilità, tipo di sport, preferenze e possibilità concrete di accesso, non soltanto le prestazioni teoriche dell'algoritmo.

La tecnologia può mostrare una concentrazione e una tendenza, modulare l'insulina che verrà erogata, segnalare un possibile rischio e ridurre alcune decisioni ripetitive. Quando è compresa ed utilizzata dalla persona in modo idoneo, essa può favorire una maggiore autonomia.

La tecnologia, infatti, non può misurare direttamente il glicogeno disponibile o il costo energetico, annullare l'insulina già assorbita o sostituire in ogni situazione segnali inviati dall'organismo e la capacità di valutazione della persona. Essa non può neppure prevedere con certezza come l'organismo reagirà all'attività fisica, né evitare gli imprevisti legati ai tempi, alla durata, all'intensità e alle condizioni nelle quali l'attività viene praticata.

1.7 Lo sport non coincide con la prestazione di vertice

Quando parliamo di sport pensiamo spesso alla gara, all'allenamento strutturato e al risultato. La maggior parte delle persone, però, si muove alla ricerca di salute, benessere, socialità, autonomia o semplice piacere. C'è chi desidera ricominciare a camminare, chi frequenta una palestra, chi usa la bicicletta nel fine settimana e chi pratica uno sport senza alcun obiettivo agonistico.

Un Atlante promosso da un'associazione di volontariato deve parlare anche a chi non si riconosce nell'accezione più comune della parola italiana "atleta" (per gli anglosassoni il termine non necessariamente si riferisce ad uno sportivo agonista...). Per tale persona il problema non è come affrontare una maratona ma come camminare per venti minuti senza avvertire un rischio incontrollabile: quest'ultimo rappresenta un punto di partenza diverso ma non meno importante.

Occorre quindi prevedere differenti punti di ingresso nel complesso mondo dell'esercizio fisico regolare. Le indicazioni sulla prestazione avanzata rimangono preziose, ma devono essere accompagnate da una progressione semplice: iniziare da attività ripetibili, osservare la risposta, confrontarsi con il team diabetologico e aumentare gradualmente sicurezza e autonomia. In tal senso, anche iniziare rappresenta un risultato.

Lo sport di vertice dimostra che molte barriere possono essere superate. L'associazionismo deve, però, rendere possibile anche il primo passo di chi non cerca un primato, ma salute, fiducia, autonomia e partecipazione.

1.8 Trasformare l'esperienza in apprendimento

Le raccomandazioni generali rappresentano il punto di partenza. L'autonomia cresce quando la persona impara a riconoscere situazioni ricorrenti e a collegare ciò che osserva ai principi appresi. Una corsa al mattino, una camminata dopo pranzo, una seduta di forza alla sera e una gara non sono esperienze equivalenti, anche se rientrano tutte nella definizione di attività fisica.

Registrare ogni dettaglio può diventare insostenibile. È preferibile raccogliere poche informazioni utili: tipo e durata dell'attività, intensità percepita, pasto e insulina precedenti, carboidrati assunti e andamento nelle ore successive. Il valore del diario non dipende dalla quantità dei dati, ma dalla capacità di trasformare tali dati in elementi utili a formulare domande più precise da discutere con il team diabetologico.

Quando non coincide con lo schema generale, un'esperienza non dovrebbe essere accolta automaticamente con sospetto ma, se si ripete in condizioni di sicurezza, merita di essere raccontata e compresa. L'esperienza individuale, infatti, non dimostra una regola universale, ma può far emergere una variabile personale che il modello generale non riesce a rappresentare pienamente.

1.9 Un linguaggio che aiuti ad apprendere

Una strategia può non funzionare nonostante attenzione e impegno. Il pasto può essere assorbito diversamente, l'intensità può cambiare, il sensore può mostrare un ritardo o lo stress può modificare la risposta. Nel rapporto con il proprio team diabetologico, l'episodio non deve essere vissuto o presentato come un errore perché, altrimenti, la persona perde involontariamente la disponibilità al racconto e, con essa, la possibilità di imparare.

Il linguaggio deve descrivere ciò che è accaduto senza trasformare la glicemia in un voto. Espressioni come “controllo buono” o “cattivo”, “bravo” o “non aderente”, rischiano di spostare l'attenzione dal problema alla persona. È più utile chiedere quale variabile sia cambiata, che cosa abbia funzionato e quale modifica possa essere valutata la volta successiva.

Una comunicazione rispettosa non significa rinunciare a indicazioni chiare ma distinguere la persona dal risultato e riconoscere la complessità dell'autogestione. In tal modo si rafforzano la fiducia, la condivisione delle difficoltà e la possibilità di assumere decisioni realmente condivise.

Un linguaggio orientato all'apprendimento può essere costruito anche attraverso domande diverse:

- Invece di chiedere che cosa sia stato sbagliato, è più utile domandarsi quale variabile potrebbe aver modificato la risposta.
- Invece di chiedere perché una regola non sia stata seguita, è più utile comprendere che cosa ne abbia reso difficile l'applicazione in quel momento.
- Quando l’andamento della glicemia è diverso da quello atteso, non è utile considerare l’esperienza semplicemente positiva o negativa. È più importante capire che cosa sia accaduto durante l’attività, se la seduta sia stata sicura, allenante e sostenibile.
- Invece di proporre una regola rigida da applicare in ogni occasione, è preferibile concordare con il diabetologo come adattare la strategia e quali elementi osservare durante l’attività successiva.

1.10 Il ruolo dell'ANIAD e dell'apprendimento tra pari

ANIAD svolge una funzione diversa da quella del diabetologo e da quella delle altre professioni sanitarie coinvolte nel processo di cura. Non prescrive terapie e non si sostituisce a chi ha la responsabilità della cura. Può però creare occasioni di informazione e confronto, aiutare le persone a riconoscere problemi comuni e fornire loro parole più adeguate per descrivere le difficoltà. Può, soprattutto, ricordare che una difficoltà non rappresenta necessariamente un fallimento individuale.

L'esperienza tra pari è preziosa quando rimane un'esperienza e non diventa una ricetta. Conoscere il modo in cui un'altra persona si organizza per svolgere AF, dialoga con l'allenatore o affronta un imprevisto può aprire nuove possibilità. Per contro, copiare dosi, soglie o quantità di carboidrati può essere pericoloso, perché manca il contesto clinico e personale che dava significato a quelle scelte.

In questo senso, attraverso le diverse sezioni regionali si potrebbe verificare se i materiali di questo Atlante parlano a pubblici differenti, se il linguaggio è comprensibile e se le indicazioni tengono conto delle opportunità realmente disponibili nei territori. Possono inoltre raccogliere domande e bisogni da riportare al Comitato scientifico. Non assumono la responsabilità della validazione clinica, ma contribuiscono a rendere il documento più vicino alle persone e meno autoreferenziale.

Il confine deve comunque rimanere chiaro: il pari può raccontare ciò che ha osservato e il modo in cui ne ha discusso con il proprio team diabetologico, non dovrebbe trasformare quel racconto in una prescrizione valida per gli altri.

1.11 Un Atlante scientificamente strutturato, ma realmente utilizzabile

Dal punto di vista delle persone con diabete, l'Atlante si rivelerà veramente utile se consentirà di passare dalla lettura alla formulazione di domande migliori. Esso, cioè, non deve creare l'illusione che una tabella possa sostituire la personalizzazione, né lasciare il lettore solo di fronte a una complessità ancora maggiore e, proprio per tale motivo, si propone di offrire principi, esempi e strumenti per consentire all'atleta o a chi si sta avvicinando all'esercizio fisico di dialogare con il team diabetologico, mantenendo sempre chiaro il confine con la prescrizione clinica.

L'Atlante può offrire principi per comprendere fisiologia, insulina, nutrizione e tecnologia, domande per ordinare le variabili, esempi per riconoscere scenari differenti e strumenti per dialogare meglio con i professionisti. Esso può, inoltre, suggerire un metodo per imparare dalle esperienze, senza avere la pretesa di sostituire la valutazione clinica e il piano terapeutico individuale, offrire una prescrizione universale valida per ogni sportivo, verificare direttamente la risposta individuale o garantire un supporto urgente in caso di rischio o malfunzionamento, né di sostituire il giudizio professionale nei casi complessi.

1.12 Le domande che dovrebbero accompagnare il lettore

- Quale attività sto realmente per svolgere e quanto è impegnativa per me?
- Con quanta insulina attiva ancora in circolo e in quale stato alimentare sto iniziando?
- Quali carboidrati appartengono alla prestazione e quali potrebbero servire per la stabilità glicemica?
- Che cosa sta facendo il mio Sistema AID e che cosa non può sapere?
- Quale cambiamento trasformerebbe questa attività in uno scenario diverso da quello programmato?
- Quali segnali richiedono di fermarmi, applicare il piano di sicurezza o chiedere aiuto?
- Quale informazione essenziale registrerò per discuterne e migliorare la prossima volta?

1.13 Indicazioni per un utilizzo consapevole

- Uso il documento per comprendere i principi e distinguo le indicazioni generali dalle opzioni concordate con il mio team diabetologico senza modificare autonomamente la terapia.
- Considero sempre tipo, durata e intensità dell'esercizio, quantità di insulina ancora attiva, composizione del pasto e andamento della glicemia.
- Preparo un piano per affrontare ipoglicemia, iperglicemia, guasti o indisponibilità del dato.
- Non copio dosi o strategie da un'altra persona; quando valuto una modifica, osservo poche variabili utili e ne discuto gli esiti con il mio team diabetologico.
- Se sintomi, dati del sensore e situazione non concordano, seguo le indicazioni del dispositivo e del mio piano clinico, riconoscendo quando è necessario chiedere supporto professionale.

1.14 Per concludere

- La persona con diabete non è una destinataria passiva delle indicazioni, ma parte del processo di comprensione e personalizzazione. Per creare il miglior presupposto per la propria autonomia occorre dedicare tempo a comprendere i meccanismi, interpretare il contesto e scegliere in sicurezza. La semplicità, la sostenibilità e l'applicabilità concreta fanno quindi parte della qualità di ogni strategia educativa.

- La paura dell'ipoglicemia deve essere riconosciuta, mai banalizzata: la tecnologia va considerata uno strumento prezioso anche per prevenirla ma non sa individuare a priori ogni risposta individuale e non elimina gli imprevisti. L'attività fisica amatoriale e il primo passo fatto in tale direzione meritano attenzione quanto la prestazione agonistica. L'esperienza individuale non sostituisce l'evidenza scientifica, ma può generare domande utili; ANIAD può favorire informazione, confronto e apprendimento tra pari, mantenendo chiaro il confine con la prescrizione clinica.

Capitolo 2 — Che cosa accade realmente quando un muscolo comincia a lavorare?

Domanda guida

Perché una corsa lenta, uno sprint e una partita di calcio possono avere lo stesso atleta come protagonista ma produrre risposte metaboliche completamente differenti?

Messaggio chiave

Il muscolo non utilizza un solo carburante e non esiste un sistema energetico "acceso" mentre gli altri sono "spenti". Intensità, durata e allenamento modificano continuamente la combinazione dei substrati utilizzati.

Quando un muscolo passa dal riposo alla contrazione, la richiesta di energia aumenta in una frazione di secondo. Il gesto visibile - un passo, un salto, una pedalata o un tiro - è soltanto l'esito finale di una serie di processi intracellulari che devono rigenerare ATP con una velocità adeguata alla potenza richiesta. La prima idea da acquisire è quindi semplice: l'esercizio non è definito soltanto dalla sua durata ma soprattutto dalla velocità con cui il muscolo deve produrre energia in ogni momento.

Tale prospettiva è fondamentale nel diabete tipo 1. La strategia insulinica e nutrizionale, infatti, non può essere costruita soltanto in base alla durata dell'attività o al numero di chilometri da percorrere. Una corsa continua, una seduta di interval training e una partita di calcio possono avere durata simile, ma richiedere combinazioni molto differenti di substrati energetici (glicogeno, glucosio e acidi grassi). Comprendere bene tale dinamica è il primo passo per interpretare ciò che successivamente vedremo sul CGM e per evitare di attribuire alla glicemia un significato che non possiede: il sensore di glucosio descrive una concentrazione e una tendenza, non misura direttamente il costo energetico dell'esercizio.

2.1 ATP: la moneta immediata della contrazione

L'adenosina trifosfato (ATP) è la forma immediatamente utilizzabile di energia chimica nella fibra muscolare. La sua idrolisi consente il ciclo dei ponti actina-miosina che costituiscono la parte contrattile della fibra muscolare stessa, sostiene il lavoro delle pompe ioniche che ristabiliscono i gradienti di sodio, potassio e calcio necessari e contribuisce a mantenere l'omeostasi cellulare mentre la contrazione continua.

Le riserve intramuscolari di ATP sono tuttavia molto limitate rispetto alla quantità necessaria per sostenere anche pochi minuti di esercizio. Il problema fisiologico non è quindi possedere una grande riserva di ATP ma rigenerare continuamente ATP alla stessa velocità con cui viene utilizzato. Se la richiesta aumenta improvvisamente, anche la velocità di resintesi deve aumentare quasi immediatamente.

È utile distinguere due concetti che spesso vengono confusi: capacità e potenza del sistema energetico. La capacità indica quanta energia un sistema può complessivamente fornire; la potenza indica con quale rapidità può fornirla. Uno sprint richiede soprattutto elevata potenza metabolica. Una maratona richiede invece una grande capacità di sostenere nel tempo una produzione di ATP relativamente bassa ma continua.

Errore concettuale frequente

Pensare che il muscolo "usi ATP" soltanto nei primi secondi e poi passi ad altri carburanti è sbagliato. In realtà il muscolo utilizza sempre ATP. Fosfocreatina, glicolisi e metabolismo ossidativo sono sistemi differenti per rigenerare la stessa molecola energetica.

Applicazione al DMT1

Il fabbisogno di insulina o di carboidrati non può essere dedotto direttamente dall'ATP consumato. L'ATP è la destinazione finale comune, mentre i substrati e le vie utilizzate per rigenerarlo cambiano continuamente. È proprio tale cambiamento a modificare il rapporto fra consumo di glicogeno, captazione cellulare periferica di substrati, produzione epatica di glucosio e risposta glicemica.

2.2 Tre sistemi energetici che lavorano contemporaneamente

Per ragioni didattiche si distinguono tre grandi modalità di resintesi dell'ATP: sistema fosfageno, glicolisi con fosforilazione a livello del substrato e metabolismo ossidativo. La distinzione è utile purché non venga trasformata nell'idea di tre interruttori che si accendono uno dopo l'altro.

Tutti i sistemi partecipano sin dall'inizio dell'esercizio. Ciò che varia è il loro contributo prevalente, determinato soprattutto dalla potenza richiesta, dalla durata, dalla disponibilità dei substrati e dal grado di allenamento.

Sistema fosfageno

La fosfocreatina consente di rigenerare ATP con estrema rapidità. Tale sistema è particolarmente importante quando la richiesta energetica aumenta bruscamente, come in una partenza, uno sprint, un salto o un sollevamento massimale. La sua potenza è elevatissima, ma la capacità è limitata: le riserve di fosfocreatina si riducono rapidamente quando lo sforzo massimale viene mantenuto.

Il fatto che la fosfocreatina sia protagonista negli sforzi brevissimi non significa che glicolisi e metabolismo ossidativo siano inattivi. Anche durante pochi secondi di lavoro intenso tali vie contribuiscono già alla produzione complessiva di ATP.

Glicolisi anaerobica

La glicolisi permette di ricavare rapidamente ATP dal glucosio disponibile o, soprattutto durante esercizio intenso, dal glicogeno muscolare trasformatosi in glucosio. La velocità con cui può fornire energia è inferiore a quella del sistema fosfageno ma superiore a quella consentita dalla sola ossidazione dei substrati. Per tale motivo assume crescente importanza quando lo sforzo intenso prosegue oltre i primissimi secondi o viene ripetuto più volte con recuperi incompleti.

Il lattato prodotto non deve essere interpretato come un semplice "rifiuto". Esso rappresenta un prodotto metabolico intermedio che può essere ossidato da altri tessuti e fibre muscolari oppure utilizzato come precursore per la produzione di nuovo glucosio. Nel corso del libro torneremo su tale concetto perché il lattato è anche un indicatore utile per comprendere il passaggio verso intensità nelle quali il contributo dei carboidrati aumenta rapidamente.

Metabolismo ossidativo

Nei mitocondri, carboidrati e acidi grassi possono essere ossidati per produrre grandi quantità di ATP. La velocità massima di tale processo è inferiore ma la capacità è molto maggiore rispetto a quanto visto finora. È quindi essenziale per gli esercizi prolungati e diventa dominante quando la richiesta energetica può essere sostenuta prevalentemente per via aerobica.

Metabolismo ossidativo non significa "metabolismo dei grassi". Anche i carboidrati vengono ossidati nei mitocondri. Una corsa aerobica ad intensità moderata può quindi utilizzare contemporaneamente una quota significativa sia di glucosio e glicogeno sia di acidi grassi, ovvero carburanti energetici di grande disponibilità. Ciò spiega perché alcune discipline olimpiche come le corse di fondo possono ripetersi dopo lunghi intervalli per dare tempo all'organismo di ricostituire le scorte di glicogeno consumate, mentre le discipline esplosive che sfruttano prevalentemente il sistema dei fosfageni (a rapido riciclo) possono essere ripetute più volte in pochi minuti, come è il caso del salto in alto.

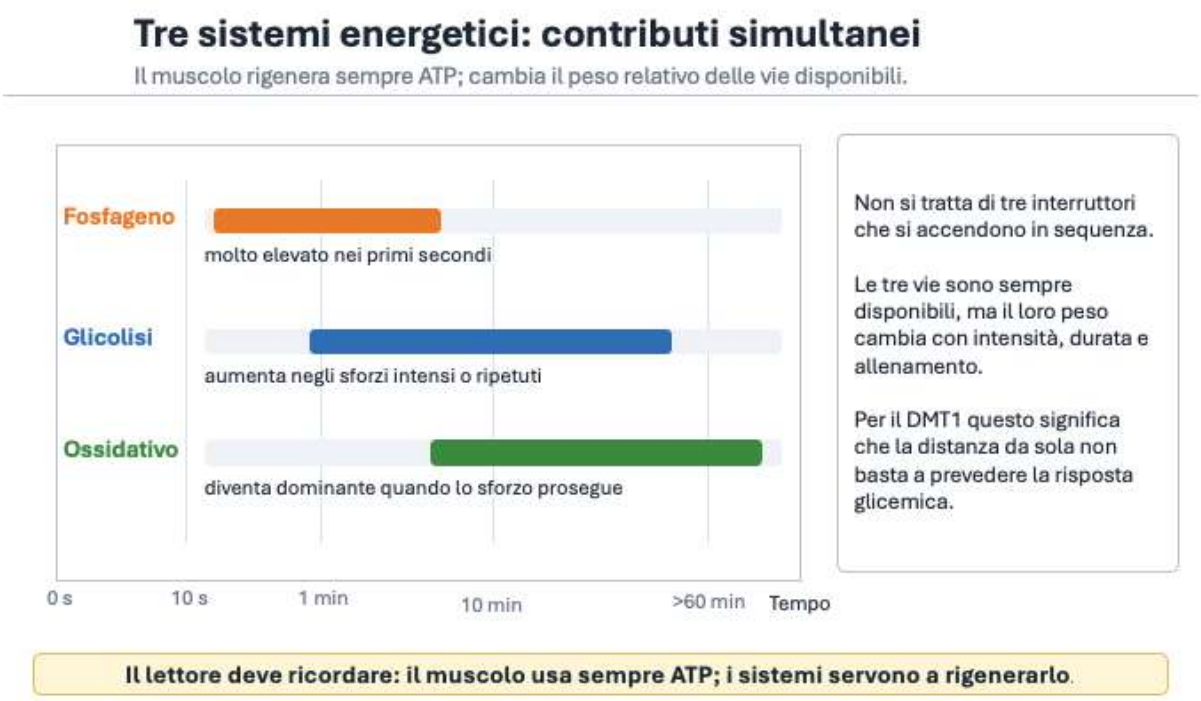


Figura 2.1. Contributo dei sistemi energetici: i sistemi sono attivi contemporaneamente e cambia il loro peso relativo.

2.3 Intensità: la variabile che cambia la velocità della richiesta energetica

L'intensità dell'esercizio determina in larga misura la velocità con cui il muscolo deve rigenerare ATP. All'aumentare della potenza richiesta cresce la necessità di utilizzare vie in grado di fornire energia rapidamente. Da tale principio deriva il progressivo aumento del contributo dei carboidrati alle intensità più elevate.

Gli acidi grassi rappresentano una riserva energetica molto abbondante e sono fondamentali durante attività a bassa e moderata intensità. Tuttavia, la loro ossidazione non può aumentare indefinitamente al crescere della potenza. Quando il lavoro muscolare diventa più impegnativo, aumenta il ricorso al glicogeno muscolare e al glucosio circolante, substrati che consentono di sostenere velocità di produzione dell'ATP più elevate.

Il cosiddetto "crossover" (punto di scambio) fra prevalenza relativa dei grassi e crescente dipendenza dai carboidrati è un modello utile, non una soglia universale. La posizione di tale transizione varia con il grado di allenamento, la disponibilità di glicogeno, lo stato nutrizionale, l'intensità relativa rispetto alla capacità aerobica individuale e numerose caratteristiche biologiche.

Intensità assoluta e intensità relativa

Dire che due persone corrono entrambe a 10 km/h descrive un'intensità assoluta identica, ma non necessariamente un'intensità relativa identica. Per un atleta allenato tale velocità può rappresentare un esercizio facile; per un soggetto poco allenato, invece, essa può richiedere una frazione molto maggiore della capacità aerobica massima. Di conseguenza, il contributo dei substrati e la risposta ormonale possono essere differenti anche quando, dall'esterno, il lavoro appare uguale.

Tale distinzione è particolarmente importante quando si confrontano atleti con diabete tipo 1. La velocità o la distanza non bastano per stimare la risposta glicemica: occorre sapere quanto quello specifico sforzo "costa" all'organismo di quella specifica persona.

Perché con l'intensità aumenta l'ossidazione dei carboidrati?

Il fenomeno dipende da più fattori che agiscono contemporaneamente: aumenta il reclutamento di fibre a contrazione rapida, cresce la glicogenolisi muscolare, aumenta l'attivazione simpatica e

diventa prioritaria la disponibilità di un substrato capace di sostenere rapidamente la produzione di ATP. In tale situazione il glicogeno rappresenta una risorsa strategica.

Tuttavia sarebbe errato trasformare tale concetto nell'equazione "alta intensità = glicemia in discesa". Negli sforzi intensi, infatti, l'aumento delle catecolamine può contemporaneamente stimolare una notevole produzione epatica di glucosio da glicogenolisi. C'è da considerare, in tal senso, che il glicogeno è una macromolecola costituita da migliaia di molecole di glucosio e, quindi, in caso di accelerata glicogenolisi legata ad esercizio intenso, accompagnato da attivazione simpatica, il circolo riceve quantità di glucosio talora superiori alla pur aumentata captazione muscolare, aumentando così il rischio di iperglicemia. Il consumo muscolare di carboidrati può, quindi, essere elevato mentre la glicemia può rimane stabile o addirittura aumentare. Tale apparente paradosso che dipende essenzialmente dal livello (alto-normale-basso) di insulinizzazione epatica verrà approfondito nei capitoli dedicati al fegato e all'insulina.

2.4 Durata: il metabolismo evolve mentre l'esercizio continua

La durata non rappresenta semplicemente il tempo trascorso. Mentre l'esercizio prosegue cambiano disponibilità dei substrati, risposta ormonale, temperatura corporea, idratazione e grado di affaticamento. Di conseguenza, anche mantenendo costante la velocità, il costo fisiologico dello stesso gesto può cambiare nel corso della seduta.

Nei primi minuti di un esercizio moderato la disponibilità di glicogeno è generalmente elevata e il sistema cardiovascolare sta ancora raggiungendo lo stato stazionario. Con il protrarsi dell'attività aumenta il contributo dei processi ossidativi, la disponibilità di glicogeno può ridursi e il metabolismo tende ad adattarsi alla necessità di preservare i substrati più rapidamente utilizzabili.

Quando la durata diventa elevata, la disponibilità di carboidrati può diventare un fattore limitante della prestazione. Tale fenomeno non coincide necessariamente con una ipoglicemia: il muscolo può avere difficoltà a sostenere la potenza richiesta anche quando il glucosio circolante resta nel range desiderato. Questa distinzione fra "glicemia adeguata" e "substrato muscolare adeguato" sarà centrale nel capitolo dedicato al glicogeno.

Esempio pratico

Correre 30 minuti a ritmo moderato o due ore allo stesso ritmo non rappresenta semplicemente eseguire lo stesso esercizio moltiplicato per quattro. Nella seconda situazione diventano molto più rilevanti la progressiva riduzione delle riserve di glicogeno, l'apporto di carboidrati esogeni, l'idratazione e la modulazione insulinica nel tempo.

2.5 Carboidrati e grassi: cooperazione, non alternativa

Nella pratica si parla spesso di "bruciare grassi" o "bruciare zuccheri" come se il muscolo scegliesse un solo carburante. In realtà la produzione energetica deriva quasi sempre da una miscela di substrati. La proporzione cambia con intensità, durata e disponibilità metabolica.

A intensità basse o moderate gli acidi grassi possono contribuire in modo rilevante alla produzione di ATP. All'aumentare dell'intensità cresce progressivamente la dipendenza dai carboidrati. Tale passaggio è funzionale: i carboidrati consentono di sostenere flussi energetici elevati e il glicogeno muscolare può essere mobilizzato molto rapidamente vicino all'apparato contrattile.

Anche la disponibilità dei substrati influenza la scelta. Una riduzione delle scorte di glicogeno può aumentare la dipendenza relativa dai lipidi alle intensità compatibili con tale adattamento, ma può contemporaneamente ridurre la capacità di mantenere elevata potenza. Al contrario, un'elevata disponibilità favorisce l'utilizzo di carboidrati.

Errore concettuale frequente

Confondere la percentuale di energia proveniente dai grassi con la quantità assoluta di grassi ossidati non è giustificato. Un esercizio leggero può utilizzare una percentuale elevata di grassi ma avere un

dispendio energetico modesto. A un'intensità moderata la percentuale può diminuire mentre la quantità assoluta di lipidi ossidati per unità di tempo aumenta.

Applicazione al DMT1

Il fatto che un esercizio utilizzi una quota elevata di carboidrati non implica automaticamente la necessità di introdurre dall'esterno la stessa quantità di CHO. Parte dei carboidrati utilizzati proviene dal glicogeno muscolare e dalla produzione epatica. La quantità che dovrà essere ingerita dipenderà anche dall'esposizione insulinica e dalla capacità del fegato di sostenere il glucosio circolante.

2.6 Carico esterno e carico interno

È importante distinguere cosa fa l'organismo per consentire all'atleta di svolgere un esercizio.

Carico esterno

Comprende le variabili che descrivono il lavoro eseguito:

- velocità e distanza percorse,
- potenza meccanica sviluppata,
- numero e durata degli sprint,
- accelerazioni e decelerazioni,
- dislivello, salti, cambi di direzione e carichi sollevati.

Carico interno

Descrive la risposta dell'organismo a tale lavoro e può comprendere:

- frequenza cardiaca e consumo di ossigeno,
- percezione dello sforzo,
- risposta ventilatoria e lattato,
- disponibilità di glicogeno e substrati,
- attivazione simpatica e risposta ormonale,
- nel DMT1, esposizione insulinica, glicemia e direzione del trend.

La distinzione è essenziale perché lo stesso carico esterno può determinare carichi interni differenti. Un atleta allenato e uno poco allenato possono correre alla stessa velocità ma a percentuali molto diverse della propria capacità aerobica. Analogamente, la stessa sessione può essere metabolicamente differente nello stesso atleta a seconda di qualità del sonno, caldo, recupero, disponibilità di glicogeno o insulina ancora attiva.

A proposito di insulina attiva, nel diabete tipo 1 il carico interno acquisisce una dimensione ulteriore. L'insulina è un segnale metabolico che non si adatta istantaneamente all'esercizio come avviene nel soggetto senza diabete. Per tale motivo, due sedute identiche sul cronometro possono richiedere strategie differenti se vengono iniziate con diverse quantità di insulina attiva. Infatti essa dipende dalla quantità che raggiunge il circolo portale che, se eccessiva, inibisce e, se sotto una soglia critica, esalta la produzione di glucosio da parte del fegato. Il livello di insulina circolante dipende a sua volta non solo dalle dosi iniettate ma anche dalla distanza temporale fra iniezione e inizio dell'esercizio (timing), dalla corretta scelta del sito di iniezione, dalla temperatura, dal grado di umidità e da eventuale lipodistrofia del tessuto sottocutaneo. Inoltre la via di somministrazione sottocutanea, diversa dalla insulina nativa che viene erogata direttamente nel circolo portale, determina per definizione una iperinsulinizzazione del circolo periferico con aumento della estrazione di glucosio, specie a livello muscolare.



Figura 2.2. Lo stesso carico esterno può determinare un carico interno e un contesto metabolico molto diversi.

Due atleti sullo stesso percorso: carico esterno identico ma diverso carico interno. Integrare frequenza cardiaca, intensità relativa, glicogeno e IOB per visualizzare perché la richiesta terapeutica può divergere.

2.7 Allenamento: lo stesso lavoro esterno può costare diversamente

L'allenamento di endurance induce adattamenti che modificano profondamente il modo in cui il muscolo produce energia. Aumentano la densità e la funzione mitocondriale, la capacità ossidativa, la capillarizzazione e l'efficienza nell'utilizzo dei lipidi alle intensità submassimali. A parità di velocità assoluta, l'atleta allenato lavora, inoltre, a una percentuale della propria capacità massima inferiore rispetto a quella di un neofita o di persona poco condizionata.

Tale adattamento può consentire di risparmiare glicogeno durante attività moderate e di sostenere più a lungo l'esercizio prima che la disponibilità di carboidrati diventi limitante. Non significa però che l'atleta allenato non utilizzi carboidrati. Quando l'intensità è sufficientemente elevata, anche il soggetto molto allenato deve aumentare notevolmente il ricorso a glicogeno e glucosio.

La flessibilità metabolica può essere intesa come la capacità di modificare in modo efficace il contributo dei substrati in funzione della richiesta. È un concetto più utile della semplice etichetta "brucia grassi", perché descrive la possibilità di passare da una miscela relativamente ricca di lipidi a una più ricca di carboidrati quando la potenza lo richiede.

Perché tale concetto è importante nel diabete tipo 1?

Due persone che effettuano lo stesso percorso possono avere consumi di substrati differenti e, soprattutto, differenti risposte glicemiche. Il grado di allenamento modifica la richiesta metabolica relativa, ma nel DMT1 a tale variabilità si sovrappongono l'insulina attiva, la glicemia di partenza, la produzione epatica di glucosio e la strategia nutrizionale. Non è quindi possibile dedurre il fabbisogno terapeutico soltanto dal lavoro esterno.

2.8 Fibre muscolari e reclutamento: perché uno sprint cambia tutto

Il muscolo scheletrico non è metabolicamente uniforme. Le fibre differiscono per caratteristiche contrattili e capacità ossidativa. Durante attività leggere vengono reclutate prevalentemente unità motorie adatte a sostenere contrazioni prolungate; quando aumenta la forza richiesta vengono progressivamente coinvolte unità capaci di sviluppare maggiore potenza, con una più elevata dipendenza dalla glicolisi e dal glicogeno.

Il reclutamento non avviene come una sostituzione netta di un tipo di fibra con un altro. Le unità motorie già attive continuano a lavorare mentre se ne aggiungono altre. Di conseguenza, un'accelerazione inserita in una corsa moderata, pur durando soltanto pochi secondi, aumenta improvvisamente la richiesta di ATP e il consumo di glicogeno.

Tale principio spiega perché gli sport intermittenti siano difficili da descrivere attraverso una sola etichetta metabolica. Una partita di calcio comprende periodi a bassa intensità, corsa moderata, accelerazioni-decelerazioni, sprint, salti e fasi statiche. Il metabolismo medio può sembrare aerobico, ma numerosi momenti decisivi dipendono da elevate velocità di glicogenolisi e da una importante risposta adrenergica.

2.9 Dal metabolismo alla glicemia: ciò che il CGM vede e ciò che non vede

Una delle conseguenze più importanti dei concetti precedenti è che il fabbisogno energetico dell'esercizio nasce prima dell'osservazione glicemica. Intensità, durata, potenza richiesta e reclutamento muscolare determinano la necessità di ATP e quindi l'utilizzazione dei substrati. Il CGM non misura tali processi.

Il sensore descrive invece l'andamento del glucosio interstiziale, che rappresenta il risultato netto dell'interazione fra ingresso e uscita di glucosio dal compartimento circolante. Durante esercizio tale bilancio dipende, fra l'altro, dalla captazione muscolare, dalla produzione epatica, dall'insulina presente e dai carboidrati ingeriti.

Per tale motivo una glicemia stabile non dimostra che il muscolo stia consumando pochi carboidrati. Durante una corsa intensa il consumo di glicogeno può essere elevato mentre il fegato mantiene il glucosio circolante. Allo stesso modo, una glicemia in discesa non significa necessariamente che il muscolo abbia improvvisamente aumentato il proprio fabbisogno energetico: può riflettere un'esposizione insulinica eccessiva rispetto alla capacità epatica di compensare la captazione periferica.

Errore concettuale frequente

Usare il CGM come se fosse un misuratore del carburante muscolare è scorretto. Il CGM è indispensabile per la sicurezza e per la gestione terapeutica, ma non informa direttamente sulla quantità di glicogeno residuo né sulla quota di grassi e carboidrati ossidati.

Applicazione al DMT1

La sequenza logica corretta è quindi: prima definire la richiesta metabolica dell'attività, poi valutare come tale richiesta interagisca con esposizione insulinica, produzione epatica, glicemia e trend. Tale ordine concettuale verrà ripreso nei capitoli successivi dedicati a glicogeno, fegato, IOB e fabbisogno di carboidrati.

2.10 Tre esercizi, tre problemi metabolici

Un breve confronto consente di riunire i concetti sviluppati nel capitolo.

Corsa lenta e continua

La richiesta di ATP è relativamente stabile. Il metabolismo ossidativo può sostenere gran parte del lavoro, con contributo combinato di grassi e carboidrati. In presenza di insulina relativamente elevata,

la captazione di glucosio può superare la produzione epatica e favorire una progressiva discesa glicemica.

Sprint di 20-30 secondi

La richiesta di potenza è molto elevata. Fosfocreatina e glicolisi assumono grande importanza, il consumo di glicogeno aumenta rapidamente e la liberazione reattiva di adrenalina può stimolare la produzione epatica di glucosio per la glicogenolisi. La glicemia può quindi non scendere nonostante l'elevato utilizzo muscolare di carboidrati.

Partita di calcio

Il carico è intermittente. Periodi di recupero e corsa moderata si alternano a accelerazioni, sprint, salti e cambi di direzione. Non esiste una singola intensità capace di descrivere l'intera partita. Il consumo di glicogeno può essere importante, mentre la risposta glicemica dipende dalla successione delle fasi, dalla reazione adrenalinica, dall'insulina attiva, dall'apporto di CHO e dal ruolo ricoperto.

Tale confronto anticipa un principio che accompagnerà tutto il volume: classificare uno sport come semplicemente "aerobico" o "anaerobico" è spesso insufficiente per pianificare la gestione del diabete. Occorre capire la struttura reale dell'attività e la sua interazione con la fisiopatologia individuale.

2.11 Quale messaggio importante deve portare con sé il lettore

Prima di parlare di dosi insuliniche, target o quantità di carboidrati è necessario sapere quale problema metabolico l'attività sta imponendo. La domanda iniziale non dovrebbe essere "quanto devo mangiare?" o "quanto devo ridurre l'insulina?", ma "quale richiesta energetica creerà tale esercizio e quali substrati saranno verosimilmente più importanti?".

Soltanto dopo tale prima definizione sarà possibile integrare le variabili specifiche del diabete: quantità di insulina attiva, glicemia e trend, capacità di modulare la quota di insulina basale, disponibilità di CHO e risposta individuale già osservata in precedenza.

Take-home messages

- il muscolo utilizza sempre ATP e deve rigenerarlo continuamente alla velocità richiesta dal lavoro,
- fosfageno, glicolisi e metabolismo ossidativo operano contemporaneamente, mentre cambia il loro contributo relativo,
- con l'aumentare dell'intensità cresce generalmente la dipendenza dai carboidrati e dal glicogeno muscolare,
- durata e allenamento modificano la miscela dei substrati e il costo interno dello stesso lavoro esterno,
- carico esterno e carico interno non sono equivalenti, soprattutto nel DMT1,
- il CGM descrive il comportamento del glucosio interstiziale, non il fabbisogno energetico né le riserve di glicogeno,
- la gestione terapeutica deve quindi partire dalla fisiologia dell'esercizio e soltanto successivamente integrare insulina, glicemia e carboidrati.

Domanda guida

Durante una gara vengono ossidati dei carboidrati nella quantità di 100 g: ciò significa che l'atleta deve mangiarne 100 g?

Messaggio chiave

Il glicogeno è carburante della prestazione; la glicemia è una variabile sistemica. Le due grandezze interagiscono, ma non sono intercambiabili.

Domanda guida

Perché la glicemia può restare stabile mentre il muscolo consuma grandi quantità di glucosio?

Messaggio chiave

La glicemia non è il “serbatoio energetico” dell’atleta. È il risultato momentaneo dell’equilibrio fra ingresso e uscita di glucosio dal circolo.

Domanda guida

Perché l’esercizio aerobico può far scendere rapidamente la glicemia anche quando la dose insulinica era appropriata prima di iniziare?

Messaggio chiave

Durante esercizio non conta soltanto la dose somministrata: conta l’esposizione insulinica effettiva nel momento in cui la fisiologia muscolare cambia.

Riferimenti essenziali per l’approfondimento

Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the crossover concept. *Journal of Applied Physiology*. 1994;76(6):2253–2261.

Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*. 2020;2(9):817–828.

Jensen TE, Richter EA. Regulation of glucose and glycogen metabolism during and after exercise. *Journal of Physiology*. 2012;590(5):1069–1076.

Romijn JA, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology*. 1993;265(3 Pt 1):E380–E391.

Capitolo 3 — Il glicogeno: il carburante strategico

Domanda guida

Se durante una gara vengono ossidati carboidrati nella quantità di 100 g, l'atleta deve necessariamente ingerirne 100 g?

Messaggio chiave

La risposta è no. Il glicogeno rappresenta una delle principali riserve energetiche disponibili durante esercizio e consente al muscolo di utilizzare carboidrati già immagazzinati prima della partenza. Per comprendere la nutrizione dello sportivo con diabete tipo 1 è quindi indispensabile distinguere tre grandezze che spesso vengono confuse: carboidrati ossidati, carboidrati presenti nelle riserve e carboidrati introdotti dall'esterno.

Tale distinzione diventa ancora più importante nel DMT1, perché una quota dei carboidrati assunti durante attività può avere finalità prevalentemente energetiche, mentre un'altra quota può servire soprattutto a compensare un'esposizione insulinica relativamente elevata. La quantità ingerita non è quindi una misura diretta del consumo muscolare di carboidrati.

3.1 Che cos'è il glicogeno e perché è così importante

Il glicogeno è un polimero ramificato di glucosio che permette di immagazzinare carboidrati in forma rapidamente mobilizzabile. Una molecola di glicogeno completamente ossidata può fornire all'organismo 30.000-60.000 molecole di glucosio attivo. Le sedi quantitativamente e funzionalmente più rilevanti sono il muscolo scheletrico e il fegato, ma il loro ruolo non è sovrapponibile.

Il glicogeno muscolare costituisce una riserva locale: la fibra che lo contiene può utilizzarlo per sostenere la contrazione, ma non può liberare direttamente nel sangue quantità significative di glucosio libero. Il fegato, al contrario, può utilizzare a tale scopo le sue riserve di glicogeno e, di fatto, partecipa alla stabilizzazione della glicemia attingendo a quest'ultimo per rendere disponibili all'intero organismo numerose molecole di glucosio.

Questa differenza spiega un apparente paradosso: un atleta può avere glicemia normale e, contemporaneamente, riserve muscolari di glicogeno parzialmente depauperate. La glicemia descrive ciò che accade nel compartimento circolante; non misura le riserve energetiche del muscolo.

3.2 Quanto glicogeno possediamo?

La quantità assoluta di glicogeno è variabile e dipende da massa muscolare, alimentazione, grado di allenamento e attività svolta nei giorni precedenti. Le riserve muscolari sono generalmente molto superiori a quelle epatiche, ma sono distribuite in una grande massa tissutale e destinate soprattutto al lavoro locale. Il fegato contiene una quantità inferiore ma metabolicamente strategica perché contribuisce al mantenimento della glicemia.

Non è quindi utile immaginare il glicogeno come un unico "serbatoio". È più corretto pensare a molti depositi muscolari, utilizzati in relazione alle fibre reclutate, e a un deposito epatico con funzione sistemica.

Errore concettuale frequente

Una glicemia elevata non dimostra che le riserve di glicogeno muscolare siano adeguate. Viceversa, una glicemia bassa non implica necessariamente una deplezione del glicogeno muscolare. Le due informazioni descrivono condizioni differenti.

3.3 Intensità, reclutamento muscolare e consumo di glicogeno

La velocità di utilizzo del glicogeno aumenta al crescere dell'intensità. Quando il muscolo deve produrre ATP rapidamente, i carboidrati permettono una velocità di produzione energetica superiore rispetto agli acidi grassi. Per tale motivo sprint, accelerazioni, salite, cambi di direzione e fasi di elevata potenza richiedono un ricorso particolarmente importante al glicogeno.

Il consumo non è, però, uniforme in tutte le fibre. Le unità motorie maggiormente reclutate durante un determinato gesto utilizzano più intensamente le proprie riserve. In uno sport intermittente, quindi, il costo in glicogeno non dipende soltanto dalla durata complessiva della seduta ma anche dal numero e dall'intensità delle azioni ad alta potenza.

Questo chiarisce perché una partita di calcio e una corsa continua di 90 minuti non siano metabolicamente equivalenti, anche quando il dispendio energetico totale risultasse simile. Nella partita, le ripetute accelerazioni richiedono frequenti aumenti della glicogenolisi muscolare.

3.4 Glicogeno e stato di allenamento

L'allenamento modifica sia la capacità di immagazzinare glicogeno sia il modo in cui quest'ultimo viene utilizzato. Un atleta aerobicamente allenato può sostenere una determinata velocità relativa utilizzando una quota maggiore di energia proveniente dagli acidi grassi rispetto a un soggetto meno allenato. Ciò consente un relativo "risparmio" di glicogeno a intensità submassimali.

Tale adattamento non significa che l'atleta allenato non utilizzi carboidrati. Quando l'intensità aumenta, soprattutto vicino alle soglie più elevate o durante sprint e cambi di ritmo, il glicogeno rimane un substrato fondamentale anche nel soggetto molto allenato.

Per questo la stessa attività esterna può produrre un consumo di glicogeno differente in funzione del livello di allenamento. La velocità assoluta, da sola, non descrive il costo metabolico interno.

3.5 Carboidrati ossidati, glicogeno e carboidrati ingeriti

Durante esercizio, i carboidrati ossidati possono provenire da glicogeno muscolare, glucosio derivato dalla produzione epatica e carboidrati introdotti dall'esterno. Tali fonti convergono nella produzione di energia ma non sono intercambiabili dal punto di vista fisiologico e clinico.

Se un atleta ossida complessivamente 80 g di glucosio durante una prova, non si può dedurre tout-court che egli debba introdurre 80 g di carboidrati. Una quota può provenire dalle riserve accumulate nelle ore e nei giorni precedenti e una quota dalla produzione epatica. L'ingestione durante la prova diventa necessaria quando la durata e l'intensità rendono opportuno sostenere la disponibilità di substrato, quando occorre preservare la prestazione o, nel DMT1, quando la glicemia richiede una correzione preventiva o terapeutica.

Applicazione al DMT1

La quantità di CHO ingerita durante esercizio non deve essere utilizzata retrospettivamente come stima del consumo energetico. Un atleta con maggiore insulina attiva può essere costretto ad assumere più carboidrati pur svolgendo la stessa attività e ossidando quantità simili di substrato.

3.6 Deplezione del glicogeno e prestazione

Quando le riserve di glicogeno si riducono in misura importante, diventa più difficile mantenere elevate velocità di produzione di ATP. La conseguenza pratica è una riduzione della capacità di sostenere intensità elevate, accelerazioni e potenza.

Il fenomeno è particolarmente evidente negli eventi di lunga durata, ma può avere importanza anche negli sport intermittenti quando l'atleta accumula numerose azioni intense. La percezione soggettiva può essere quella di "avere ancora energia" ma non riuscire più a produrre lo stesso ritmo o la stessa potenza.

Nel DMT1 è importante non confondere tale condizione con l'ipoglicemia. La deplezione del glicogeno è un problema di disponibilità intramuscolare; l'ipoglicemia è una riduzione della concentrazione di glucosio nel sangue. Possono coesistere, ma non sono sinonimi.

3.7 Recupero: resintesi del glicogeno e sensibilità insulinica

La fase di recupero non è metabolicamente neutra. Dopo esercizio il muscolo aumenta la captazione di glucosio e la sintesi di glicogeno. Nelle prime ore la resintesi è favorita sia dalla maggiore attività dei trasportatori del glucosio sia dall'aumentata sensibilità insulinica.

Nel soggetto con DMT1 tale fenomeno ha due conseguenze opposte ma complementari. Da un lato, infatti, esso favorisce il recupero energetico; dall'altro può aumentare il rischio di ipoglicemia se l'esposizione insulinica rimane elevata rispetto alle necessità del periodo post-esercizio.

Per tale ragione il pasto di recupero non deve essere pensato soltanto come reintegro calorico. Deve essere inserito nel contesto di una valutazione della quantità di glicogeno utilizzato, del livello di insulina ancora attiva, dell'orario della seduta e della probabilità di una successiva riduzione glicemica.

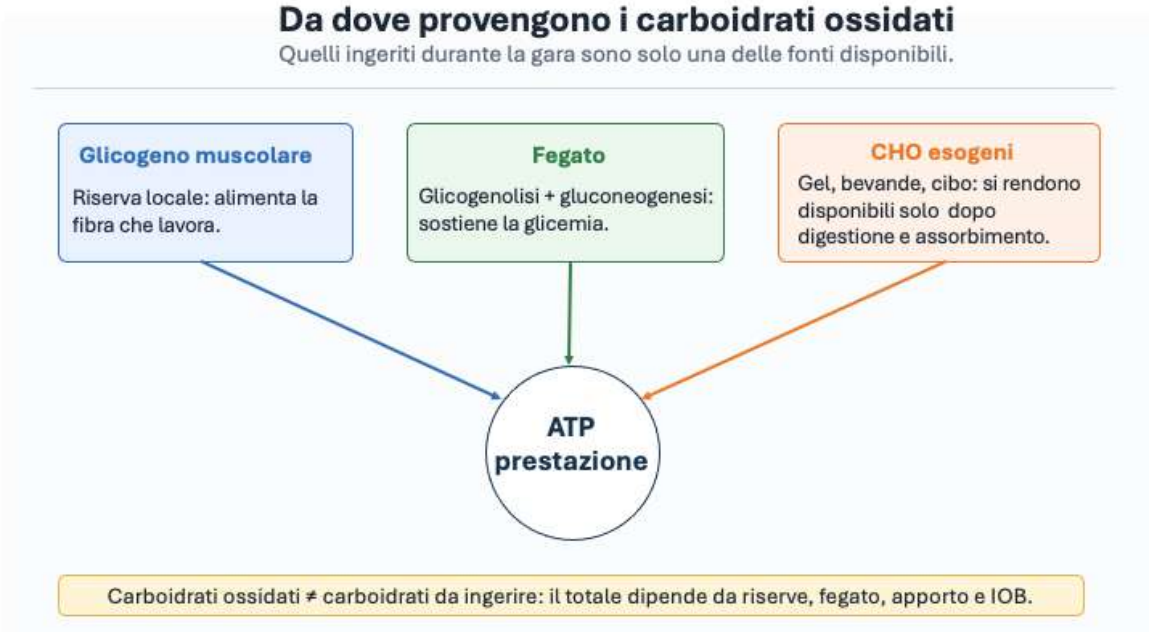


Figura 3.1. Principali fonti dei carboidrati ossidati durante esercizio: glicogeno muscolare, produzione epatica e carboidrati esogeni.

3.8 Supercompensazione: che cosa significa realmente

Dopo una riduzione significativa delle riserve, un'adeguata disponibilità di carboidrati può consentire una resintesi che porta il muscolo a immagazzinare quantità di glicogeno superiori al livello precedente. Tale fenomeno, definito supercompensazione, è alla base di alcune strategie nutrizionali utilizzate negli sport di endurance.

Nel DMT1 la logica fisiopatologica rimane la stessa, ma la strategia deve essere compatibile con un controllo insulinico sicuro. Un'elevata introduzione di carboidrati senza una gestione coerente dell'insulina non migliora automaticamente la disponibilità energetica e può produrre marcata iperglicemia.

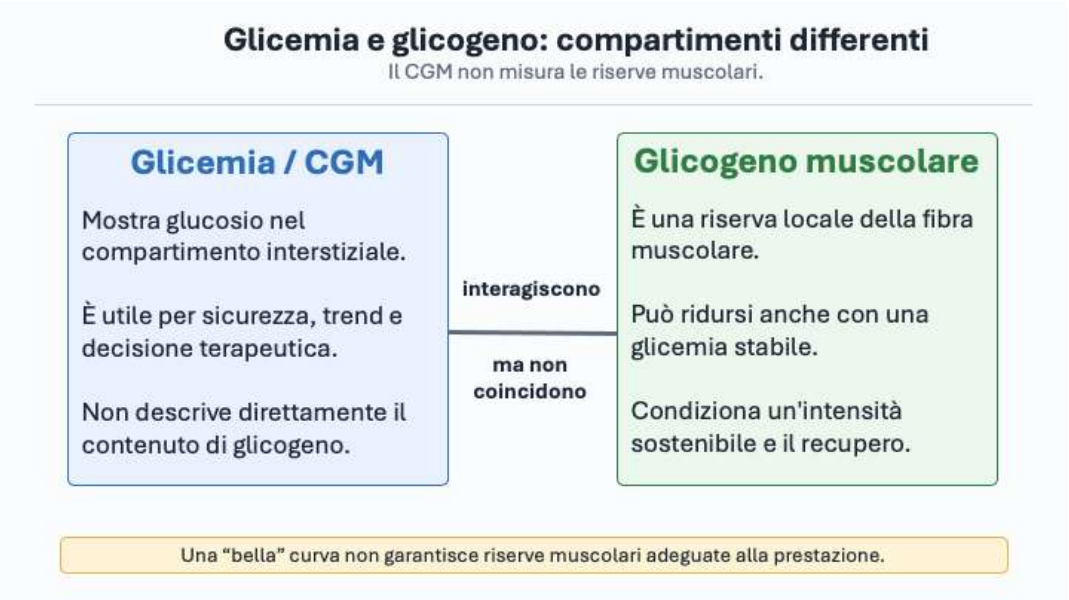


Figura 3.2. Glicemia e glicogeno descrivono compartimenti differenti: il CGM non misura le riserve muscolari.

Take-home messages

- il glicogeno muscolare e quello epatico hanno funzioni differenti,
- l'intensità e il reclutamento delle fibre modificano profondamente la velocità di utilizzo del glicogeno,
- carboidrati ossidati e ingeriti non sono grandezze equivalenti,
- la glicemia non misura le riserve di glicogeno muscolare,
- nel DMT1 una parte dei CHO assunti durante l'esercizio può avere funzione terapeutica oltre che energetica,
- il recupero del glicogeno aumenta la captazione di glucosio e deve essere considerato insieme all'esposizione insulinica post-esercizio come possibile causa di ipoglicemia tardiva (post-exercise late onset hypoglycaemia), specie notturna

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

Burke LM, et al. Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*. 2011;29(Suppl 1):S17–27.

Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*. 2020;2(9):817–828.

Jensen TE, Richter EA. Regulation of glucose and glycogen metabolism during and after exercise. *Journal of Physiology*. 2012;590(5):1069–1076.

Capitolo 4 — Il fegato durante l'esercizio: il partner invisibile del muscolo

Domanda guida

Perché la glicemia può rimanere stabile mentre il muscolo consuma grandi quantità di glucosio?

Messaggio chiave

La risposta richiede di spostare lo sguardo dal muscolo al fegato. Durante esercizio la glicemia è il risultato di un bilancio dinamico: da una parte i tessuti, soprattutto il muscolo, sottraggono glucosio dal circolo; dall'altra il fegato ne immette attraverso glicogenolisi e gluconeogenesi. La stabilità glicemica non indica quindi assenza di consumo, ma equilibrio fra flussi opposti.

Nel DMT1 tale equilibrio è particolarmente delicato perché l'insulina esogena può limitare la produzione epatica proprio nel momento in cui il muscolo aumenta la propria richiesta.

4.1 Produzione epatica di glucosio

Il fegato mantiene la disponibilità sistemica di glucosio attraverso due processi principali: glicogenolisi e gluconeogenesi. La glicogenolisi libera glucosio a partire dalle riserve epatiche; la gluconeogenesi produce nuovo glucosio utilizzando precursori quali lattato, glicerolo e alcuni aminoacidi.

Nelle fasi iniziali di un esercizio di intensità moderata la glicogenolisi epatica può contribuire in misura rilevante. Con il protrarsi dello sforzo e la progressiva riduzione delle riserve, aumenta l'importanza relativa della gluconeogenesi.

La capacità del fegato di adeguare rapidamente la propria produzione è uno dei principali motivi per cui una persona senza diabete può aumentare notevolmente l'utilizzo muscolare di glucosio senza sviluppare necessariamente ipoglicemia.

4.2 Il rapporto insulina-glucagone

Nel soggetto senza diabete, l'inizio dell'esercizio aerobico è accompagnato da una riduzione della secrezione insulinica e da un aumento relativo di glucagone. In chi ha il diabete, quest'ultimo ormone, che già di per sé appare "ipertrofico" e scarsamente responsivo all'inibizione, è un potente stimolatore della glicogenolisi, in prima battuta, e della neoglucogenesi, successivamente. Il risultato è un ambiente ormonale favorevole alla mobilizzazione delle riserve e alla produzione epatica di glucosio e, quindi, all'iperglicemia in chi ha il diabete.

Nel DMT1 l'insulina somministrata per via sottocutanea non può diminuire con la stessa rapidità perché, una volta iniettata, viene inesorabilmente rilasciata per un periodo prestabilito e in rapporto alla quantità. Se la concentrazione insulinica rimane relativamente elevata, il fegato riceve un segnale che tende a limitare la produzione di glucosio, mentre il muscolo, contemporaneamente, aumenta l'utilizzazione del glucosio stesso. Quella appena descritta rappresenta una delle condizioni più favorevoli al calo glicemico durante esercizio aerobico.

Perché accade?

L'insulina agisce su entrambi i lati del bilancio: favorisce la captazione periferica e contemporaneamente inibisce la produzione epatica di glucosio. Durante esercizio tale doppio effetto può diventare molto più rilevante rispetto alla condizione di riposo.

4.3 Catecolamine, intensità e produzione epatica

Quando l'intensità aumenta, adrenalina e noradrenalina (altra "catecolamina" molto simile), quali tipiche espressioni di stress dell'organismo, favoriscono la glicogenolisi epatica e muscolare e possono, così, aumentare rapidamente la disponibilità di glucosio per poi, se lo stimolo persiste, stimolare la neoglucogenesi al pari del glucagone. Nelle attività molto intense la produzione epatica può temporaneamente superare la captazione periferica, determinando stabilità o incremento della glicemia.

Tale risposta è particolarmente evidente in caso di sprint, HIIT, esercizi di forza, fasi decisive di una competizione e situazioni nelle quali allo sforzo fisico si associa una forte attivazione emotiva. La glicemia può quindi aumentare nonostante un consumo muscolare di carboidrati molto elevato.

Ciò spiega perché non esista una regola unica del tipo "l'esercizio abbassa la glicemia". L'effetto dipende dall'equilibrio fra intensità, risposta ormonale, produzione epatica e insulina disponibile.

4.4 Il lattato non è soltanto un prodotto finale

Durante esercizio intenso il lattato prodotto dai muscoli può essere utilizzato da altri tessuti oppure raggiungere il fegato, dove contribuisce alla gluconeogenesi attraverso il percorso metabolico specifico noto come "ciclo di Cori". Il lattato rappresenta quindi anche un substrato di scambio metabolico, non un semplice residuo da eliminare.

Tale concetto aiuta a comprendere quanto il metabolismo durante esercizio sia integrato: muscolo e fegato non lavorano come compartimenti isolati ma scambiano continuamente substrati e segnali.

4.5 Il bilancio dinamico della glicemia

Dal punto di vista pratico possiamo immaginare tre scenari. Se la captazione periferica supera la produzione epatica, la glicemia tende a scendere. Se i due flussi si equivalgono, la glicemia rimane relativamente stabile. Se la produzione epatica supera la captazione, la glicemia può aumentare.

Tale schema è volutamente semplice, ma è molto utile per interpretare curve CGM apparentemente contraddittorie. Un atleta può consumare enormi quantità di carboidrati durante uno sprint finale e mostrare contemporaneamente un aumento della glicemia perché la risposta catecolaminica ha stimolato il fegato in misura ancora maggiore.

Il fenomeno dell'alba

Il fenomeno dell'alba è un adattamento evolutivo e ancestrale prodottosi milioni di anni fa con la finalità di rifornire l'organismo di glucosio, in epoca pre-agricola e quindi con estrema difficoltà ad approvvigionarsi di cibi contenenti carboidrati, glucosio necessario per l'attività muscolare della caccia che consisteva all'epoca nel correre velocemente all'alba per cacciare e quindi per predare ed anche sfuggire a predatori di grossa taglia, rifornimento indispensabile quindi per nutrirsi, sopravvivere e perpetuare la specie. Esso è prodotto da un picco di cortisolo che comincia a manifestarsi, appunto, all'alba, e, come è noto, attiva la neoglucogenesi (produzione di nuovo glucosio a partire da substrati non glicidici). Tale adattamento, che ormai è scritto nei nostri cromosomi, è evidentemente inutile e dannoso nella persona con diabete.

4.6 Esercizio a digiuno e momento della giornata

La risposta epatica varia anche con il contesto. Nell'esercizio mattutino a digiuno l'insulina circolante è spesso relativamente bassa e l'assetto controregolatorio può favorire una maggiore produzione epatica. Alcuni soggetti mostrano pertanto stabilità o incremento glicemico a fronte di una possibile marcata discesa della glicemia con lo stesso tipo di esercizio eseguito dopo un pasto e con bolo prandiale ancora attivo.

Il momento della giornata non è quindi una semplice variabile organizzativa ma modifica il contesto ormonale e insulinico nel quale si svolge la stessa attività.

4.7 Perché il CGM non descrive il fabbisogno energetico

Il CGM misura la concentrazione di glucosio nel compartimento interstiziale e la sua variazione nel tempo. Esso, invece, non misura il consumo energetico, la velocità di ossidazione dei carboidrati, la disponibilità di glicogeno muscolare o la produzione epatica.

La richiesta energetica nasce dall'attività muscolare e precede logicamente l'interpretazione del sensore. Il CGM entra successivamente nel ragionamento clinico, mostrando il risultato dell'interazione fra produzione epatica, captazione periferica, insulina e carboidrati introdotti.

Errore concettuale frequente

Utilizzare una glicemia stabile come prova di scarso consumo di carboidrati comporta errori di valutazione. La stabilità può semplicemente indicare che la produzione epatica sta compensando efficacemente l'utilizzazione periferica.

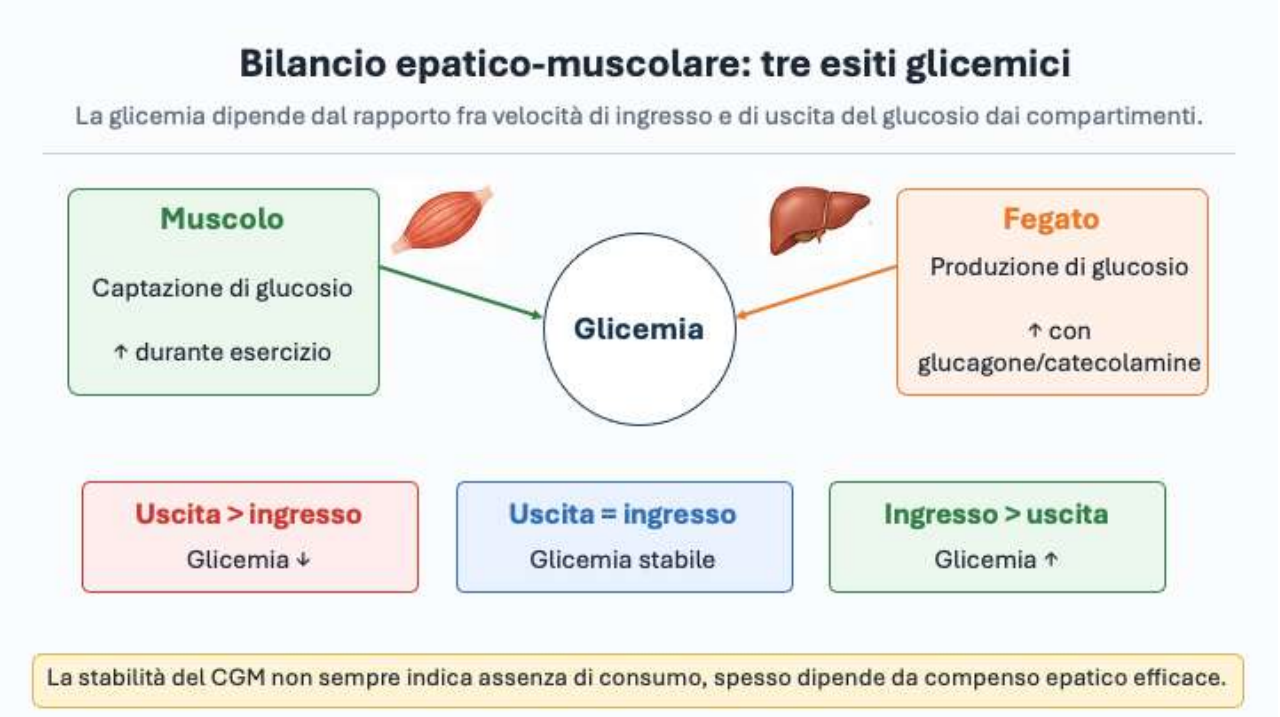


Figura 4.1. Bilancio dinamico fra produzione epatica e captazione periferica: tre possibili direzioni della glicemia.

4.8 Applicazione al DMT1: leggere la curva come un bilancio

Per interpretare una curva di glucosio registrata durante l'attività sportiva è utile chiedersi non soltanto "quanto sta scendendo o salendo il valore del sensore?" ma "quali flussi stanno probabilmente producendo tale andamento?". Una discesa progressiva in esercizio aerobico può suggerire prevalenza della captazione periferica, favorita da una IOB significativa. Una risalita improvvisa durante uno sprint può indicare un aumento della produzione epatica catecolamine-dipendente.

Tale lettura non consente di quantificare con precisione i singoli flussi, ma evita interpretazioni semplicistiche e prepara il terreno alla personalizzazione terapeutica.

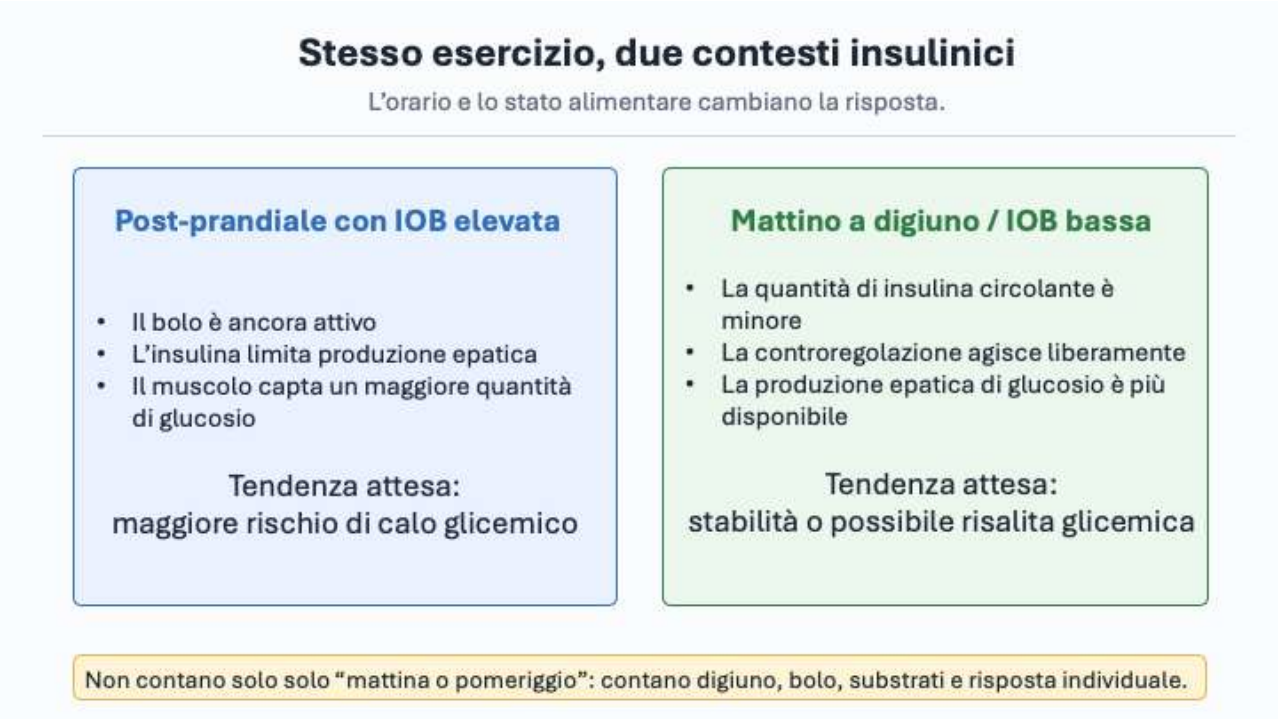


Figura 4.2. Lo stesso esercizio può produrre risposte differenti se cambiano stato alimentare ed esposizione insulinica.

Take-home messages

- la glicemia durante esercizio è il risultato di flussi contrapposti, non una misura diretta del consumo energetico,
- il fegato sostiene la glicemia attraverso glicogenolisi e gluconeogenesi,
- una insulina relativamente elevata può limitare la produzione epatica proprio quando il muscolo aumenta la captazione,
- catecolamine e alta intensità possono aumentare la produzione epatica fino a determinare iperglicemia,
- il CGM descrive l'esito del bilancio, non i singoli meccanismi che lo determinano.

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

Riddell MC, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2017;5(5):377–390.

Romijn JA, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology*. 1993;265(3 Pt 1):E380–E391.

Wasserman DH. Four grams of glucose. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*. 2009;296(1):E11–E21.

PARTE II — INSULINA, NUTRIZIONE E DECISIONE

Capitolo 5 — L'insulina durante l'esercizio: quando una dose corretta a riposo diventa eccessiva

Domanda guida

Perché una quantità di insulina appropriata prima dell'attività può diventare eccessiva pochi minuti dopo l'inizio dell'esercizio?

Messaggio chiave

L'esercizio modifica il contesto nel quale l'insulina agisce. Il muscolo aumenta la captazione di glucosio attraverso meccanismi legati alla contrazione e alla capillarizzazione e diventa contemporaneamente più sensibile all'insulina. Per questo la medesima concentrazione insulinica può avere conseguenze metaboliche molto differenti a riposo e durante attività.

Nel soggetto senza diabete l'organismo risponde riducendo rapidamente la secrezione insulinica. Nel DMT1 tale adattamento non può avvenire allo stesso modo, perché l'insulina esogena già somministrata continua a essere assorbita nel sangue periferico e quindi ad agire prevalentemente nel distretto muscolare.

5.1 La risposta fisiologica nel soggetto senza diabete

All'inizio dell'esercizio aerobico la secrezione pancreatica di insulina diminuisce. Tale riduzione non rappresenta una "mancanza" di insulina, ma un adattamento necessario: favorisce la produzione epatica di glucosio e limita un'eccessiva captazione insulinodipendente mentre il muscolo aumenta già la propria captazione per effetto della contrazione.

Parallelamente aumentano glucagone e catecolamine in misura variabile con intensità e durata. Il risultato è un sistema dinamico capace di fornire energia al muscolo mantenendo, nella maggior parte delle circostanze, la glicemia in un intervallo ristretto.

5.2 Il limite dell'insulina esogena

Nel DMT1 l'insulina viene somministrata nel tessuto sottocutaneo e raggiunge il circolo con una cinetica che non può essere modificata istantaneamente. È possibile ridurre o sospendere l'erogazione futura, ma non rimuovere l'insulina già assorbita né annullare quella ancora presente nel deposito sottocutaneo.

Questa asimmetria temporale è uno dei problemi centrali dell'esercizio: la decisione terapeutica efficace deve spesso essere presa prima che inizi lo sforzo. Intervenire quando il CGM mostra già una rapida discesa può significare agire quando una parte importante del problema è ormai determinata dall'insulina precedentemente somministrata.

5.3 Contrazione muscolare e sensibilità insulinica

La contrazione favorisce la traslocazione dei trasportatori intracellulari GLUT4 verso la membrana esterna attraverso vie parzialmente indipendenti dall'insulina. Dopo esercizio, inoltre, l'aumento della

sensibilità insulinica può rimanere significativo per diverse ore. Il muscolo diventa quindi capace di captare glucosio con maggiore efficienza sia durante sia dopo la seduta.

Nel DMT1 tale vantaggio fisiologico può trasformarsi in rischio di ipoglicemia se l'insulina disponibile rimane eccessiva rispetto alla nuova sensibilità del tessuto.

5.4 Esercizio aerobico: il contesto più favorevole alla discesa glicemica

Durante esercizio aerobico continuo di intensità moderata la captazione muscolare aumenta progressivamente, mentre la produzione epatica deve adattarsi per mantenere la glicemia. Se l'insulina circolante è relativamente elevata, il muscolo riceve un ulteriore stimolo alla captazione e il fegato viene contemporaneamente inibito nella produzione di glucosio.

La combinazione dei due effetti spiega perché una corsa, una pedalata o una lunga camminata possano produrre una discesa glicemica molto più marcata quando iniziano nelle ore successive a un bolo prandiale.

Applicazione pratica

Ridurre i carboidrati da assumere durante esercizio non significa necessariamente "mangiare meno": spesso significa arrivare all'attività con un'esposizione insulinica più appropriata.

5.5 Esercizio intenso, forza e sport intermittenti

Negli esercizi molto intensi la risposta è differente. L'aumento catecolaminico può stimolare rapidamente la produzione epatica di glucosio e ridurre o invertire la tendenza alla discesa. Per tale motivo sprint, HIIT (l'acronimo significa High Intensity Interval Training ed indica un'attività in cui si alternano fasi anaerobiche massimali, per lo più alattacide, con fasi aerobiche di medio-bassa intensità), pesistica e fasi competitive ad alta intensità possono determinare stabilità o iperglicemia anche quando il consumo muscolare di carboidrati è elevato.

Negli sport intermittenti, come calcio, tennis o basket, fasi aerobiche e azioni ad alta intensità si alternano. L'effetto glicemico complessivo dipende quindi dalla combinazione di IOB, durata, frequenza degli sprint, risposta catecolaminica e livello di allenamento.

5.6 La finestra pre-esercizio

Il periodo che precede l'esercizio è spesso più importante dei primi minuti della seduta. Il bolo del pasto precedente, una correzione recente, la quota basale già assorbita e la tempistica di un eventuale target per esercizio determinano l'esposizione insulinica con la quale l'atleta entrerà nella sessione.

La prevenzione efficace dell'ipoglicemia comincia quindi per lo più 90-120 minuti prima dell'attività programmata, soprattutto nei sistemi AID, e ancora prima nel ragionamento relativo ai pasti e ai boli. Il principio non è ottenere una assenza completa di insulina ma una quantità adeguata al nuovo contesto metabolico.

5.7 Basale e bolo non hanno lo stesso peso in tutte le situazioni

Nel periodo immediatamente successivo a un pasto, il bolo prandiale può rappresentare la componente dominante dell'esposizione insulinica. In un esercizio lontano dai pasti assume invece maggiore importanza la componente basale. La strategia deve quindi identificare quale quota di insulina stia realmente guidando il rischio del momento.

Tale distinzione aiuta anche a comprendere perché una semplice riduzione della basale avviata pochi minuti prima dell'esercizio possa essere insufficiente quando è ancora presente un residuo di bolo significativo.

5.8 Il post-esercizio: quando l'effetto insulinico cambia di nuovo

Dopo la seduta il muscolo continua a ricostituire le riserve di glicogeno e mantiene una maggiore sensibilità insulinica. Di conseguenza, dosi abituali di insulina prandiale o basale possono produrre un effetto maggiore rispetto a quanto si può osservare in un giorno di relativa sedentarietà.

Il rischio non è uniforme. Dipende da durata e intensità dell'esercizio, quantità di glicogeno utilizzata, orario, alimentazione post-esercizio e insulina residua. Le attività serali meritano particolare attenzione perché una parte della fase di maggiore sensibilità può coincidere con il sonno.

5.9 Insulina, prestazione e sicurezza

Una strategia insulinica efficace non deve essere valutata soltanto sulla capacità di evitare l'ipoglicemia. Una riduzione eccessiva può favorire iperglicemia, aumento della produzione epatica di glucosio, chetogenesi e peggioramento della performance. L'obiettivo è mantenere una disponibilità di insulina minima ma sufficiente a garantire equilibrio metabolico senza produrre un'esposizione eccessiva rispetto alla richiesta dell'esercizio in quanto, se in completa assenza di insulina non si aprono i canali di afflusso del glucosio nelle cellule, una volta che il meccanismo è avviato, l'afflusso stesso si mantiene grazie a un forte apporto sanguigno e a tutto quanto abbiamo già descritto come effetto extra-insulinico di potenziamento della captazione muscolare di fonti energetiche da parte dell'esercizio fisico come tale.

In tale prospettiva, la "dose giusta" non è una quantità fissa ma una relazione fra insulina disponibile e contesto fisiologico.



Figura 5.1. Durante esercizio la secrezione insulinica endogena può ridursi rapidamente, mentre l'insulina esogena già somministrata persiste.

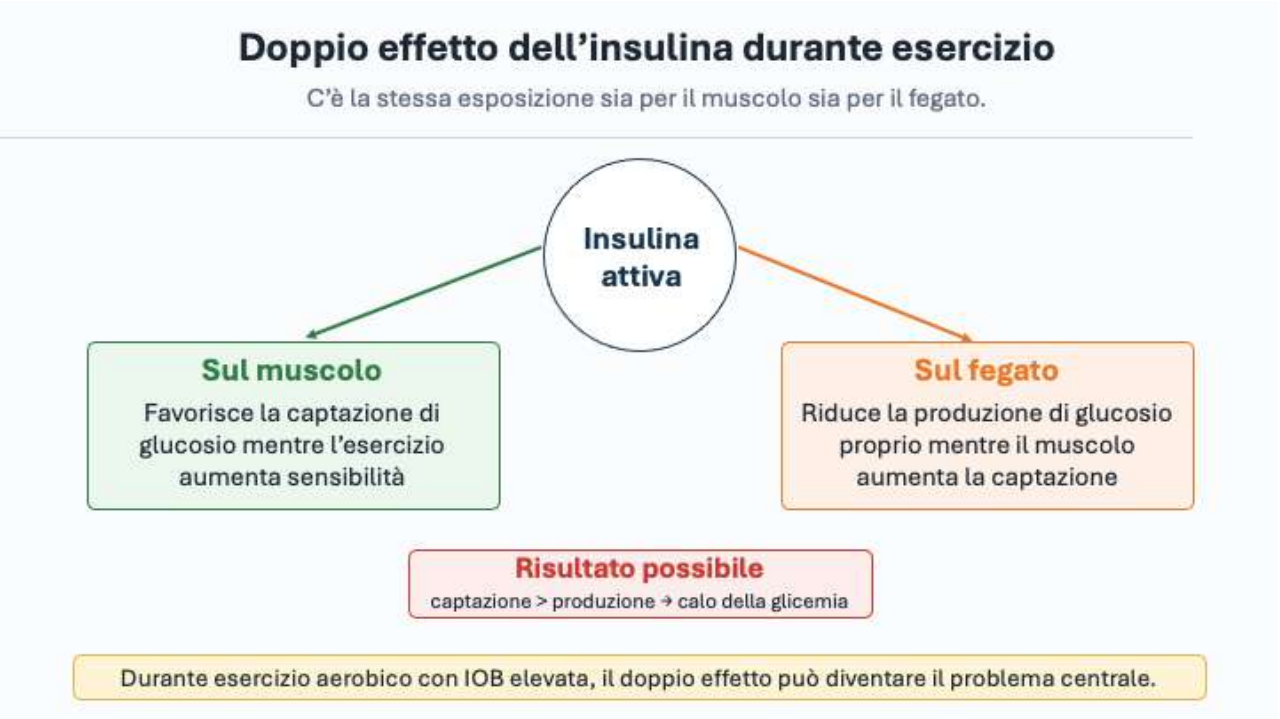


Figura 5.2. L'insulina può favorire la captazione periferica e contemporaneamente limitare la produzione epatica di glucosio.

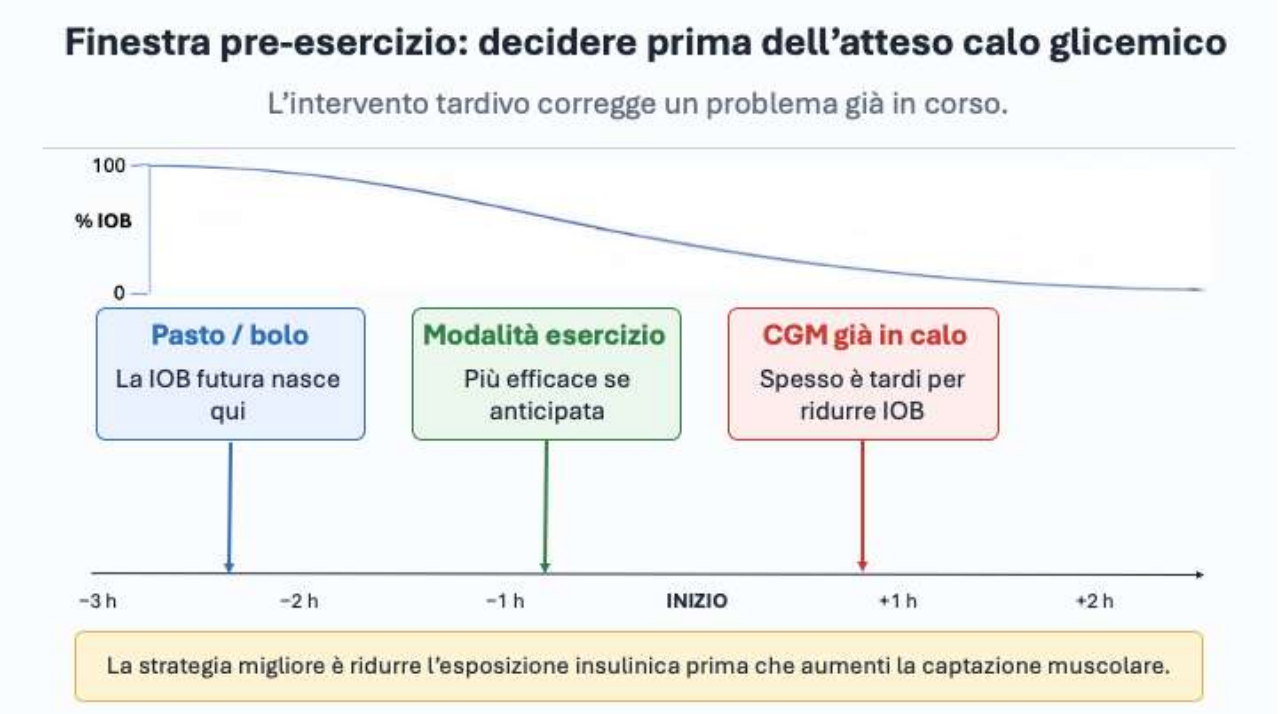


Figura 5.3. La finestra pre-esercizio: la prevenzione anticipata può essere più efficace di una correzione tardiva.

5.10 Dal concetto di dose al concetto di esposizione insulinica

Nella pratica quotidiana si tende a ragionare in unità somministrate. Durante esercizio è spesso più utile pensare in termini di esposizione: quanto effetto insulinico è ancora presente nel momento in cui cambiano captazione muscolare, produzione epatica e sensibilità del tessuto.

Tale passaggio concettuale prepara direttamente al capitolo successivo sull'IOB. L'IOB visualizzata non coincide perfettamente con l'effetto biologico, ma rappresenta uno strumento utile per stimare una parte della storia insulinica recente.

Take-home messages

- l'esercizio cambia il contesto nel quale agisce l'insulina,
- nel soggetto senza diabete la secrezione insulinica si riduce rapidamente durante esercizio aerobico,
- nel DMT1 l'insulina già somministrata non può essere rimossa e può diventare relativamente eccessiva,
- l'esercizio aerobico e quello intenso possono produrre effetti glicemici differenti per il diverso equilibrio fra captazione e produzione epatica,
- la gestione efficace comincia spesso nella finestra pre-esercizio,
- l'obiettivo non è ridurre l'insulina al minimo, ma ottenere un'esposizione appropriata al contesto.

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

Colberg SR, et al. Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 2016;39(11):2065–2079.

Jensen TE, Richter EA. Regulation of glucose and glycogen metabolism during and after exercise. *Journal of Physiology*. 2012;590(5):1069–1076.

Riddell MC, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2017;5(5):377–390.

Capitolo 6 — Insulina attiva (IOB): la variabile invisibile che cambia lo sport

Domanda guida
Perché due atleti con diabete tipo 1, dello stesso peso e dello stesso livello di allenamento, possono eseguire la stessa attività fisica e avere bisogno di quantità completamente diverse di carboidrati?

Messaggio chiave
La risposta più intuitiva sarebbe attribuire tale differenza al consumo energetico. Spesso, però, una parte rilevante della variabilità dipende dalla quantità di insulina biologicamente attiva durante lo sforzo fisico. L'esercizio modifica infatti la relazione fra captazione muscolare del glucosio, produzione epatica, disponibilità di glicogeno e carboidrati introdotti dall'esterno.

6.1 Che cosa intendiamo per IOB?

IOB significa Insulin on Board, cioè insulina ancora attiva nell'organismo dopo una precedente somministrazione. Il termine viene spesso utilizzato come se descrivesse una grandezza univoca, ma è utile distinguere almeno tre livelli.

IOB visualizzata dal dispositivo

È la quantità che il microinfusore o il sistema AID stima essere ancora attiva sulla base dell'insulina somministrata, del tempo trascorso, della durata d'azione impostata e delle regole specifiche dell'algoritmo.

IOB farmacocinetica

È la quota di insulina sottocutanea non ancora completamente assorbita o metabolizzata.

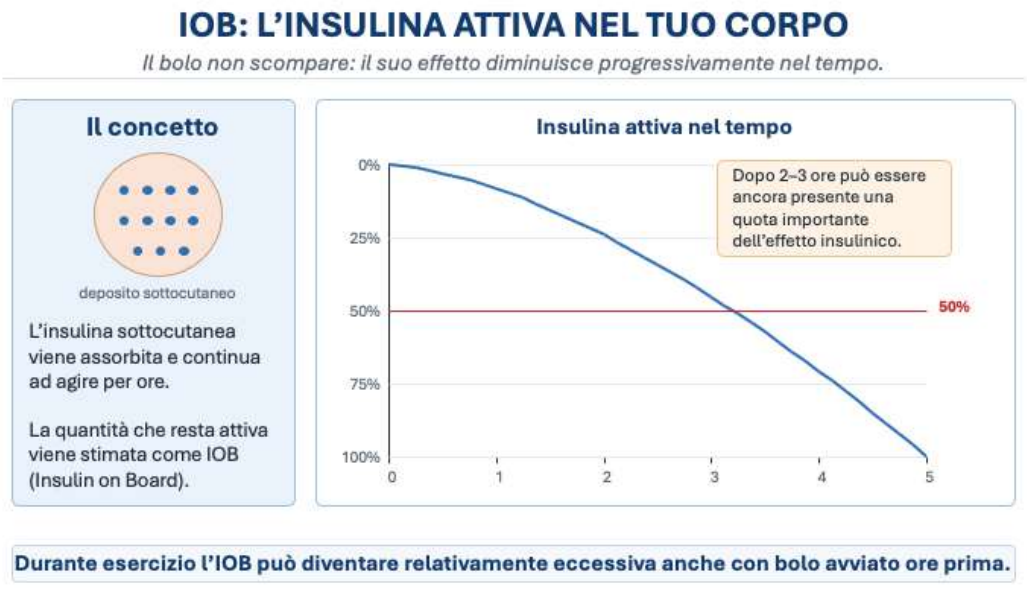


Figura 6.1. Come possiamo immaginare il rapporto fra insulina iniettata in un certo momento e IOB nel tempo.

IOB biologica

È la quota che, in un determinato momento, continua a esercitare un effetto metabolico. Le tre grandezze non coincidono necessariamente; il valore sul display è quindi una stima clinicamente utile, non una misura diretta dell'effetto insulinico.

6.2 Perché l'esercizio amplifica l'effetto dell'insulina

Durante attività aerobica il muscolo aumenta la captazione di glucosio attraverso meccanismi legati alla contrazione e aumenta contemporaneamente la propria sensibilità insulinica. Nel soggetto senza diabete la secrezione pancreatica si riduce rapidamente; nel diabete tipo 1 l'insulina già somministrata non può invece essere ritirata dal circolo. Ne deriva che una quantità appropriata a riposo può diventare relativamente eccessiva durante esercizio.

6.3 Consumo di carboidrati e necessità di introdurli non sono la stessa cosa

Supponiamo che durante una determinata attività il muscolo ossidi complessivamente 80 g di carboidrati. Tale dato non implica che l'atleta debba ingerire 80 g di CHO. Una parte dell'energia deriva dal glicogeno muscolare, una parte dal glucosio prodotto dal fegato e soltanto una quota dai carboidrati introdotti dall'esterno.

A parità di richiesta energetica, una IOB elevata può aumentare la captazione periferica e ridurre la produzione epatica di glucosio. Lo stesso esercizio può quindi richiedere più CHO introdotti dall'esterno per mantenere la glicemia, non perché il muscolo consumi più energia, ma perché una quota di tali carboidrati viene utilizzata anche per compensare l'effetto insulinico.

6.4 Due funzioni dei carboidrati durante lo sport

Per il ragionamento clinico è utile distinguere due funzioni, pur sapendo che nella pratica possono sovrapporsi.

Carboidrati energetici

- sostengono l'intensità e la durata dell'esercizio, nonché il volume e la densità
- contribuiscono alla disponibilità di substrato
- favoriscono il mantenimento delle riserve di glicogeno nelle attività prolungate.

Carboidrati terapeutici

- prevengono o trattano l'ipoglicemia
- compensano un'esposizione insulinica relativamente eccessiva
- correggono una tendenza glicemica negativa quando appropriato.

Un atleta che assume 60 g/h per evitare l'ipoglicemia non necessariamente ossida 60 g/h in più rispetto a un altro atleta. Può semplicemente trovarsi in una condizione di maggiore esposizione insulinica.

6.5 Il modello concettuale IOB - CHO

A parità di tipo, intensità e durata dell'esercizio e di grado di allenamento, l'aumento dell'esposizione insulinica tende ad aumentare la probabilità di dover utilizzare CHO con funzione terapeutica. Tale modello è qualitativo e non deve essere trasformato in una relazione matematica rigida.

6.6 IOB e temporalità dell'esercizio

Non conta soltanto quanta insulina è attiva, ma anche quando l'esercizio viene eseguito rispetto alla somministrazione. Subito dopo il pasto l'insulina prandiale può trovarsi vicino al massimo effetto; a due o tre ore la quota residua è inferiore ma ancora rilevante; lontano dai pasti la necessità di CHO terapeutici può essere minore, soprattutto quando la basale o l'AID sono stati adattati in anticipo.

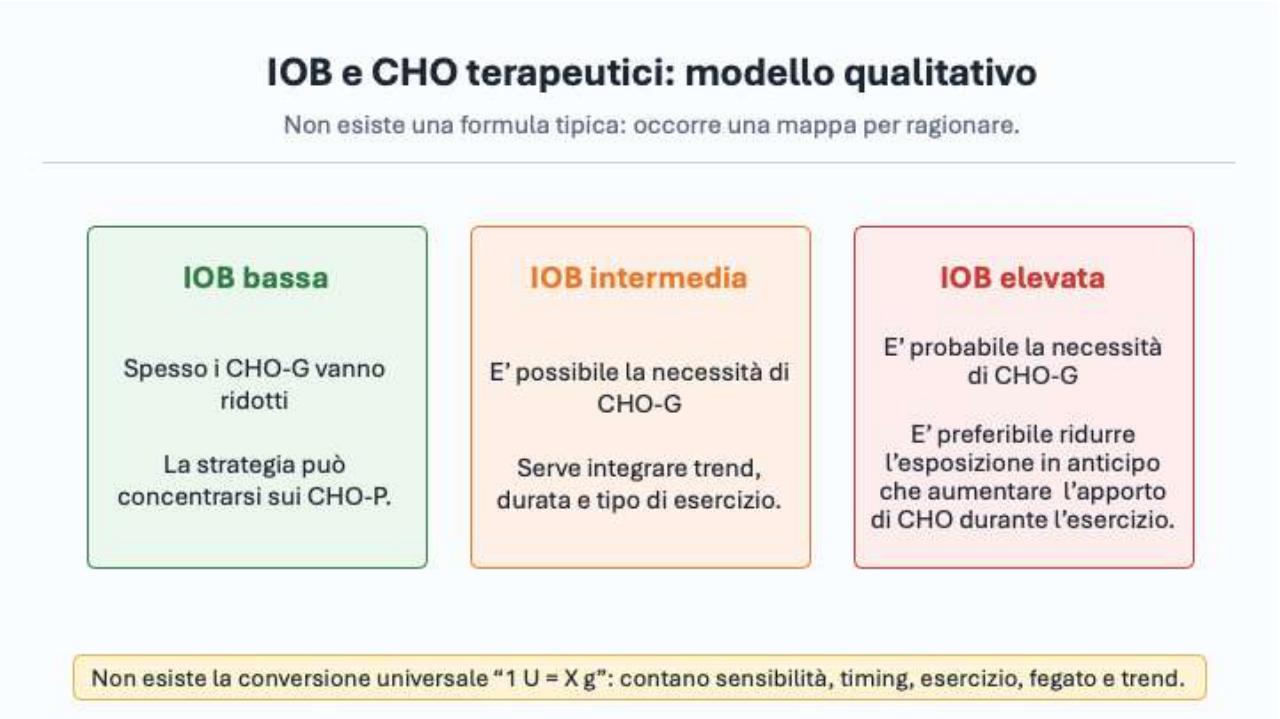


Figura 6.2. Relazione qualitativa fra esposizione insulinica e probabilità di necessitare CHO con funzione terapeutica.

Cautela metodologica

Non esiste una conversione universale del tipo "1 U di IOB = X grammi di CHO". Il fabbisogno dipende anche da peso, sensibilità insulinica, tipo e timing dell'insulina, glicemia iniziale, trend CGM, intensità, durata, disponibilità di glicogeno, allenamento, temperatura, risposta adrenergica e momento della giornata.

6.7 IOB e sistemi AID

I sistemi AID possono ridurre l'insulina futura, ma non eliminare quella già somministrata. Tale limite spiega perché l'attivazione anticipata del target esercizio e la gestione del bolo prandiale precedente siano spesso più efficaci di un intervento effettuato quando la glicemia ha già iniziato a scendere. I diversi sistemi rappresentano e utilizzano l'IOB con logiche differenti, ma la fisiologia sottostante rimane la stessa.

6.8 IOB e terapia basal-bolus

Il medesimo principio vale nella terapia multi-iniettiva. Cambia la possibilità di modulazione, non la fisiologia. Con MDI occorre ragionare soprattutto sul bolo precedente, sulla dose basale, sul timing dell'attività e sull'eventuale necessità di CHO preventivi.

6.9 Un esempio pratico

Consideriamo tre atleti molto allenati impegnati nella stessa 10 km. A parità approssimativa di richiesta energetica, il primo parte con IOB elevata e necessita di CHO terapeutici ripetuti; il secondo ha IOB moderata e richiede un'integrazione inferiore; il terzo parte con esposizione insulinica minima e può non necessitare di CHO terapeutici durante la prova. I valori numerici eventualmente utilizzati in una figura didattica devono essere presentati come esempi e non come algoritmo terapeutico.

6.10 Quando poca insulina diventa troppo poca

Il principio di riduzione insulinica non deve essere estremizzato. Un'esposizione insufficiente può favorire iperglicemia, eccessiva produzione epatica di glucosio, chetogenesi e peggioramento della prestazione. L'obiettivo non è raggiungere "IOB zero", ma ottenere un'esposizione insulinica appropriata alla specifica attività e al singolo atleta.

6.11 Esercizio intenso: quando il modello cambia

Negli esercizi molto intensi, intermittenti, di forza o con forte componente competitiva, l'attivazione catecolaminica può aumentare significativamente la produzione epatica di glucosio. La glicemia può quindi rimanere stabile o aumentare anche in presenza di elevato consumo muscolare di carboidrati. Il modello IOB-CHO deve essere interpretato insieme all'intensità e alla risposta ormonale.

6.12 Il post-esercizio

La fine dell'attività non coincide con la fine dell'effetto metabolico. Aumentata sensibilità insulinica, risintesi di glicogeno e maggiore captazione muscolare possono persistere nelle ore successive. Il rischio di ipoglicemia post-esercizio dipende quindi da esposizione insulinica, durata e intensità della prova, momento della giornata e strategia di recupero.

6.13 Che cosa deve imparare l'atleta

La pianificazione dovrebbe distinguere due domande consecutive: quanti carboidrati richiede metabolicamente l'attività prevista e quanti carboidrati aggiuntivi possono rendersi necessari per mantenere la stabilità glicemica in presenza di una determinata esposizione insulinica.

1. Esercizio	Tipo di attività, intensità, durata, frequenza, volume e densità
2. Richiesta metabolica	Dispendio energetico e utilizzo dei substrati
3. Esposizione insulinica	IOB prevista e timing delle ultime somministrazioni
4. Stato glicemico	Glicemia di partenza e trend CGM
5. Rischio glicemico	Probabile direzione della risposta durante l'attività
6. Strategia	Modifica insulinica e quota di CHO eventualmente necessaria

Tabella 6.1. Le nozioni fondamentali per un atleta con DMT1

La richiesta energetica è quindi determinata prima di tutto dall'attività. Il CGM non quantifica tale richiesta: interviene successivamente nel ragionamento, aiutando a comprendere come la domanda metabolica interagisca con l'esposizione insulinica e con la disponibilità di glucosio circolante.

6.14 Take-home messages

- l'IOB visualizzata è una stima utile, ma non coincide necessariamente con l'effetto biologico dell'insulina
- la richiesta energetica dell'esercizio e la necessità terapeutica di CHO sono concetti differenti
- a parità di esercizio, maggiore esposizione insulinica può aumentare la necessità di CHO terapeutici
- ridurre eccessivamente l'insulina può essere altrettanto problematico quanto iniziare con un eccesso
- la strategia deve integrare fisiologia dell'esercizio, IOB, glicemia, trend e contesto individuale.

Capitolo 7— Nutrizione, insulina e stabilità glicemica nello sport con diabete tipo 1

Principio guida

Prima si definisce ciò che l'esercizio richiede all'atleta. Successivamente si stabilisce come adattare insulina, carboidrati e tecnologia affinché il diabete interferisca il meno possibile con tale richiesta. Il controllo glicemico è un requisito della strategia, non il suo unico obiettivo.

7.1 Una sola parola per due problemi diversi - Due fabbisogni di carboidrati: prestazione e stabilità glicemica

Nel linguaggio quotidiano dell'atleta con diabete tipo 1 la frase «devo prendere carboidrati» può indicare due necessità profondamente differenti. La prima nasce dal lavoro muscolare: occorre rendere disponibile una quantità di substrato compatibile con durata e intensità della prestazione. La seconda nasce dalla terapia: occorre talvolta introdurre glucidi per contrastare una caduta glicemica favorita dall'insulina circolante. Confondere i due problemi conduce facilmente a strategie apparentemente efficaci sul CGM ma non necessariamente ottimali per la prestazione.

Per ragionare in modo ordinato proponiamo due sigle esclusivamente didattiche. CHO-P indica i carboidrati assunti con finalità prevalentemente prestativa; CHO-G indica quelli assunti prevalentemente per la gestione glicemica. Non si tratta di molecole differenti. Cambia la ragione per cui vengono assunte.

7.2 CHO-P: partire dall'esercizio, non dal CGM

Il fabbisogno prestativo dipende dalla disciplina, dalla durata, dall'intensità relativa, dallo stato di allenamento, dalla disponibilità di glicogeno, dall'alimentazione precedente e dall'obiettivo della seduta. Una corsa facile di quaranta minuti, una 10 km corsa al limite, una granfondo ciclistica e una maratona non possono essere ricondotte allo stesso schema soltanto perché sono attività di endurance.

La prima domanda dovrebbe pertanto essere: se tale atleta non avesse il diabete, quale strategia nutrizionale sarebbe ragionevole per sostenere la prestazione prevista? Solo dopo avere risposto si sovrappone il problema insulinico.

7.3 CHO-G: quando i carboidrati compensano l'insulina

Nel DMT1 l'insulina esogena non può ridursi con la rapidità con cui, nel soggetto senza diabete, diminuisce la secrezione endogena all'inizio dell'esercizio. Se l'attività aumenta la captazione muscolare di glucosio mentre permane una IOB rilevante, può diventare necessario introdurre carboidrati anche quando il lavoro muscolare, di per sé, non li richiederebbe in quella quantità.

Le raccomandazioni sull'esercizio nel DMT1 mostrano chiaramente che, in condizioni di relativa iperinsulinemia dopo un bolo, possono rendersi necessari 30–60 g/h di carboidrati. Una riduzione appropriata dell'esposizione insulinica può ridurre o talvolta eliminare una parte di tale necessità. Questo dato è fondamentale: la quantità ingerita non misura automaticamente il costo energetico dell'esercizio.

7.4 Quattro scenari

- CHO-P elevati, CHO-G bassi: attività lunga o intensa con terapia ben adattata; gran parte dei carboidrati alimenta la prestazione.
- CHO-P bassi, CHO-G elevati: attività relativamente breve ma iniziata con IOB eccessiva; l'atleta assume CHO soprattutto per non vedere la glicemia scendere rapidamente.
- CHO-P e CHO-G elevati: attività lunga associata a esposizione insulinica ancora importante; la gestione diventa complessa e il carico gastrointestinale (cioè i CHO sciolti in un liquido come l'acqua che, specie se molto concentrati, possono talora provocare nausea, disturbi addominali o diarrea) può aumentare.
- CHO-P e CHO-G bassi: attività breve o metabolicamente poco perturbante, svolta con esposizione insulinica adeguata.

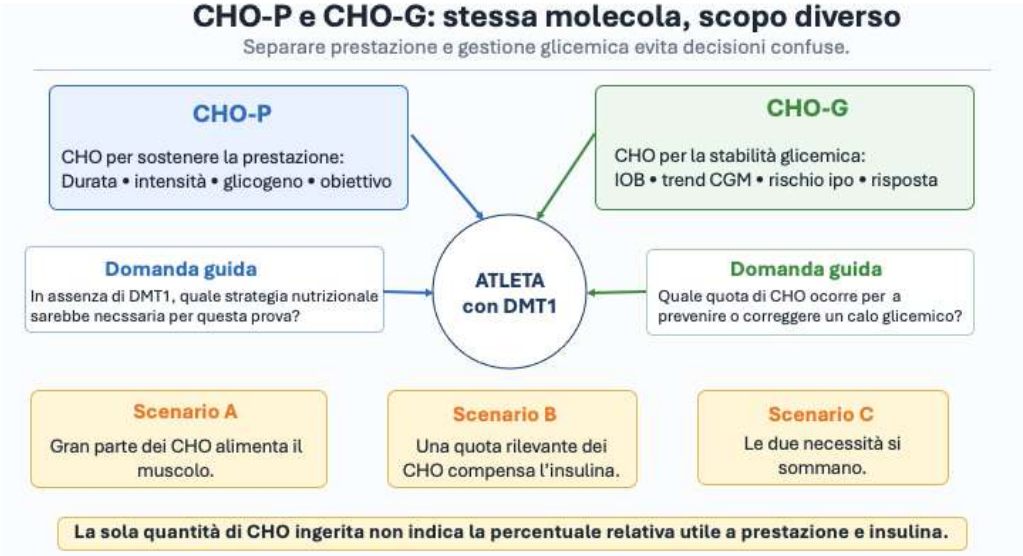


Figura 7.1. Differenza fra carboidrati per la prestazione e per l'equilibrio glicemico

Alimentare il muscolo o alimentare l'insulina?

La domanda non vuole contrapporre nutrizione e terapia. Essa serve a comprendere perché un atleta stia assumendo carboidrati.

Se una quota crescente viene utilizzata soltanto per compensare l'insulina, può essere più razionale correggere la strategia insulinica che continuare ad aumentare l'apporto glucidico.

7.5 Il CGM non stabilisce il fabbisogno energetico

Il CGM descrive la dinamica del glucosio interstiziale. Non misura il glicogeno muscolare, l'ossidazione dei substrati o la disponibilità energetica complessiva. Un profilo glicemico stabile può quindi coesistere con disponibilità glucidica insufficiente alla prestazione. Viceversa una strategia nutrizionale adeguata può produrre temporanee escursioni glicemiche che richiedono un migliore adattamento terapeutico.

L'obiettivo clinico non consiste nel rendere il grafico esteticamente perfetto a qualsiasi costo. Consiste nel permettere all'atleta di sostenere il lavoro programmato con una sicurezza glicemica ragionevole.

Capitolo 8 — Carboidrati: dalla struttura alla disponibilità durante l'esercizio

8.1 Che cosa significa monosaccaride

Un monosaccaride è un carboidrato costituito da una singola unità zuccherina che non può essere ulteriormente idrolizzata in carboidrati più semplici. Glucosio, fruttosio e galattosio sono monosaccaridi. Disaccaridi e polisaccaridi devono invece essere digeriti fino a unità assorbibili prima di attraversare l'epitelio intestinale.

Nel ragionamento sportivo è utile non usare come sinonimi carboidrati, glucosio e glicogeno. I carboidrati sono una categoria nutrizionale; il glucosio è uno specifico monosaccaride e rappresenta un nodo centrale del metabolismo energetico; il glicogeno è la forma polimerica nella quale unità glucosidiche vengono immagazzinate soprattutto in muscolo e fegato.

8.2 Assorbire non significa ancora ossidare

Affinché un carboidrato ingerito contribuisca alla produzione di energia durante esercizio deve essere scisso in unità monomeriche di glucosio, assorbito dall'intestino, raggiungere la circolazione o essere trasformato a livello splancnico e infine diventare disponibile per i tessuti che lo ossidano. La velocità di ingestione non coincide quindi automaticamente con la velocità di utilizzazione. Quanto appena descritto spiega perché molte persone con diabete, dopo aver assunto carboidrati anche semplici a correzione di un'ipoglicemia, non riescono a comprendere perché non vedano rapidamente aumentare la glicemia (specie in presenza di elevati livelli di insulina circolante).

8.3 SGLT1 e GLUT5: perché glucosio e fruttosio possono collaborare

Il glucosio viene assorbito prevalentemente attraverso il cotrasportatore sodio-glucosio SGLT1. Il fruttosio utilizza prevalentemente GLUT5. Quando l'apporto glucidico è moderato, la combinazione di più monosaccaridi offre vantaggi limitati rispetto a una fonte basata sul solo glucosio. Quando l'ingestione diventa elevata e la capacità della via del glucosio rappresenta un collo di bottiglia, l'aggiunta di fruttosio consente di utilizzare una seconda via di trasporto e può aumentare l'ossidazione dei carboidrati esogeni.

Non è corretto descrivere tale fenomeno come una sequenza temporale semplice, glucosio subito e fruttosio dopo. I due zuccheri vengono assorbiti attraverso vie differenti nello stesso intervallo temporale. Il fruttosio subisce poi un importante metabolismo intestinale ed epatico che gli consente di contribuire alla disponibilità di glucosio e lattato durante esercizio.

8.4 Maltodestrine

Le maltodestrine sono polimeri del glucosio ottenuti dall'idrolisi dell'amido e contengono alcune migliaia di molecole di glucosio. Sono molto utilizzate nelle bevande e nei gel sportivi perché permettono di fornire quantità considerevoli di carboidrati senza aumentare l'intensità del sapore dolce quanto equivalenti quantità di zuccheri semplici. Dal punto di vista dell'assorbimento finale alimentano comunque la via del glucosio e non utilizzano un trasportatore intestinale alternativo.

8.5 Osmolalità, concentrazione e tollerabilità

Spesso un atleta ha bisogno di integrare quantità di carboidrati molto elevate e, per non assumere una quantità eccessiva di acqua, prepara delle soluzioni concentrate (ipertoniche). Tuttavia una bevanda molto concentrata non è necessariamente più efficace. Quantità elevate di soluti possono rallentare lo svuotamento gastrico o favorire sintomi gastrointestinali in soggetti predisposti. Composizione della miscela, volume di liquidi, temperatura ambientale, intensità dell'esercizio e abitudine dell'atleta interagiscono fra loro. La strategia va, quindi, provata in allenamento.

TIPI DI CARBOIDRATI: ASSORBIMENTO E UTILIZZO

Una guida pratica per comprendere rapidità, tollerabilità e ruolo durante l'esercizio.

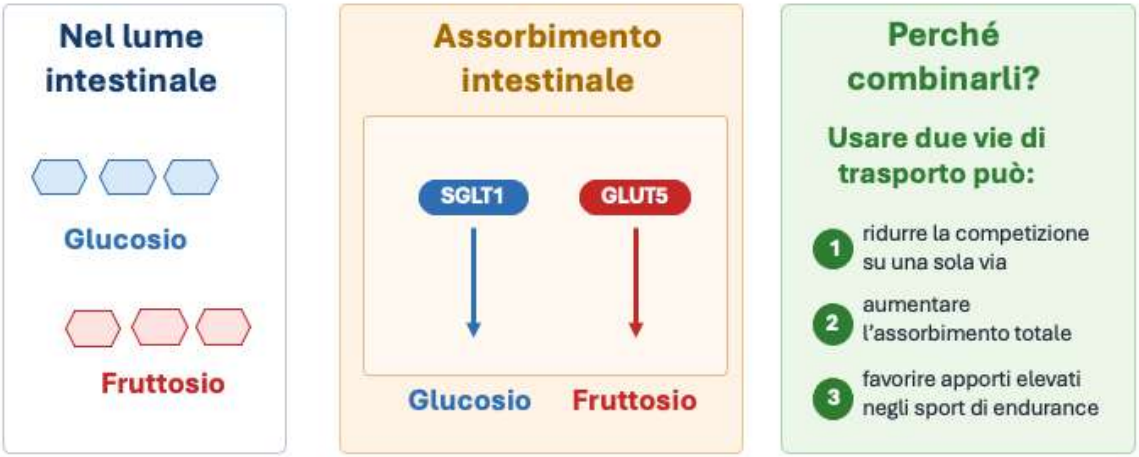
TIPO	ESEMPI	ASSORBIMENTO	CARATTERISTICHE	DURANTE L'ESERCIZIO
Monosaccaridi	Glucosio Fruttosio	Molto rapido (5–15 min)	Disponibilità immediata Alto indice glicemico	Ideali per sforzi intensi o per ipoglicemia
Disaccaridi	Saccarosio Lattosio	Rapido (15–30 min)	Buona tollerabilità Si scindono in zuccheri semplici	Utili anche nelle attività prolungate
Maltodestrine	Maltodestrine Isomaltulosio	Medio (20–60 min)	Rilascio progressivo Osmolalità più bassa	Ideali per strategie prolungate
Fibre / polisaccaridi complessi	Cereali integrali Legumi	Lento (>60 min)	Sazietà e salute intestinale Non per effetto immediato	Meglio nei pasti lontani dall'esercizio

Associare fonti diverse può ottimizzare disponibilità energetica e tollerabilità gastrointestinale.

Figura 8.1. Distinzione funzionale fra i vari tipi di carboidrati disponibili.

TRASPORTO DEI CARBOIDRATI NELL'INTESTINO

Glucosio e fruttosio sfruttano trasportatori differenti: questo può aumentare l'assorbimento totale.



Glucosio (SGLT1) + fruttosio (GLUT5) = maggiore quantitò di CHO potenzialmente assorbibili per ora.

Figura 8.2. Modalità di assorbimento di glucosio e fruttosio



Figura 8.3. Destino dei carboidrati nell'atleta con DMT1

Take home message

Maggior quantità di carboidrati ingeriti non significa maggior quantità di carboidrati ossidati. Il limite può trovarsi nell'assorbimento intestinale, nella tollerabilità o nella capacità di utilizzazione.

Le miscele glucosio-fruttosio diventano particolarmente interessanti quando gli apporti sono elevati.

Capitolo 9 — Integrazione durante l’esercizio: quantità, miscele e “gut training”

9.1 Perché la durata cambia la strategia

Nelle attività brevi la disponibilità di glicogeno endogeno è generalmente sufficiente e l’assunzione durante esercizio può non essere necessaria dal punto di vista energetico. Con il prolungarsi della durata aumenta invece l’interesse per i carboidrati esogeni, sia per sostenere l’ossidazione glucidica sia per preservare la capacità di mantenere l’intensità.

Le indicazioni espresse in grammi per ora sono quindi strumenti pratici e non soglie biologiche rigide. Il fabbisogno reale dipende dalla potenza metabolica richiesta, dalla durata prevista, dall’alimentazione precedente e dalla tollerabilità individuale.

9.2 Da 30 a 90 g/h: come leggere gli intervalli

Le indicazioni consolidate collocano frequentemente l’apporto nell’ordine di 30–60 g/h durante esercizi prolungati e fino a circa 90 g/h nelle prove di maggiore durata. Quando l’apporto supera circa 60 g/h, l’impiego di carboidrati che utilizzano trasportatori differenti, tipicamente glucosio o maltodestrine associati a fruttosio, diventa fisiologicamente più razionale.

Tali quantità non devono essere trasferite automaticamente a ogni sport. Una partita, una 10 km, una maratona e una prova ciclistica di molte ore presentano richieste, opportunità di alimentazione e vincoli gastrointestinali differenti.

9.3 Oltre 90 g/h

Negli ultimi anni atleti di endurance e ultra-endurance hanno sperimentato apporti intorno a 100–120 g/h e la ricerca sta valutandone tollerabilità e possibili vantaggi. Questi dati non autorizzano a considerare 120 g/h un nuovo obiettivo universale. L’evidenza è più limitata, la selezione degli atleti è importante e l’adattamento gastrointestinale diventa determinante.

9.4 Gut training: allenare anche l’intestino

La capacità di alimentarsi durante esercizio è in parte allenabile. L’esposizione ripetuta a quantità di carboidrati simili a quelle previste in gara può migliorare la tolleranza all’ingestione e ridurre alcuni sintomi gastrointestinali. Sono stati proposti adattamenti del trasporto intestinale, ma nell’uomo la dimensione e il meccanismo di tali adattamenti non sono completamente definiti.

Il gut training non consiste nel forzare improvvisamente grandi quantità di carboidrati ma nel provare progressivamente in allenamento la strategia di gara: prodotto, concentrazione, quantità per ora, volume di liquidi, frequenza delle assunzioni e condizioni ambientali.

9.5 DMT1: il rischio di sommare CHO-P e CHO-G

L’atleta con DMT1 può trovarsi a dover assumere i carboidrati programmati per la prestazione e, contemporaneamente, ulteriori carboidrati per una tendenza ipoglicemica. Se la somma supera la capacità gastrointestinale, la soluzione non può essere semplicemente continuare ad alimentarsi. Occorre chiedersi se l’esposizione insulinica possa essere ridotta nelle occasioni successive.

9.6 Due tabelle per stabilire la quantità di CHO-P per sport e ruoli diversi

In un manuale pratico come questo crediamo sia necessario offrire spunti utili anche a prevedere le necessità di carboidrati per singole discipline sportive e singoli ruoli all’interno di queste ultime. Per tale motivo inseriamo due tabelle che, sebbene siano estremamente semplificate, possono fare da guida a chi non sappia ancora orientarsi appieno in tal senso.

Tabella 9.1 Percentuale media di utilizzo di glucosio e meccanismo energetico per le più diffuse discipline sportive e ruoli specifici all'interno delle stesse.

Sport e Tipologia	Ruolo / Fase Specifici	Intensità (% VO_2max Media)	% Energia da Glucosio (Media)	Principale Meccanismo Energetico
Calcio *(Tempo Fisso – Attività Intermittente)*	Centrocampista (elevato volume di corsa a intensità mista)	75% - 85%	65% – 80%	Aerobico / Anaerobico Alternato
	Attaccante / Difensore Laterale (alta frequenza di sprint e scatti)	80% - 90% (fasi attive)	75% – 85%	Anaerobico Lattacido / Alattacido
	Difensore Centrale (meno distanza totale, marcature di forza)	70% - 75%	55% – 65%	Misto (frequenti pause aerobiche)
	Portiere (sforzi esplosivi brevissimi, lunghi tempi morti)	< 60% (media)	20% – 30% (picchi brevi al 100%)	Anaerobico Alattacido (ATP-CP) / Grassi a riposo
Tennis *(Tempo Variabile – Attività Intermittente)*	Giocatore da Fondo (scambi lunghi, alta intensità prolungata)	70% - 80%	60% – 75%	Misto Aerobico/Anaerobico
	Giocatore d'Attacco / Servizi e Volée (scambi brevi ed esplosivi)	Intensità media inferiore	45% – 60% (picchi anaerobici negli sprint)	Anaerobico Esplosivo / Ripristino Aerobico
Ciclismo su Strada *(Tempo Variabile - Continuo/Endurance)*	Passista / Scalatore (ritmo regolare in salita ad alta intensità)	75% - 85%	70% – 85%	Aerobico Glicolitico
	Velocista (Sprinter) (ritmo di scorta in gruppo, picco nel finale)	60% (in gruppo) -> 150%+ (sprint)	40% (in scia) → 95% (volata finale)	Lipolitico in scia → Anaerobico puro nel finale
Maratona / Running *(Tempo Variabile - Continuo)*	Maratoneta d'élite (ritmo costante vicino alla soglia anaerobica)	80% - 85%	75% – 85%	Aerobico (Glucosio + alta efficienza lipidica)
	Podista Amatore (passo moderato e prolungato)	65% - 70%	50% – 60%	Misto Carboidrati / Lipidi (Grassi)



Figura 9.1. Effetto acuto del tipo di esercizio sulla glicemia anche in rapporto alla IOB

Tabella 9.2 Percentuale media di utilizzo di glucosio e caratteristica metabolica principale per altre discipline sportive e ruoli specifici all'interno delle stesse

Sport e Categoria	Ruolo / Specialità / Fase	Intensità (% VO_2max Media)	% Energia da Glucosio (Media)	Caratteristica Metabolica Principale
Mountain Bike (MTB) *(Endurance Variabile)*	Cross-Country (XC) (continue salite ripide, rilanci, 1.5 ore)	80% - 88%	80% – 90%	Continuo consumo glicidico per pendenze e rilanci
	Enduro / Downhill (discese tecniche esplosive, sforzo breve)	Reclutamento muscolare	65% – 75%	Sforzo anaerobico lattacido combinato a stress neurale
Nuoto di Endurance *(Endurance Continuo)*	Fondo in acque libere (10 km, ritmo costante e bracciata fluida)	75% - 80%	65% – 75%	Aerobico glicolitico stabilizzato (efficienza idrodinamica)
Pallacanestro *(Sport di Squadra - Intermittente)*	Playmaker / Guardia (transizioni rapide, pressing, ball handling)	80% - 85%	75% – 85%	Elevato impegno anaerobico (glicolisi e ATP-CP)
	Centro / Pivot (lotte sotto canestro, rimbalzi, meno km totali)	75% - 80%	65% – 75%	Sforzi di forza/potenza alternati a brevi pause
Pallamano *(Sport di Squadra - Contatto)*	Ali / Terzini (fulminei contropiede, salti, cambi di direzione continui)	80% - 90%	80% – 90%	Altissima densità di sprint e tiri (glicolisi accelerata)
	Pivot (blocco fisico, corpo a corpo intenso in area)	75% - 82%	70% – 80%	Componente anaerobica mista a sforzi di forza esplosiva
Pallavolo *(Intermittente Esplosivo)*	Schiacciatore / Opposto (salto continuo, rincorsa, attacco, muro)	Picchi frequenti	60% – 70% (nelle azioni)	Meccanismo ATP-CP con forte risintesi tramite glucosio
	Libero (reattività, tuffi, spostamenti brevi e bassi)	< 65% (media)	40% – 55%	Prevalenza aerobica / lipolitica nei tempi morti
Padel *(Intermittente - Cambi di direzione)*	Giocatore di Sinistra (più aggressivo, schiacciate, recuperi)	70% - 78%	65% – 75%	Glicolisi moderata/alta per scambi brevi ma intensi
	Giocatore di Destra (costruzione del gioco, ritmo più controllato)	65% - 73%	55% – 65%	Richiesta energetica leggermente più bilanciata
Automobilismo *(Motorsport - Stress Isometrico)*	Pilota Ruote Scoperte (F1) (fino a 5G laterali, battito a 160-180 bpm)	Elevato stress	60% – 70%	Sforzo isometrico; il glucosio serve per il SNC e il cuore
	Pilota GT / Endurance (abitacolo caldissimo, turni di guida lunghi)	Stress termico	50% – 60%	Consumo guidato dalla termoregolazione e tensione muscolare
Motociclismo *(Motorsport - Sforzo Totale)*	Pilota MotoGP / Motocross (gestione fisica della moto, 30-40 min)	80% - 85%	70% – 80%	Altissimo impiego muscolare (total body) e cardiovascolare

Nei sistemi AID il ragionamento appena riportato acquista un'ulteriore complessità: grandi quantità di carboidrati assunte preventivamente possono provocare una risalita del glucosio e indurre l'algoritmo a erogare nuova insulina. La strategia destinata a prevenire l'ipoglicemia può così contribuire paradossalmente a ricrearne le condizioni.

Esempio ragionato

Un ciclista ha programmato 75 g/h per una prova lunga. Se deve aggiungere ripetutamente 15–20 g per compensare continue frecce in discesa, non è corretto ridefinire automaticamente il suo fabbisogno prestativo come 95 g/h. La differenza può consistere proprio nei CHO-G resi necessari dalla terapia insulinica non ottimizzata.

Capitolo 10 — Prima, durante e dopo: la nutrizione come processo continuo

10.1 Il giorno precedente non è separato dalla gara

La disponibilità di glicogeno con cui si inizia una prova dipende anche dall'alimentazione e dal carico di allenamento precedenti. Una strategia pre-gara non può correggere completamente una disponibilità glucidica cronicamente insufficiente. Nelle prove di endurance importanti la preparazione nutrizionale comincia quindi prima dell'ultimo pasto.

10.2 Il pasto pre-esercizio

Il pasto deve fornire substrato, risultare digeribile e collocarsi a una distanza temporale compatibile con svuotamento gastrico e comfort. Quantità e composizione dipendono dall'orario della prova, dalla durata e dalle abitudini. Grassi, fibre e grandi quantità di proteine possono rallentare la digestione; tale effetto può essere utile in alcuni contesti ma sfavorevole immediatamente prima di una competizione intensa.

Nel DMT1 compare una domanda ulteriore: quanta dell'insulina del bolo precedente sarà ancora attiva quando inizierà l'esercizio? Un pasto nutrizionalmente corretto può diventare metabolicamente difficile da gestire se il picco dell'azione insulinica coincide con l'aumento della captazione muscolare.

10.3 Esercizio mattutino e stato alimentare

L'orario non deve essere interpretato isolatamente. Esercizio mattutino a digiuno, mattutino dopo colazione o pomeridiano post-prandiale differiscono anche per esposizione insulinica, disponibilità di substrati e risposta ormonale. Nel DMT1 l'esercizio mattutino a digiuno tende in molti soggetti a produrre un minor calo glicemico e talvolta una risalita (vedi box sul "fenomeno dell'alba"), ma tale osservazione non può essere considerata espressione di una regola universale.

10.4 Durante

Durante esercizio prolungato la strategia deve essere sufficientemente semplice da poter essere realizzata anche in condizioni di reale affaticamento. Piccole assunzioni di CHO a intervalli regolari possono risultare più tollerabili di grandi boli nutrizionali intermittenti.

Nel DMT1 la lettura del CGM aggiunge informazioni ma non dovrebbe finire per interferire con il piano prestativo a ogni minima variazione osservata.

10.5 Dopo: recuperare non significa soltanto evitare l'ipoglicemia

Il recupero comprende ricostituzione del glicogeno, riparazione e rimodellamento proteico, reidratazione e reintegro degli elettroliti quando necessario. Nel DMT1 occorre contemporaneamente considerare l'aumento della sensibilità insulinica e il rischio di ipoglicemia tardiva. Ridurre sistematicamente il bolo post-esercizio di una percentuale fissa non rappresenta una soluzione universale.

La risposta dipende dal tipo di esercizio, dalla quantità di glicogeno utilizzata, dalla durata, dall'orario, dalla terapia e, molto, dall'esperienza individuale. Una seduta di forza, una corsa aerobica lunga e una gara breve ad alta intensità non producono lo stesso recupero metabolico.

10.6 Idratazione

L'idratazione accompagna l'intera strategia nutrizionale. Sudorazione, temperatura, umidità, durata e intensità modificano le perdite. Una disidratazione significativa compromette la prestazione e può rendere più difficile l'interpretazione complessiva dei dati fisiologici, compresi i valori del CGM.

La quantità da bere deve essere individualizzata attraverso esperienza e, quando utile, stima delle perdite legate al sudore.

Principio-guida

Il recupero non comincia dalla valutazione dei valori riportati dal CGM ma da ciò che l'organismo deve ricostituire con l'integrazione dei carboidrati.

Il CGM e l'esposizione insulinica servono a stabilire come realizzare tale recupero in sicurezza.

10.7 Recuperare i liquidi persi

Quando è necessario ottenere una reidratazione relativamente rapida, la quantità di liquidi da assumere dopo l'esercizio può essere stimata a partire dalla variazione del peso corporeo. In termini pratici, una perdita di 1 kg corrisponde approssimativamente a un deficit di 1 L di acqua, tenendo conto dei liquidi eventualmente assunti e delle urine prodotte durante l'attività.

Poiché una parte dell'acqua introdotta viene inevitabilmente eliminata, nelle ore successive può essere opportuno reintegrare circa il 125–150% del deficit stimato, distribuendo l'assunzione nel tempo e associando un adeguato apporto di sodio. Quando il recupero può avvenire più lentamente, nell'arco della giornata, tale strategia può essere meno rigida e integrarsi con i normali pasti, l'assunzione di liquidi e lo stimolo della sete.

La reidratazione non deve essere confusa con l'integrazione glucidica. Una bevanda contenente carboidrati può svolgere contemporaneamente entrambe le funzioni quando i CHO sono necessari alla prestazione o al recupero, ma un deficit idrico non implica automaticamente la necessità di assumere glucosio.

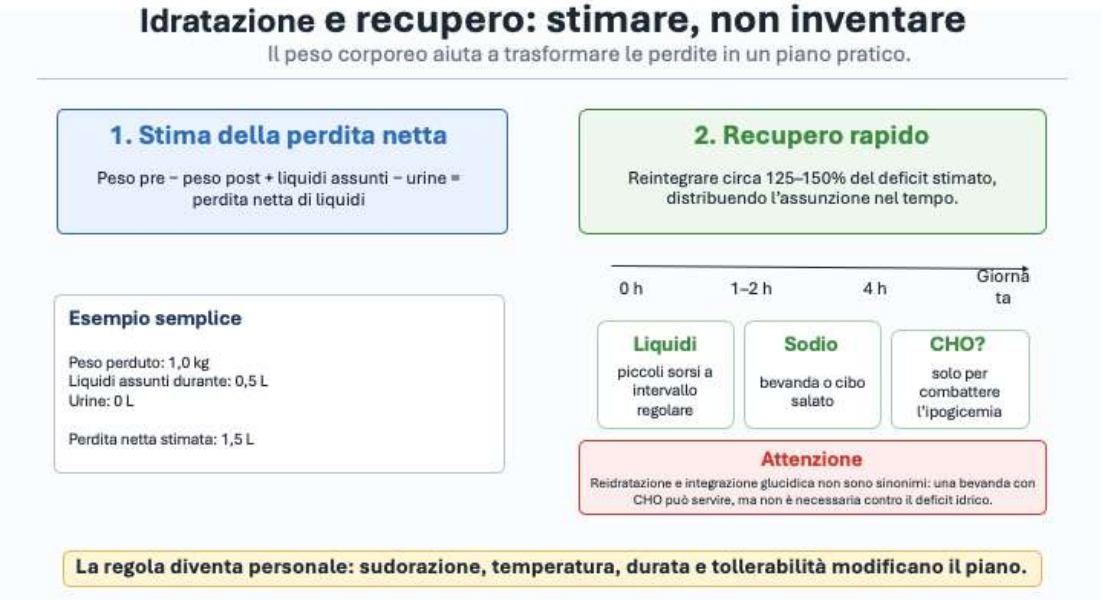


Figura 10.1. L'importanza della reidratazione.

Capitolo 11 — Tradurre la nutrizione nella terapia

11.1 Il problema comune a tutte le terapie insuliniche

Nel soggetto senza diabete la secrezione insulinica endogena può ridursi rapidamente quando inizia l'esercizio. Nel DMT1 l'insulina già somministrata continua invece ad agire secondo la propria farmacocinetica. Questa asimmetria spiega perché la preparazione debba precedere lo sforzo.

11.2 IOB come variabile contestuale

Una IOB maggiore è associata a maggiore rischio di ipoglicemia durante attività che tende a ridurre la glicemia. Il numero visualizzato dal dispositivo non equivale però all'effetto biologico istantaneo: il calcolo varia fra sistemi e non descrive perfettamente il profilo temporale dell'azione insulinica. Per tale ragione nel libro parleremo di IOB funzionalmente bassa, intermedia o elevata in relazione all'atleta e all'attività, senza imporre soglie universali in unità.

11.3 Basal-bolus

Con terapia multi-iniettiva la modulazione della basale è meno reversibile nel breve periodo. Diventano quindi centrali il timing dell'esercizio rispetto ai pasti, l'eventuale riduzione del bolo precedente e la conoscenza dell'effetto della propria insulina basale. Le riduzioni percentuali riportate nelle linee guida costituiscono punti di partenza da individualizzare, non prescrizioni trasferibili senza verifica.

11.4 Microinfusore convenzionale (CSII)

La CSII permette riduzioni temporanee o sospensioni della basale. Il vantaggio della flessibilità non elimina il ritardo farmacocinetico: ridurre la basale al momento della partenza può essere troppo tardi se l'obiettivo è diminuire l'insulina circolante durante la prima parte dell'attività. Inoltre, quando il bolo prandiale costituisce la quota dominante della IOB, modificare la sola basale può avere un effetto limitato.

11.5 AID

I sistemi AID aggiungono una modulazione algoritmica guidata dal CGM. Le modalità dedicate all'esercizio cercano generalmente di ridurre l'esposizione insulinica aumentando il target o attenuando la risposta dell'algoritmo. Anche in questo caso l'efficacia è maggiore quando l'intervento precede l'attività prevista.

La position statement EASD/ISPAD raccomanda in generale una IOB bassa all'inizio delle attività nelle quali è attesa una riduzione del glucosio. Suggerisce inoltre piccole quantità di carboidrati, per lo più 10–20 g, quando necessarie vicino o durante l'attività, evitando sovratrattamenti che possano produrre iperglicemia di rimbalzo e nuova erogazione automatica.

11.6 Esercizio programmato ed esercizio imprevisto

Quando l'attività è programmata è possibile intervenire sul bolo precedente, sulla modalità esercizio e sul timing nutrizionale. Nell'attività imprevista il margine temporale scompare e i carboidrati assumono spesso un ruolo maggiore. È quindi scorretto giudicare allo stesso modo una strategia utilizzata per una gara pianificata e quella adottata per un'attività non prevista.

11.7 Quando l'esercizio tende ad aumentare la glicemia

Forza, sprint, intervalli molto intensi e competizione possono determinare stabilità o incremento glicemico in alcuni atleti. In tali circostanze ridurre indiscriminatamente l'insulina può peggiorare

l'iperglicemia. La strategia deve quindi partire dalla risposta prevedibile a quello specifico esercizio e dalla storia individuale.

11.8 Una procedura pratica in otto passaggi

- Definire l'obiettivo della seduta o della gara.
- Descrivere durata, intensità e caratteristiche metaboliche previste.
- Stimare CHO-P e disponibilità di glicogeno.
- Valutare pasto precedente, bolo e IOB attesa alla partenza.
- Stabilire l'adattamento insulinico possibile con la terapia utilizzata.
- Usare glicemia e trend CGM per definire eventuali CHO-G.
- Osservare ciò che accade durante e dopo l'attività.
- Registrare la risposta e modificare una variabile per volta nelle prove successive.

Il vero quesito clinico finale è:

Non «quanta insulina deve fare l'atleta?» ma: «quale esposizione insulinica permette all'atleta di svolgere una certa attività con la strategia nutrizionale richiesta dalla prestazione mantenendo una ragionevole sicurezza glicemica?».

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

Colberg SR, et al. Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 2016;39(11):2065–2079.

Corigliano G. Indicazioni e limiti dell'esercizio fisico nel diabetico insulino-dipendente anche in rapporto ad iniziali complicanze. *AMD*. 1993.

Corigliano G, et al. (Gruppo Fitwalking). Progetto Fitwalking Freedom League Italia: risultati a 6 mesi. *Atti del XVIII Congresso AMD*. 2011.

De Fazio C, et al. Trattamento dell'ipoglicemia da attività sportiva in diabetici tipo 1 mediante l'uso di un integratore liquido contenente glucosio, tiamina e manganese. *J AMD*. 2016;19:165–172.

De Fazio C, et al. Dextrose Supplementation against Exercise Related Hypoglycaemia in Athletes with Type 1 Diabetes Mellitus. *Nutr Food Toxicol*. 2017;1:16–25.

Jeukendrup AE. Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2010;13(4):452–457.

Jeukendrup AE. Training the Gut for Athletes. *Sports Med*. 2017;47(Suppl 1):101–110.

King AJ, et al. The Effect of Gut-Training and Feeding-Challenge on Markers of Gastrointestinal Status in Response to Endurance Exercise: A Systematic Literature Review. *Sports Med*. 2023;53(11):2167–2190.

Moser O, Zaharieva DP, Adolfsson P, et al. The use of automated insulin delivery around physical activity and exercise in type 1 diabetes: EASD/ISPAD position statement. *Diabetologia*. 2025;68(2):255–280.

Riddell MC, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2017;5(5):377–390.

Wilson PB. Multiple Transportable Carbohydrates During Exercise: Current Limitations and Directions for Future Research. *J Strength Cond Res*. 2015;29(7):2056–2070.

PARTE III – SISTEMI AID: CONOSCERE LE DIFFERENZE SENZA STILARE CLASSIFICHE

Questa parte traduce i principi fisiologici e nutrizionali dei capitoli precedenti nel funzionamento pratico dei principali sistemi di somministrazione automatizzata dell'insulina. L'obiettivo non è stabilire quale sistema sia "migliore", ma comprendere come algoritmi differenti affrontino lo stesso problema biologico e come tali differenze influenzino la gestione dell'esercizio.

Nota di lettura

Le caratteristiche dei dispositivi possono variare con software, sensori compatibili, indicazioni regolatorie e Paese. Le funzioni riportate devono essere verificate sulla versione del sistema effettivamente utilizzata e sulle relative istruzioni per l'uso. Il capitolo descrive principi e logiche operative, non sostituisce l'addestramento specifico sul dispositivo.

Capitolo 12 — Come funziona realmente un sistema AID

12.1 Un sistema AID non è un pancreas artificiale completo

Un sistema AID integra tre elementi: un sensore di glucosio, un algoritmo decisionale e un microinfusore capace di modificare l'erogazione insulinica. La parola "automatizzato" può indurre a immaginare un sistema capace di comprendere ciò che l'atleta sta facendo. In realtà l'algoritmo osserva soprattutto il glucosio rilevato dal sensore, la sua direzione, la storia recente dell'insulina e alcune informazioni inserite dall'utilizzatore. Non conosce direttamente intensità dell'esercizio, disponibilità di glicogeno, risposta catecolaminica, consumo energetico o obiettivo della seduta.

Ne deriva un principio essenziale: l'AID interpreta il risultato glicemico di processi fisiologici che non vede. Una glicemia in salita può derivare da un pasto, da una risposta adrenergica, da una correzione insufficiente o da una riduzione preventiva dell'insulina; la stessa curva può quindi avere significati diversi e richiedere strategie differenti.

12.2 I tre livelli: sensore, algoritmo, erogazione

Sensore

Il CGM stima la concentrazione di glucosio nel compartimento interstiziale. Nelle condizioni di rapida variazione può comparire una discrepanza temporale rispetto al glucosio plasmatico o capillare. Durante esercizio la precisione dei sensori può modificarsi e gli studi mostrano risultati differenti in relazione al dispositivo, al tipo di esercizio e alla velocità di variazione glicemica. Per questo il dato deve essere interpretato insieme alla direzione della freccia, al contesto e ai sintomi.

Caldo, sudorazione, disidratazione e variazioni della perfusione periferica possono teoricamente modificare il rapporto fra compartimento ematico e interstiziale. La letteratura documenta soprattutto che l'accuratezza può variare durante esercizio e rapide escursioni e mantenere un'idratazione adeguata è importante per la prestazione e la sicurezza, ma non garantisce da sola l'accuratezza del sensore.

Quando il dato non convince

Se valore del CGM, sintomi e situazione clinica risultano discordanti, l'atleta non dovrebbe affidarsi acriticamente al display. In caso di dubbio rilevante, soprattutto prima di una decisione terapeutica importante, è ragionevole confermare il dato con una misurazione capillare secondo le indicazioni del dispositivo e del team curante.

Algoritmo

L'algoritmo combina il dato del sensore con la storia di erogazione insulinica e con parametri specifici del sistema. Alcuni sistemi si basano prevalentemente sulla previsione del glucosio futuro, altri costruiscono nel tempo una stima adattativa del fabbisogno insulinico, altri combinano modulazione continua e boli automatici. La differenza non è soltanto tecnologica: determina il modo con cui lo stesso errore pre-esercizio può essere corretto o amplificato.

Erogazione

La pompa può aumentare, ridurre o sospendere l'insulina futura. Non può però rimuovere l'insulina già assorbita né annullare l'insulina ancora presente nel deposito sottocutaneo. Questa asimmetria temporale costituisce il limite fisiologico centrale durante esercizio: se l'atleta inizia con IOB elevata, anche un algoritmo molto efficace può soltanto ridurre ciò che sarebbe stato erogato successivamente.



Figura 12.1. Un sistema AID integra sensore, algoritmo ed erogazione, ma non conosce direttamente il significato fisiologico dell'attività.

12.3 La modalità esercizio non è un interruttore universale

Nei diversi sistemi la funzione dedicata all'attività modifica elementi differenti: target, soglie previsionali, aggressività dell'algoritmo, possibilità di autocorrezione o quantità di insulina

automatica. Dire genericamente “attivare la modalità sport” nasconde quindi differenze operative importanti.

Il principio comune è il timing. Le modalità dedicate all’attività funzionano meglio quando vengono attivate abbastanza presto da ridurre l’esposizione insulinica prima che aumenti la captazione muscolare. Attivarle quando il CGM è già in rapida discesa può essere tardivo, soprattutto se la IOB deriva da un bolo recente.

12.4 Il sovratrattamento preventivo

Una pratica ancora frequente consiste nell’assumere grandi quantità di carboidrati prima dell’attività per “proteggersi” dall’ipoglicemia. In un AID tale strategia può risultare controproducente: l’aumento glicemico può indurre nuova erogazione insulinica e ricreare, poco prima dell’esercizio, l’esposizione che si voleva evitare. La strategia contemporanea tende quindi a privilegiare una riduzione anticipata dell’insulina e un uso mirato di carboidrati quando realmente necessari.

12.5 IOB visualizzata e IOB biologica

Il valore di IOB non è perfettamente confrontabile fra sistemi. Ogni algoritmo definisce in modo proprio quali componenti dell’erogazione entrano nel calcolo e come la durata d’azione viene utilizzata. Nel libro l’IOB verrà quindi trattata soprattutto come informazione contestuale: funzionalmente bassa, intermedia o elevata rispetto all’atleta, al bolo precedente, al tipo di esercizio e alla fase temporale.

12.6 Il vero obiettivo dell’AID nello sport

Il successo non coincide né con l’affidarsi sempre all’algoritmo né con il disattivarlo sistematicamente. L’obiettivo è creare il contesto nel quale l’automazione possa lavorare bene: esposizione insulinica coerente, timing nutrizionale appropriato, modalità attività impostata con anticipo e conoscenza di ciò che il sistema può e non può fare.

Capitolo 13 — MiniMed 780G: SmartGuard, autocorrezioni e target temporaneo

13.1 La logica di SmartGuard

MiniMed 780G modifica l'erogazione insulinica in base ai dati del sensore e aggiorna frequentemente la quantità erogata. Il sistema può modulare l'insulina automatica e somministrare autocorrezioni. I target SmartGuard selezionabili sono 100, 110 e 120 mg/dL. Per situazioni nelle quali si desidera meno insulina, come l'esercizio, è disponibile un Temp Target fisso di 150 mg/dL.

Durante il Temp Target le autocorrezioni automatiche non vengono erogate. Tale caratteristica è particolarmente rilevante nello sport perché riduce il rischio che una risalita pre-esercizio provochi una correzione automatica mentre l'atleta sta per iniziare un'attività che tende a ridurre la glicemia.

13.2 Timing del Temp Target

La documentazione Medtronic suggerisce di considerare l'attivazione del Temp Target circa 1–2 ore prima dell'attività. Il motivo non è "dare tempo all'algoritmo di capire che si farà sport", ma ridurre progressivamente l'esposizione insulinica prima dell'inizio. Il Temp Target può essere impostato per 30 minuti fino a 24 ore, in intervalli di 30 minuti.

La durata dopo l'esercizio deve essere individualizzata. Alcuni materiali Medtronic suggeriscono, in termini generali, di terminarlo subito dopo o di proseguirlo nel post-esercizio in base al rischio individuale. Non esiste quindi una durata post-gara universale.

13.3 Il bolo del pasto precedente

Il sistema può ridurre l'insulina futura, ma un bolo prandiale già assorbito può dominare la IOB alla partenza. La strategia pre-esercizio deve quindi integrare target temporaneo, quantità di carboidrati, eventuale riduzione del bolo e tempo trascorso dal pasto. Concentrarsi soltanto sulla basale automatica può essere insufficiente.

13.4 Safe Meal Bolus e limiti interpretativi

Il 780G dispone di una funzione di sicurezza che può ridurre il bolo del pasto quando prevede un rischio di ipoglicemia nelle ore successive. Tale protezione non elimina però la necessità di pianificare l'esercizio. Un bolo considerato sicuro nel contesto ordinario può risultare ancora eccessivo se poco dopo aumenta drasticamente la captazione muscolare.

13.5 Quando il sistema sembra "troppo aggressivo"

Attribuire al 780G una personalità intrinsecamente aggressiva è poco utile. La risposta deriva dall'interazione fra target selezionato, tempo di insulina attiva, rapporto I:CHO, andamento del sensore e attivazione o meno del Temp Target. Un atleta che assume carboidrati difensivi, osserva una risalita e lascia il sistema in modalità standard può ricevere più insulina proprio prima della corsa. Il problema non è necessariamente l'algoritmo, ma il contesto creato intorno all'algoritmo.

Al momento della pubblicazione sono previsti un device di dimensioni più contenute e un ulteriore aggiornamento del software che verranno analizzati nelle prossime edizioni del presente documento.

Per lo sport con 780G

Temp Target 150 mg/dL; autocorrezioni sospese durante Temp Target; attivazione generalmente 1–2 ore prima quando l'esercizio è programmato; il bolo precedente resta determinante; grandi quantità di CHO preventivi seguite da nuovo bolo possono aumentare l'IOB alla partenza.

Capitolo 14 — Tandem Movi / Control-IQ+: previsione, Exercise Activity e AutoBolus

14.1 Un algoritmo previsionale

Control-IQ+ utilizza il CGM per prevedere l'andamento del glucosio e modulare l'insulina. In Exercise Activity la logica si sposta verso fasce previsionali più alte rispetto alla modalità standard. È quindi più corretto parlare di soglie decisionali che di un unico target fisso.

Nelle tabelle operative correnti, con Exercise Activity attiva, il sistema tende a ridurre o sospendere la basale quando prevede valori bassi, mantiene o aumenta la basale quando la previsione glicemica è costante o in salita e può utilizzare AutoBolus quando la previsione supera la soglia prevista. Il dettaglio operativo dipende dalla versione software e deve essere verificato sulla guida specifica ma, per ora, riportiamo il quadro aggiornato alla data di pubblicazione.

Control-IQ - Attività Normale - Sonno - Esercizio

		Control-IQ	Sleep Activity	Exercise Activity
Delivers	Erogazione di un bolo automatico di correzione se il valore CGM del sensore è previsto a 30 minuti essere sopra 180 mg/dL	180	--	180
Increases	Aumenta l'erogazione di insulina basale se il valore CGM del sensore è previsto a 30 minuti essere sopra --- mg/dL	160	120	160
Maintains	Mantiene le impostazioni attive nel profilo corrente se il valore CGM del sensore è previsto a 30 minuti tra --- e --- mg/dL	112.5 - 160	112.5 - 120	140 - 160
Decreases	Diminuisce l'erogazione di insulina basale se il valore CGM del sensore è previsto a 30 minuti essere sotto --- mg/dL	112.5	112.5	140
Stops	Sospensione dell'erogazione di insulina basale se il valore CGM del sensore è previsto a 30 minuti essere sotto -- mg/dL	70	70	80

Fig. 14.1. Le varie attività previste al momento dal sistema Tandem Movi / Control-IQ+.

14.2 AutoBolus

Control-IQ+ utilizza AutoBolus fino a una volta ogni ora quando il glucosio è previsto elevato. La documentazione Tandem corrente riporta il limite di un AutoBolus per ora.

Il punto clinico rimane però importante: anche un solo AutoBolus nell'ora che precede o coincide con l'inizio dell'esercizio può aumentare la IOB in un momento delicato. Un suggerimento utile, quindi, per chi prevede frequenti assunzioni di CHO in corso di esercizio, è praticare un micro-bolo manuale di appena 0.05 U per bloccare la funzione auto-bolo per i 60 minuti successivi. In alternativa, alcuni preferiscono utilizzare la modalità Sleep (112-120 mg/dL) che modula la basale senza auto-boli.

14.3 Perché Exercise Activity non elimina del tutto il rischio di correzione

A differenza del 780G con Temp Target, Control-IQ+ può mantenere la possibilità di AutoBolus durante Exercise Activity se la previsione supera la soglia. Ciò può essere vantaggioso nelle attività associate a iperglicemia, ma richiede prudenza quando la risalita è stata provocata da carboidrati preventivi.

Il sistema vede la traiettoria glicemica; non sa che la risalita glicemica dipende da un gel assunto per paura di una futura ipoglicemia né che fra quindici minuti inizierà una corsa o l'intensità aumenterà. L'utilizzatore deve quindi creare un contesto coerente con il comportamento dell'algoritmo.

14.4 Profili personali e flessibilità

Tandem consente di utilizzare profili personali con parametri differenti. Nello sport tale flessibilità può essere utile per giornate con fabbisogni prevedibilmente diversi, ma non dovrebbe trasformarsi in una continua manipolazione reattiva. La costruzione di profili specifici deve essere basata su pattern ripetibili e verificata con il team curante.

14.5 Il problema del bolo precedente

Anche con Exercise Activity, la modulazione della basale non può compensare completamente un bolo prandiale ancora importante. Una delle decisioni più rilevanti rimane quindi il reale quantitativo di insulina da somministrare in bolo per il pasto che precede l'attività e quanto tempo intercorre fra pasto e inizio della seduta.

Per lo sport con Tandem

Exercise Activity sposta verso l'alto le soglie previsionali; AutoBolus può rimanere possibile fino a una volta all'ora; evitare grandi carichi di CHO preventivi non necessari; valutare sempre il bolo precedente.

Capitolo 15 — Omnipod 5: SmartAdjust, Activity Feature e algoritmo nel Pod

15.1 Una filosofia adattativa

Omnipod 5 utilizza SmartAdjust, algoritmo integrato nel Pod. Il sistema riceve i dati dal sensore compatibile, predice l'andamento del glucosio e modifica l'erogazione automatica. Un elemento caratteristico è l'adattamento progressivo dell'insulina automatica sulla base della storia di utilizzo, mentre impostazioni come rapporto I:CHO, fattore di correzione e target continuano a essere rilevanti per i boli e per specifiche funzioni.

15.2 Activity Feature: 150 mg/dL e meno insulina

Con Activity Feature attiva, Omnipod 5 riduce l'insulina automatica e imposta il target a 150 mg/dL per la durata prescelta, da 1 a 24 ore. Le indicazioni educative più recenti raccomandano spesso di attivarla 60–120 minuti prima dell'attività programmata. Alcuni materiali rivolti agli utilizzatori riportano esempi più brevi, come 30–60 minuti. Non si tratta di una contraddizione: il timing deve essere individualizzato in base a IOB, tipo e durata dell'esercizio e risposta personale. Per attività aerobica programmata con tendenza alla discesa della glicemia, il riferimento a 1–2 ore prima è oggi quello più coerente con il consenso EASD/ISPAD e con i materiali HCP più recenti.

In caso di esercizio non programmato, si consiglia non solo la tipica riduzione del bolo pre-pasto del 25-33% ma anche, se la glicemia pre-pasto è inferiore al valore target impostato, la disattivazione della Correzione Inversa, ossia una funzione del calcolatore di bolo che riduce la dose di insulina stimata per il pasto successivo. In tal caso, anziché erogare l'intera dose calcolata per i carboidrati, il dispositivo sottrae una determinata quantità di insulina, sfruttando parte del cibo che si sta per consumare per far risalire in sicurezza la glicemia verso il valore ottimale.

Nell'HIIT con rialzo adrenergico previsto, invece, è utile abbassare temporaneamente il target a 110 mg/dL.

15.3 Perché conta che l'algoritmo sia nel Pod

SmartAdjust risiede nel Pod. Il controller o lo smartphone serve per l'interazione con il sistema, per i boli e per le impostazioni, ma l'automazione dell'insulina può continuare anche se il dispositivo di controllo non è nelle immediate vicinanze, purché Pod e sensore mantengano la comunicazione richiesta. Nello sport questo evita la necessità di "indossare" il controller durante ogni fase dell'attività.

La condizione essenziale è la comunicazione Pod-sensore. Per alcuni sensori integrati con Omnipod 5 è importante la posizione relativa sul corpo e la cosiddetta line of sight, cioè evitare che il corpo ostacoli stabilmente la comunicazione. Una perdita prolungata del dato del sensore può portare il sistema in Automated Mode: Limited, con un comportamento differente dalla piena automazione.

Esempio pratico

In una partita il controller può rimanere a bordo campo senza interrompere automaticamente SmartAdjust. L'atleta deve però assicurarsi che Pod e sensore siano posizionati in modo compatibile con la comunicazione e deve poter accedere al controller quando è necessario effettuare un bolo o modificare impostazioni.

15.4 Activity Feature e boli manuali: nessun allarme, ma chiarezza

Activity Feature modifica l'automazione: riduce l'insulina automatica e porta il target dell'automazione a 150 mg/dL. Essa non modifica però il target utilizzato dal calcolatore di bolo quando l'utilizzatore avvia manualmente un bolo. In altre parole, se durante Activity Feature viene richiesta una correzione, SmartBolus utilizza il Target Glucose e il valore "Correct Above" programmati per quella fascia oraria, non il target temporaneo di 150 mg/dL della funzione Activity.

Questo non significa che Omnipod 5 somministri automaticamente correzioni aggressive durante Activity Feature. Significa che una decisione manuale dell'utilizzatore resta una decisione distinta dal comportamento automatico. La conseguenza pratica è semplice: durante o immediatamente prima di un esercizio che tende a ridurre la glicemia, una correzione manuale deve essere valutata con particolare prudenza perché può aumentare l'IOB nonostante Activity Feature sia attiva.

15.5 Automated Mode: Limited e connettività

Se il Pod non riceve valori del sensore per un periodo prolungato, il sistema può passare in Automated Mode: Limited. Questo punto merita attenzione nello sport perché sudore, posizione dei dispositivi, contatto fisico, immersione o ostacoli di comunicazione possono influire sulla disponibilità del dato. Non bisogna confondere un limite di comunicazione con un "fallimento" dell'algoritmo.

15.6 Adattamento e storia insulinica

L'algoritmo utilizza informazioni derivate dalla storia insulinica e si adatta progressivamente. Per questo le giornate precedenti e l'andamento complessivo del fabbisogno possono influenzare l'automazione. Tale adattamento non significa che il sistema "impari lo sport" in senso fisiologico; impara soprattutto il fabbisogno insulinico osservato.

Per lo sport con Omnipod 5

Activity Feature: target 150 mg/dL e riduzione dell'insulina automatica; timing spesso 60–120 minuti prima per attività programmata; durata 1–24 ore; algoritmo nel Pod; controller non necessario per la continua automazione ma necessario per alcune azioni; i boli manuali usano i parametri del calcolatore e non il target Activity.

Capitolo 16 — Mylife YpsoPump / CamAPS FX e confronto fra filosofie di automazione

16.1 CamAPS FX: target personale e adattamento

CamAPS FX utilizza un algoritmo adattativo che lavora con un target personale e può essere associato, in determinate configurazioni e Paesi, a mylife YpsoPump e sensori compatibili. L'app consente funzioni che modificano temporaneamente la risposta del sistema, fra cui Ease-off per situazioni nelle quali si desidera meno insulina e Boost quando è richiesta una risposta più incisiva. Come importante innovazione, segnaliamo che, al momento della pubblicazione del presente documento, è stato sviluppato un sistema completamente automatizzato che consente di consumare pasti senza preavviso.

16.2 Ease-off

Ease-off è pensato per situazioni nelle quali il fabbisogno insulinico tende a ridursi, come l'esercizio. La funzione aumenta temporaneamente il target personale e attenua l'erogazione, facilitando una riduzione anticipata dell'insulina. Può essere avviata immediatamente o programmata in anticipo, a seconda della versione e della configurazione.

Il principio fisiologico è lo stesso discusso per gli altri AID: attivare Ease-off quando il sistema ha già ridotto quasi al minimo l'insulina può aggiungere poco. Se la glicemia sta già scendendo rapidamente e permane IOB, può essere necessario intervenire con carboidrati. La prevenzione resta più efficace del recupero tardivo.

16.3 Slowly absorbed meal

CamAPS FX dispone di una funzione pensata per pasti con assorbimento prolungato. L'algoritmo può modulare l'insulina nelle ore successive in relazione alla risposta glicemica. Il concetto è rilevante nello sport perché pasti ricchi di grassi, proteine o con elevata complessità possono interferire con il timing dell'esercizio e produrre rialzi tardivi.

16.4 Boost

Boost aumenta temporaneamente la risposta insulinica dell'algoritmo. Non è una "modalità sport" e durante attività che tende a ridurre la glicemia sarebbe generalmente controintuitivo utilizzarlo. Può avere invece un ruolo in situazioni differenti, come periodi di fabbisogno insulinico aumentato, sempre nel rispetto delle indicazioni specifiche del sistema.

Sistema	Modalità esercizio	Logica principale	Correzioni/boli durante attività	Punto chiave
MiniMed 780G	Temp Target	Target fisso 150 mg/dL; minore insulina automatica	Autocorrezioni spontanee sospese durante il Temp Target	Attivare in anticipo; il bolo precedente resta determinante.
Tandem Movi / Control-IQ+	Exercise Activity	Fasce previsionali più alte	AutoBolus possibili, fino a uno all'ora secondo la documentazione corrente	Una risalita glicemica da CHO preventivi può aumentare l'IOB.
Omnipod 5	Activity Feature	Target 150 mg/dL + riduzione dell'insulina automatica	Boli manuali possibili; usano target/correct-above programmati	Algoritmo nel Pod; distinguere automazione da correzione manuale.
YpsoPump / CamAPS FX	Ease-off	Target personale temporaneamente aumentato + algoritmo attenuato	Dipende dalla risposta adattativa; Ease-off riduce la pressione insulinica	Se attivato troppo tardi può aggiungere poco perché l'insulina già attiva rimane.

16.5 Quattro sistemi, quattro logiche operative

Il confronto diventa utile quando si abbandona la domanda “quale è migliore?” e si chiede invece quale decisione viene automatizzata, quale resta nelle mani dell’utilizzatore e come l’algoritmo reagisce a una risalita glicemica poco prima dell’esercizio.

16.6 Come scegliere il sistema per un atleta

La scelta non dovrebbe essere ridotta a una classifica. Contano tipo di sport, frequenza dell’attività, tolleranza del catetere, necessità di rimuovere il dispositivo, capacità di pianificazione, propensione a intervenire manualmente, rischio di ipoglicemia, pattern di iperglicemia da alta intensità e preferenze personali. Il sistema migliore è quello che l’atleta comprende e utilizza in modo coerente con la propria fisiologia e il proprio comportamento.

16.7 Nessun sistema annulla l’insulina già assorbita

Questo è il punto comune a tutti gli AID. Le differenze algoritmiche possono essere importanti, ma nessuna tecnologia attuale elimina il limite farmacocinetico dell’insulina sottocutanea. L’efficacia nello sport dipende quindi dalla capacità di creare in anticipo un’esposizione insulinica appropriata alla prestazione prevista.

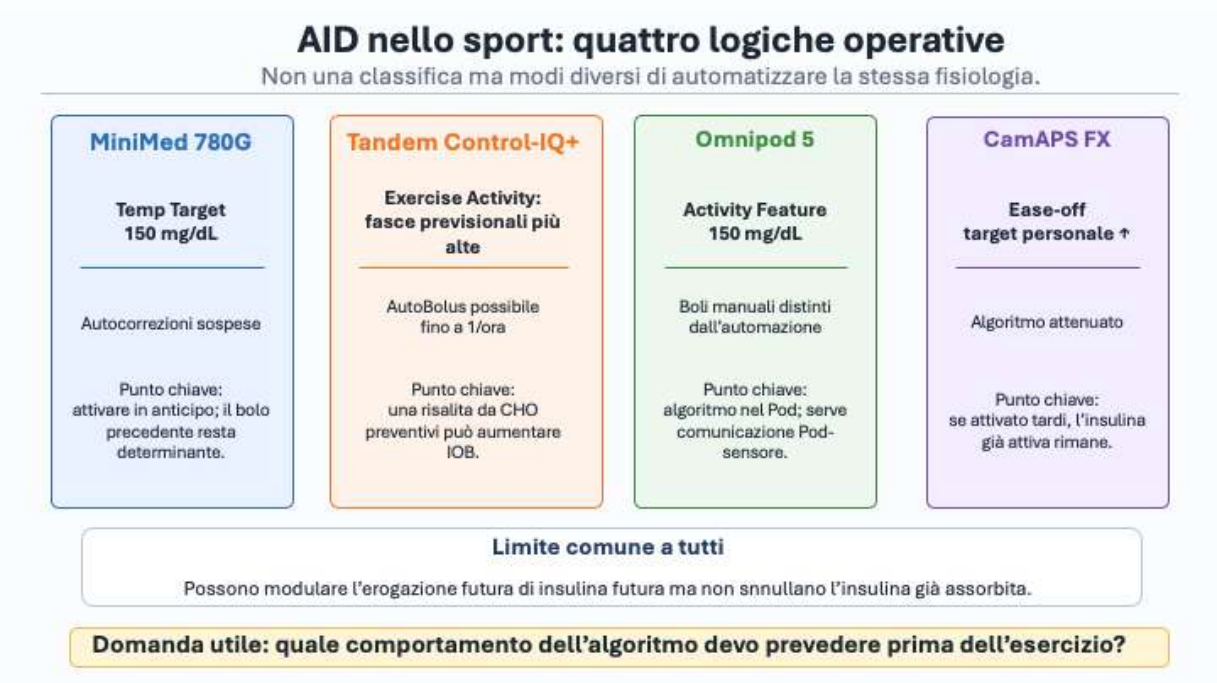


Figura 16.1. Confronti essenziali fra i microinfusori di più frequente riscontro fra gli atleti italiani al momento della pubblicazione del testo attuale



Figura 16.2. Confronti essenziali fra funzioni utilizzabili prima di iniziare una sessione di esercizio nei microinfusori di più frequente riscontro fra gli atleti italiani al momento della pubblicazione del testo attuale

Messaggio conclusivo della Parte III

Gli AID non sono intercambiabili dal punto di vista operativo, ma condividono lo stesso limite biologico: possono modulare l'insulina futura, non cancellare quella già assorbita. La strategia migliore nasce dall'incontro fra fisiologia dell'esercizio, nutrizione, IOB e conoscenza specifica dell'algoritmo.

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

CamDiab / Ypsomed. CamAPS FX and mylife YpsoPump educational materials: Ease-off, Boost and slowly absorbed meal. https://www.mylife-diabetescare.com/en/get-to-know-myloop (ultimo accesso 27/09/2026).

Insulet Corporation. Omnipod 5 User Guide, Technical User Guide, Activity Feature and HCP educational materials. *https://www.omnipod.com/sites/default/files/Omnipod-5_User-guide.pdf* (ultimo accesso 27/09/2026).

Medtronic Diabetes. MiniMed 780G System Support and User Guides: SmartGuard Technology; Temp Target; Safe Meal Bolus. https://www.minimed.com/en-us/support/product-support/780g (ultimo accesso 27/09/2026).

Moser O, et al. Accuracy of continuous glucose monitoring during differing exercise conditions. *Diabetes Res Clin Pract.* 2016;112:39–45.

Moser O, Zaharieva DP, Adolfsson P, et al. The use of automated insulin delivery around physical activity and exercise in type 1 diabetes: EASD/ISPAD position statement. *Diabetologia*. 2025;68(2):255–280.

Phillip M, Nimri R, Bergenstal RM, et al. Consensus Recommendations for the Use of Automated Insulin Delivery Technologies in Clinical Practice. *Endocr Rev.* 2023;44(2):254–280.

Tandem Diabetes Care. Control-IQ+ Technology and Tandem Mobi User Guide. https://www.tandemdiabetes.com/it-IT/support/resources/documents?set-locale=true (ultimo accesso 27/09/2026).

Yardley JE, et al. Point accuracy of interstitial continuous glucose monitoring during exercise in type 1 diabetes. *Diabetes Technol Ther*. 2013;15(1):46–49.

Zaharieva DP, et al. Accuracy of CGM systems during continuous and interval exercise in adults with type 1 diabetes. *Diabetes Technol Ther*. 2021;23(1):31–38.

PARTE IV — ALLENARE L'ATLETA E APPLICARE I PRINCIPI ALLO SPORT

Capitolo 17 — Preparare l'atleta con diabete tipo 1: allenamento, adattamento e prestazione



Figura 17.1. Allenare la persona significa integrare carico, recupero, sicurezza metabolica e obiettivi prestativi.

Praticare attività fisica e allenarsi non sono sinonimi. L'attività fisica comprende ogni movimento corporeo quotidiano prodotto dai muscoli che aumenti il dispendio energetico; se strutturata, pianificata, ripetitiva e finalizzata a migliorare una o più componenti della forma fisica, essa assume la connotazione di esercizio fisico. Per l'atleta, infine, l'allenamento acquista un significato ulteriore: è un processo sistematico, ripetuto nel tempo, con progressione, sovraccarico, specificità, recupero e valutazione; gli stimoli, il recupero e gli adattamenti fisiologici, strutturali e funzionali dell'organismo vengono pianificati e programmati per produrre una prestazione migliore. Sia l'esercizio fisico sia l'allenamento sono reversibili e individualizzati.

Nel DMT1 tale processo non perde la propria natura sportiva. L'atleta con diabete va allenato secondo i medesimi 5 principi fisiologici (*sovraccarico*: in assenza di uno stimolo che superi la soglia abituale non c'è adattamento; *progressività*: cura nell'incrementare il volume e poi l'intensità per una maggiore stabilità glicemica; *specificità*, *individualizzazione*, *super-compensazione/recupero*) che guidano la preparazione di ogni altro atleta. La seduta, però, si svolge in un contesto metabolico più complesso. Insulina esogena, disponibilità di carboidrati, glicemia, trend del CGM, precedenti ipoglicemie, stress, sonno e timing dei pasti possono modificare la risposta acuta (aggiustamento) alla stessa seduta.

La sfida non consiste, pertanto, nel creare una "preparazione atletica per persone con diabete" ma nell'integrare correttamente il DMT1 in una preparazione atletica ben costruita, dove poter ottenere nel

cronico adattamenti strutturali (fra i quali aumento del grado di capillarizzazione e del numero di mitocondri e trasportatori GLUT4 a riposo nei muscoli e migliore efficienza cardiaca) e funzionali (fra i quali migliorata sensibilità insulinica basale, minor fabbisogno insulinico giornaliero, minore variabilità glicemica, innalzamento della soglia anaerobica, migliore flessibilità metabolica ed adattamento cardiovascolare). Nel DMT1 il principio regolatore resta invariato ma assume importanza la sicurezza: diario glicemico e/o CGM divengono fondamentali. Senza aggiustamenti (durante lo stimolo allenante) non si può concludere l'allenamento, senza adattamenti non si ottiene il miglioramento cronico.

Domanda guida

Come si programma un allenamento capace di produrre adattamento e prestazione senza trasformare la glicemia nel criterio con cui si giudica la qualità della seduta?

17.1 Il primo obiettivo: conoscere l'atleta prima del diabete

La programmazione inizia dalla persona, dalla disciplina praticata e dal background motorio: età, esperienza, livello competitivo, storia di infortuni, disponibilità di tempo, obiettivi, calendario e caratteristiche tecniche dello sport. Il DMT1 aggiunge informazioni essenziali, ma non sostituisce tale valutazione.

Un atleta che prepara una 21 km, un centrocampista, un ciclista di endurance e un praticante di forza possono presentare lo stesso valore di HbA1c e utilizzare il medesimo sistema AID, ma richiedono pianificazione e programmazione completamente differenti. La prescrizione nasce dalla domanda prestativa; la gestione diabetologica rende possibile realizzare la prestazione in sicurezza.

La valutazione funzionale e chinesiologica iniziale è in funzione degli obiettivi e dovrebbe quindi comprendere parametri a riposo (PA, FC, spO2, scala RPE o percezione dello sforzo, scala del dolore neuropatico da 0 a 10, glicemia capillare/CGM), funzionalità cardio-respiratoria e neuromotoria, forza, mobilità articolare e controllo motorio (anche del piede) quando pertinenti, composizione corporea se utile, storia di carichi recenti e relativi infortuni, recupero, sonno. I dati metabolici entrano come secondo livello di lettura: non dicono quale adattamento si debba allenare ma aiutano a comprendere in quali condizioni venga svolto l'allenamento (quanto il diabete incida su nervi, vasi, piede e postura), nonché ad interpretare la risposta allo stimolo allenante.

17.2 Dal test alla programmazione: che cosa vogliamo adattare?

Allenarsi significa somministrare uno stimolo sufficientemente specifico da perturbare l'omeostasi e consentire, durante lo sforzo ed il recupero, non solo temporanei e reversibili aggiustamenti ma anche adeguati e programmati adattamenti dopo settimane/mesi di stimoli ripetuti (risposte croniche stabili richiedono valido aggiustamento + recupero + ripetizione). La specificità è fondamentale: per migliorare la capacità aerobica occorrono stimoli diversi da quelli necessari per sviluppare forza massima, potenza neuromuscolare o tolleranza a ripetuti sprint.

Nel DMT1 può nascere la tentazione di scegliere sempre l'esercizio che "muove meno la glicemia", ma tale scelta configurerebbe un errore metodologico. Se l'atleta deve migliorare la potenza, non è razionale sostituire sistematicamente le sedute necessarie con esercizio moderato soltanto perché metabolicamente più prevedibile. Occorre, invece, imparare a gestire in sicurezza lo stimolo richiesto dall'obiettivo.

17.3 Volume, intensità, frequenza e densità

Il carico di allenamento non è una singola variabile. Il volume descrive il lavoro eseguito in termini quantitativi (metri/km, kg totali, minuti/h); l'intensità ne esprime la qualità relativa o assoluta (%FCmax, %1RM, velocità, watt, RPE); la frequenza indica quante esposizioni vengono distribuite nel tempo; la densità descrive il rapporto lavoro/pausa, il recupero tra gli sforzi. La durata comprende il tempo

dedicato alla singola ripetizione/sforzo continuo; la complessità o tipo di esercizio descrive la modalità. La combinazione di tali elementi determina lo stimolo complessivo e definisce il carico esterno.

Nel DMT1 l'errore è esaminare solo il carico interno (come risponde il corpo: glicemia, lattato e FC) perché, se non si programma il carico esterno, la glicemia resta sempre una sorpresa e la stessa modifica del carico può avere conseguenze metaboliche differenti. Il volume rappresenta la variabile che più incide sul calo glicemico nelle 24h successive: più aumenta, infatti, maggiore è l'esaurimento relativo delle riserve di glicogeno e il conseguente rischio di ipoglicemia notturna; per tale motivo, aumentare la durata di una seduta aerobica può accentuare il rischio di ipoglicemia e il fabbisogno di strategie preventive. L'intensità è la variabile che decide la direzione della glicemia: aumentare l'intensità, infatti, può accentuare la risposta catecolaminergica e, in differenti contesti, favorire stabilità o incremento glicemico. Tale variabilità non cambia la definizione del carico ma richiede una lettura del momento specifico. Quanto alla frequenza, è meglio che il muscolo resti sensibile e non esaurisca tutto il deposito di glicogeno in un giorno, evitando così severe ipoglicemie notturne. La densità costituisce la variabile utile alla protezione: a pari intensità, un maggior recupero riduce il rischio di ipoglicemia; una densità elevata comporta accumulo di lattato, attivazione di fibre IIa e rapido calo glicemico, una bassa densità consente il reclutamento di fibre IIx e risparmio di glucosio.

17.4 Carico esterno e carico interno: due facce della stessa seduta

Il carico esterno è ciò che l'atleta compie: chilometri, velocità, watt, ripetizioni, chilogrammi sollevati, accelerazioni, salti, durata. Il carico interno rappresenta la risposta dell'organismo: frequenza cardiaca-FC, variabilità cardiaca-HRV, consumo di ossigeno-VO2max, lattato quando misurato, percezione dello sforzo, fatica e recupero. Recentemente una nuova metrica, il cosiddetto TRIMP (Training Impulse, o Impulso Allenante) consente di quantificare e monitorare il carico di allenamento per migliorare le prestazioni atletiche, specie negli sport di resistenza (corsa, ciclismo, triatlon) e/o apportare variazioni alla programmazione. Esso, che costituisce un indice di carico interno in grado di monitorare l'affaticamento e prevenire danni, tiene conto di durata e intensità di allenamento e frequenza cardiaca: un TRIMP a lungo elevato, infatti, può aumentare il rischio di infortuni e sovrallenamento. Costituiscono un limite al suo utilizzo l'influenza di alcuni fattori (età, sesso, forma fisica) e la bassa accuratezza negli sport di resistenza di breve durata (nuoto).

Nel DMT1 è utile aggiungere una terza dimensione, che potremmo definire contesto metabolico della seduta (o carico metabolico-terapeutico): glicemia di partenza, trend CGM, insulina attiva-IOB e basale erogata da AID, pasti recenti, eventuali carboidrati assunti, precedente ipoglicemia, TIR e coefficiente di variazione glicemica-CV% durante lo sforzo, corpi chetonici. Tali informazioni non sono una misura del carico allenante ma spiegano perché una seduta identica possa essere vissuta e gestita in modo diverso in giorni differenti.

Carico esterno	Carico interno	Contesto metabolico
Velocità, distanza, watt	FC, RPE, lattato, fatica	Glicemia, trend, IOB
Ripetizioni, kg, salti	Risposta cardiorespiratoria e neuromuscolare	Pasto, CHO, precedente ipoglicemia
Durata e densità	Recupero percepito e oggettivo	Timing e modalità insulinica

Tabella 17.1. Carico esterno, carico interno e contesto metabolico: elementi distintivi

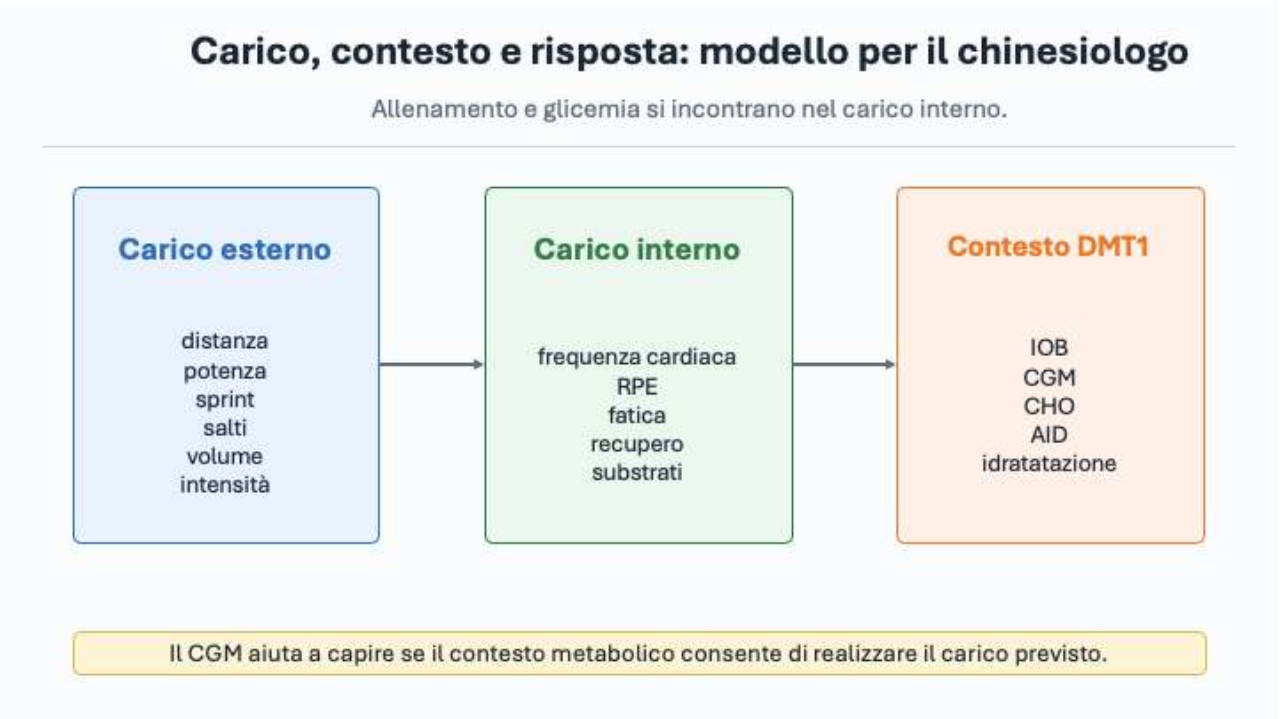


Figura 17.2. Carico esterno, carico interno e contesto metabolico: tre livelli distinti ma complementari nella lettura della seduta.

17.5 Il monitoraggio del carico non deve generare ansia

Nel DMT1 il monitoraggio integra il carico esterno, il carico interno classico ed il carico metabolico-terapeutico (glicemico, terapeutico e di recupero): lo stesso carico esterno è molto più costoso se si ha il 70% di TIR durante la notte. Esempio: stessa tipologia di allenamento 5 x 5 squat a 100 kg

a) giorno A: sonno buono, notte prima con TIR 95% e TBR 0%, buon recupero → 5 x 5 = RPE 6
b) giorno B: sonno frammentato, notte prima con TIR 70% e TBR 15% per 2 ipoglicemie notturne con allarmi, glicogeno esaurito, sistema nervoso in allerta→ 5 x 5 = RPE 8.5.

In tal senso, nel DMT1, la programmazione deve tener conto sia del carico esterno sia del costo della notte precedente: con TBR notturno elevato il giorno dell'allenamento deve prevedere un minor carico esterno altrimenti c'è il rischio di sovraffaticamento o "overreaching". Nelle variabili del carico interno, la RPE-percezione dello sforzo è più importante della FC: in presenza di ipoglicemia o di sonno interrotto da un allarme o di scarsa IOB, la FC è bassa, ma la RPE elevata indica un elevato sovraccarico del sistema nervoso. La sensazione di fatica durante o al termine della seduta, espressione di carico interno istantaneo, su una scala da 0 a 10 viene distinta in leggera (3), dura ma gestibile (5), molto dura (8-9) e massimale (10). Una RPE che cresca di 2 punti a parità di carico esterno per 2-3 giorni costituisce il primo segnale di scarsa tolleranza al carico (recupero), prima ancora che si riconosca al CGM. Altri parametri di rilievo per la previsione dell'overreaching sono la sRPE (RPE x minuti, espressione di carico settimanale), la monotonia, gli stiramenti muscolari e l'ACWR (rapporto carico acuto/cronico).

Esempio: a) pesistica: RPE 7 x 60' = 420 AU (unità arbitrarie); b) corsa blanda: RPE 4 x 90' = 360 AU

Anche se la corsa dura più a lungo, il costo del sollevamento-pesi è stato maggiore, in termini di intensità percepita e carico settimanale. A parità di carico esterno (es. 5 x 5 a 100 kg) se la sRPE aumenta nei 3-4 giorni consecutivi e peggiorano TBR notturno (>4%) e sonno, lo stesso CV > 36% indica che il carico non è tollerato: non siamo di fronte a un problema metabolico, occorre scaricare. Se, viceversa, il TIR scende solo per 2-3 giorni dopo un incremento di volume, ma RPE e sonno sono buoni e non ci sono ipoglicemie tardive, si è in presenza di un adattamento metabolico, non di sovrallenamento. Un atleta con DMT1 che, per affrontare la stessa seduta, assume una maggior quantità di CHO dimostra di non essere stato in grado di recuperare.

Il monitoraggio del carico nel DMT1 è importante per prevenire l'ipoglicemia tardiva ma non al punto da creare una condizione di ansia, che di per sé eleverebbe la glicemia e altererebbe il sonno.

Un test semplice, indicatore di fatica neuromuscolare pura, non influenzabile da glicemia, insulina, stato emotivo (come lo sono FC e HRV) è il countermovement jump (CMJ) al mattino a digiuno. È utile per comprendere se l'atleta con DMT1 ha recuperato o meno: un calo superiore al 5-6% per 2 giorni consecutivi indica un accumulo di fatica e intolleranza al carico prima del calo di performance; è opportuno, quindi, ridurre il carico del 30-40% anche se il TIR è buono nella giornata se il TBR notturno è elevato (il sistema nervoso non ha recuperato per ipoglicemia e sonno frammentato).

Il log giornaliero minimo, che integra carico interno percepito, recupero e carico metabolico-terapeutico, configura lo strumento pratico utile al chinesiologo magistrale LM67/LM68 per monitorare il carico in un atleta con DMT1 (diario di carico); esso fa riferimento a 5 parametri indispensabili:

- carico interno: RPE e sRPE
- recupero: sonno come ore di riposo vero + risvegli
- costo metabolico o marcatore di recupero metabolico: TIR/TBR notturno/CV %
- tollerabilità: ipoglicemia da 0 a 24 h successive
- costo terapeutico: CHO extra + correzioni di insulina per allenarsi

Tali parametri consentono di costruire una prevedibilità metabolica: "questo tipo di seduta, con questa insulina attiva, mi costa X". Con 3-4 settimane di log giornaliero minimo si costruisce una sorta di "repertorio individuale" di risposta al carico (la "mappatura costo-carico"), con passaggio da una gestione reattiva ad una gestione pro-attiva: a parità di seduta, durata, RPE e IOB, il chinesiologo magistrale LM67/LM68 può, collaborando attivamente con la persona con diabete, prevedere il costo metabolico-terapeutico e pianificare strategie di prevenzione di ipoglicemia tardiva.

17.6 Utilità dell'indicatore di recupero

Nel DMT1 un indicatore di recupero è utile se stabile, non invasivo, poco influenzabile dallo stato emotivo e in grado di orientare una decisione; se, invece, crea ansia senza modificare CHO, insulina o carico, un dato va ignorato per evitare un sovramonitoraggio. Oltre al log giornaliero minimo, di alta utilità e basso costo (usato per decidere se allenare, scaricare o mangiare di più), può essere utile un monitoraggio del carico settimanale (soprattutto HR a riposo mattutina, DOMS [dolori diffusi], umore, motivazione e tendenza del TIR settimanale); risultano, invece, controproducenti - poiché a rischio di aumento del carico cognitivo nel DMT1 e frammentazione del sonno con peggioramento del recupero – un monitoraggio quotidiano dell'HRV, una fine analisi del tracciato CGM (specialmente notturno) e l'utilizzo di metodi commerciali (misura di CK e lattato, readiness score, questionari).

17.7 CGM non è un misuratore della qualità dell'allenamento

Una curva glicemica piatta non dimostra che la seduta sia stata ben costruita e, a sua volta, un'eccessiva variazione glicemica non dimostra che l'allenamento sia stato sbagliato. Il CGM misura il glucosio interstiziale e fornisce informazioni preziose per la sicurezza e per l'apprendimento individuale, ma non offre indicazioni dirette su stimolo allenante, consumo energetico, deplezione del glicogeno, qualità tecnica o adattamento. Il CGM non misura la performance (non è marker di carico né di adattamento) e rappresenta solo un dato metabolico importante (strumento di feedback per la gestione del rischio e per individualizzare la strategia insulina-carboidrati intorno all'esercizio).

Confondere tali piani può produrre una preparazione eccessivamente conservativa: premiando le sedute metabolicamente "belle" e penalizzando quelle fisiologicamente necessarie. Il compito del team è invece imparare a rendere gestibili anche gli allenamenti che, per natura, generano risposte glicemiche meno lineari.

17.8 Periodizzazione: organizzare lo stimolo nel tempo

Una singola seduta può essere eccellente ma risultare inutile se collocata male. La periodizzazione organizza il lavoro su scale temporali differenti: singola seduta, microciclo (3 -7 giorni), mesociclo (4- 8 settimane) e stagione/macrociclo. Periodizzare vuol dire fornire lo stimolo giusto al momento giusto in modo che, dopo 1 mese, l'aggiustamento quotidiano divenga adattamento. L'obiettivo è distribuire carico e recupero in modo coerente con le priorità della disciplina e con il calendario competitivo.

Nel DMT1 la ripetibilità ha un valore aggiuntivo. Ripetere sedute simili in condizioni sufficientemente documentate permette all'atleta di riconoscere pattern personali: quanto la glicemia tende a scendere in un lento di 60 minuti, come reagisce agli intervalli, che cosa accade dopo una seduta serale di forza. Non si tratta di trasformare l'allenamento in un esperimento continuo, ma di utilizzare l'esperienza per ridurre progressivamente l'incertezza. Inoltre il microciclo consente di non sovrapporre i picchi di sensibilità insulinica; il mesociclo è fondamentale per rivalutare il fabbisogno di insulina basale (in media ogni 3 settimane). Per il DMT1 è importante periodizzare insulina e CHO insieme al carico.

17.9 Endurance: costruire capacità senza inseguire soltanto la glicemia

La preparazione di endurance combina abitualmente lavoro a bassa e moderata intensità, sedute di soglia, intervalli ad alta intensità e progressioni di volume. Il contributo relativo dei substrati cambia con intensità, durata e grado di allenamento; nel DMT1 la risposta glicemica è ulteriormente modulata dall'insulina circolante.

Il vero chinesiologo (laureato magistrale LM67, LM68 per l'alta performance) definisce lo stimolo allenante necessario per creare un adattamento modulando i vari parametri del carico; diabetologo e atleta costruiscono la strategia metabolica che consenta di eseguirlo in sicurezza e garantire la tolleranza (il primo stabilisce cosa fare, i secondi decidono come renderlo possibile). Tale separazione di responsabilità è fondamentale: non si riduce l'intensità prevista perché la glicemia tende a scendere se esistono modalità sicure per gestire il calo glicemico; analogamente non si forza una seduta quando le condizioni cliniche la rendono inappropriata. Nel DMT1 è più appropriato parlare di "esercizio co-gestito" piuttosto che di "esercizio prescritto": l'atleta è al centro e con il suo feedback di CGM e sensazioni chiude il cerchio.

17.10 Forza e potenza: componenti spesso sottovalutate

La forza non è soltanto una qualità per chi pratica sollevamento pesi. Contribuisce a prestazione, economia del gesto, mantenimento della massa muscolare, salute ossea e resilienza agli infortuni. Le raccomandazioni ADA 2026 includono 2-3 sessioni settimanali di esercizio contro resistenza (resistance training) distribuite in giorni non consecutivi per la maggior parte degli adulti con diabete.

Le sedute di forza e gli esercizi molto intensi possono produrre risposte glicemiche differenti dalle prove di endurance protratto. La maggiore attivazione simpatica può limitare il calo e determinare un incremento glicemico transitorio. Anche in tale ambito, però, non esiste una risposta universale: ordine degli esercizi, volume, pause, massa muscolare coinvolta, reclutamento di fibre/unità motorie, stato alimentare e insulina attiva modificano il quadro. Per la risposta glicemica e per l'adattamento di forza non conta la massa muscolare (determinante del costo metabolico), ma la qualità e modalità di reclutamento delle fibre ed unità motorie (determinante del tipo di metabolismo).

17.11 Sport intermittenti: il problema della variabilità

Calcio, pallacanestro, tennis e molte discipline di squadra alternano fasi aerobiche, accelerazioni, sprint, pause, gesti tecnici e componenti emotive. La media della frequenza cardiaca o della velocità descrivono male tale complessità. Nel DMT1 la difficoltà o fattore limitante non è il carico metabolico totale, ma l'imprevedibilità del carico (non poter prevedere quando e quanto si consuma); oltre alla alta variabilità glicemica intra-seduta (alternanza di fasi aerobiche ossidative-ipoglicemizzanti ed anaerobiche glicolitiche-iperglicemizzanti o catecolamino-dipendenti) esistono variabilità inter-seduta

(non esiste mai una partita uguale all'altra, tutto dipende da ruolo, avversario, arbitro, punteggio, strategia mai replicabile) e doppio rischio (ipoglicemico nelle fasi di bassa intensità e in epoca tardiva, notturna per deplezione di glicogeno durante gli sprint, ma anche iperglicemico finale per adrenalina).

La preparazione deve quindi considerare la capacità di ripetere sforzi ad alta intensità, recuperare rapidamente, mantenere qualità tecnica sotto fatica e tollerare una durata talvolta imprevedibile. Dal punto di vista glicemico, la componente intermittente può attenuare la caduta tipica dell'esercizio aerobico continuo, ma non elimina il rischio di ipoglicemia durante o dopo l'attività. L'elevata variabilità glicemica rende inefficace una strategia fissa di insulina/CHO, ma richiede un approccio adattivo basato su CGM, esperienza e classificazione dell'intensità a posteriori.

17.12 Recupero: parte dell'allenamento, non intervallo tra due allenamenti

L'adattamento avviene quando allo stimolo segue un recupero adeguato. Sonno, alimentazione, reintegro del glicogeno, gestione della fatica e distribuzione delle sedute condizionano la capacità di sostenere il programma (periodizzazione), di trasformare l'aggiustamento acuto in adattamento cronico; rappresentano gli strumenti operativi con cui il chinesiologo organizza il recupero nel microciclo: due sedute dure ravvicinate non consentono il recupero e l'adattamento neanche in presenza di alimentazione e sonno adeguati.

Nel DMT1 il post-esercizio richiede attenzione aggiuntiva perché l'aumento della sensibilità insulinica può persistere per ore. Il documento di consensus di Adolfsson et al. (ISPAD) sottolinea che il rischio di ipoglicemia può aumentare durante, subito dopo e fino a 24 ore dopo l'esercizio nei giovani. Il recupero sportivo e la prevenzione dell'ipoglicemia tardiva devono quindi essere progettati insieme, senza confondere, però, il reintegro energetico con il trattamento preventivo di un eccesso relativo di insulina. Pertanto nel DMT1 è importante anche il recupero metabolico: se non si reintegra bene glicogeno e/o non si gestisce bene la basale notturna, aumenta il rischio di ipoglicemia con la conseguente frammentazione del sonno e si altera il meccanismo di adattamento.

17.13 Overreaching, overtraining e segnali da non semplificare

Una programmazione efficace alterna sovraccarico e recupero per indurre adattamenti. Un periodo breve di fatica funzionale può essere previsto (overreaching funzionale) ma, come già detto, riduzione persistente della prestazione, alterazioni del sonno, irritabilità, perdita di motivazione o recupero insufficiente sono un campanello d'allarme (overreaching non funzionale ed overtraining syndrome) e richiedono, invece, interruzione del sovraccarico e rivalutazione del programma.

Nel DMT1 nessun singolo pattern glicemico (TBR, TIR in calo, alta variabilità glicemica) permette di diagnosticare sovrallenamento perché variazioni della glicemia possono accompagnare stress, malattia, sonno insufficiente-frammentato o cambiamenti del carico, ciclo mestruale e devono essere interpretate nel quadro complessivo. Anche qui il dato metabolico è un segnale contestuale da interpretare nel quadro complessivo e non consente una diagnosi sportiva.

17.14 "Tapering" e gara: ridurre il carico senza perdere l'adattamento

Prima di una competizione importante il volume può essere ridotto mantenendo una quota di intensità, con l'obiettivo di dissipare la fatica preservando gli adattamenti e giungere alla super-compensazione. Nel DMT1 il "tapering" (graduale riduzione del carico allenante) può modificare anche il fabbisogno insulinico abituale, perché diminuisce il volume complessivo di attività ma, mantenendo l'intensità, si mantiene elevata la sensibilità insulinica. Una strategia metabolica efficace nelle settimane di carico non deve quindi essere trasferita automaticamente ai giorni precedenti la gara. Inoltre nel tapering è il momento di stabilizzare il quadro.

La gara aggiunge inoltre stress emotivo con massivo rilascio di catecolamine, orari diversi e comportamenti nutrizionali specifici. Per tale motivo la strategia di gara dovrebbe essere provata, per quanto possibile, in allenamenti di simulazione.

17.15 Allenare la prevedibilità metabolica

La prevedibilità metabolica non è la riproducibilità di un singolo valore glicemico (non significa ottenere sempre la stessa risposta glicemica), bensì la capacità di ridurre l'incertezza della risposta attraverso esperienza strutturata. Sedute ricorrenti, annotate in modo essenziale, permettono di riconoscere risposte personali (standardizzare le condizioni per imparare, raccogliere dati nello stesso contesto, creare un range atteso piuttosto che un numero fisso, ridurre l'errore) e di costruire strategie progressivamente più affidabili, raffinando la capacità di essere pro-attivi.

Dato che un eccesso di dati può diventare "rumore" e aumentare il carico cognitivo, è utile registrare soltanto le variabili che possono influenzare una decisione: tipo e durata della seduta, intensità, orario, glicemia e trend iniziali, IOB quando disponibile, principali interventi su insulina e CHO, esito durante e nelle ore successive.

Il massimo non si ottiene inseguendo la glicemia perfetta ma replicando in maniera strutturata le condizioni per costruire un'esperienza individuale in grado di anticipare la direzione e l'ampiezza di variazione e anche di preparare una strategia di correzione (non di prevenzione assoluta).

Esempio di costruzione della prevedibilità metabolica:

- ✓ settimana 1-2: raccolta dati, no cambiamenti, semplice osservazione;
- ✓ settimana 3-4: inizio comparsa pattern:
  - pesi gambe RPE 7, 60' con IOB=1.5U→ glicemia stabile durante, +35% TBR notte, -20% basale notte + 15g CHO extra prima di coricarsi;
  - corsa blanda RPE 4, 90' con IOB=0.5U→ calo lento 40mg/dL, 20g CHO intra;
  - HIIT RPE 8, con IOB alta→ picco a 200mg/dL per adrenalina e poi crollo a 3h

Prima del log giornaliero minimo: paura dell'ipoglicemia → alimentazione casuale → iperglicemia→ correzione → ipoglicemia.

Dopo il log giornaliero minimo l'atleta conosce già prima della seduta il consumo di CHO prevedibile, la quantità di insulina necessaria e le ore di sonno necessarie. In tal modo, può programmare, non reagire. Il controllo non è perfetto, ma prevedibile e, come tale, è allenabile.

Principio operativo

Registrare meno variabili, ma registrare quelle utili a prendere una decisione. L'obiettivo non è creare un archivio perfetto ma riconoscere pattern sufficientemente affidabili da migliorare allenamento e autonomia.

17.16 Il lavoro di squadra e i confini professionali

Gli specialisti LM67 (laureato magistrale in Scienze delle Attività Motorie Preventive o Adattate-AMPA per la "sfera" preventivo-terapeutica) o LM68 (laureato magistrale in Scienze e Tecniche dello Sport per la preparazione atletica d'élite) prescrivono e modulano il carico di allenamento nell'ambito delle proprie competenze al fine di ottenere degli adattamenti; il diabetologo definisce sicurezza clinica e strategie terapeutiche per garantirne la tollerabilità; il dietista o nutrizionista, quando coinvolto, struttura l'alimentazione in termini di carburante energetico e recupero (ad es., CHO totali, proteine necessarie per la sintesi e distribuzione giornaliera degli alimenti); da "co-decisore", l'atleta porta esperienza vissuta e contesto di vita, preferenze e conoscenza della propria risposta (feedback in tempo reale, responsabilità ed autonomia). Nessuna di tali competenze è accessoria e la stessa comunicazione tra i vari stakeholders non è opzionale.

Il passaggio dal vecchio al nuovo modello è caratterizzato dalla transizione della decisione del team-esecuzione dell'atleta allo shared decision making in cui insieme team ed atleta scelgono la strategia

più efficace e sostenibile (basata su evidenze + esperienza sul campo). Integrare l'expertise esperienziale dell'atleta con DMT1 non riduce la professionalità del team, ma la rende efficace e soprattutto fa sì che la prescrizione corretta sulla carta possa divenire un comportamento sostenibile nel tempo.

La collaborazione diviene particolarmente importante quando un problema sembra appartenere a un solo dominio. Una seduta interrotta ripetutamente per ipoglicemia non è soltanto un problema glicemico: impedisce di raggiungere il carico previsto; l'aggiustamento terapeutico del diabetologo diviene nuovo "vincolo" per la modulazione del carico. Un programma troppo aggressivo non è soltanto un problema sportivo: può aumentare la difficoltà della gestione quotidiana e ridurre l'aderenza; il dato CGM del chinesiologo diviene informazione clinica per il diabetologo.

Errore concettuale frequente
Considerare "buona" una seduta soltanto quando la curva CGM è piatta. La qualità dell'allenamento dipende dallo stimolo previsto e dall'adattamento ricercato; la qualità della gestione metabolica dipende dalla capacità di eseguire tale lavoro stimolante in condizioni sicure e sostenibili.

17.17 Un modello pratico per la seduta

- **Prima**: definire l'obiettivo allenante e verificare che le condizioni cliniche consentano la seduta.
- **Durante**: monitorare carico esterno, risposta interna e sicurezza metabolica senza inseguire ogni oscillazione del sensore.
- **Dopo:** valutare se lo stimolo è stato completato e come è stato tollerato, come si è comportata la glicemia e come procede il recupero.
- **Nel tempo**: usare sedute confrontabili per personalizzare sia il programma sia la strategia metabolica (clinica ed alimentare).

17.18 Ritorno allo sport dopo stop per infortunio o malattia

Affrontiamo qui il periodo in cui maggiormente si tende a commettere errori, data la presenza contemporanea di decondizionamento, stato infiammatorio e paura dell'ipo.

La corretta gestione, in 3 fasi in base ai marcatori piuttosto che ai giorni di stop, può essere utile sia per l'atleta con DMT1 sia per il chinesiologo magistrale LM67/LM68:

a) **fase acuta** (malattia/infortunio ancora attivo): il focus principale è stabilizzare piuttosto che allenare, mantenere solo mobilità e camminata RPE 2-3 con IOB minima, non forzare il rientro se c'è febbre nelle ultime 24h, TBR notturna >4% per 2 notti, CMJ al mattino -8%, RPE a riposo >4/10;
b) **fase di rientro** (primi 7-10 giorni): è importante non raddoppiare il carico (rischio infortuni), ma regolare l'ACWR (esempio: 50% volume, 70% intensità della prima settimana), mappare di nuovo il quadro per 3-4 sedute (stesso allenamento + IOB + CHO extra = quale TBR notturno?) per riequilibrare la sensibilità insulinica, individuare una sequenza allenante intelligente (ad es., giorni 1-2: forza full body leggera RPE 4-5, senza lavoro metabolico; giorni 3-4: aerobico continuo e leggero 20'-30' RPE 4; solo successivamente, con buon TBR, si rintroduce HIIT), prevenire l'ipoglicemia tardiva (rischio ipoglicemico notturno doppio per re-sintesi glicogeno più aggressiva);
c) **fase di ricostruzione** (settimane 2-4): caratterizzata dalla progressione del carico + 10-15% sRPE a settimana al massimo, i cui criteri per progredire sono:
    - TBR notturna <4% per 3 giorni consecutivi e CV% <36%;
    - CMJ rientrato entro -3% dal basale pre-stop;
    - RPE a parità di carico esterno uguale al precedente;
    - nessuna ipoglicemia severa nelle 0-24 h successive,

in caso contrario, la sequenza va ripetuta.

Nell'atleta DMT1 il return to play/sport non è guidato solo da dolore o stato influenzale/infiammatorio, ma dalla tolleranza metabolica; dopo malattia/infortunio si azzera il chronic load e si ricostruisce il profilo di tolleranza al carico o repertorio individuale di tolleranza metabolica al carico (in gergo tecnico la "mappatura costo-carico", ossia il costo di ogni tipologia di seduta di allenamento in termini di CHO, insulina e rischio di ipoglicemia tardiva), con una progressione ben strutturata (ACWR<1.3). L'obiettivo non consiste nel tornare al carico pre-stop, bensì tornare ad una prevedibilità metabolica stabile.

Take-home messages

- L'atleta con DMT1 deve essere allenato secondo i principi della fisiologia dell'allenamento, non secondo la sola risposta del CGM.
- Il diabete modifica il contesto nel quale lo stimolo viene eseguito, non l'obiettivo fisiologico dello stimolo.
- Carico esterno, carico interno e carico metabolico-terapeutico devono essere distinti e poi integrati.
- La ripetibilità delle sedute può trasformare l'esperienza in prevedibilità metabolica.
- La collaborazione tra atleta, chinesiologo magistrale LM67/LM68 e team diabetologico consente di perseguire contemporaneamente sicurezza e prestazione.

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

Adolfsson P, et al. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2022: Exercise in children and adolescents with diabetes. *Pediatr Diabetes.* 2022;23(8):1341–1372.

American Diabetes Association. Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care.* 2026;49(Suppl 1).

Riddell MC, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2017;5(5):377–390.

PARTE V — DALLO SPORT SPECIFICO ALLA LETTURA DELLA RISPOSTA

Capitolo 18 — Sport di endurance: corsa e ciclismo



Fig. 18.1. Corsa e ciclismo: lo stesso principio di endurance, ma opportunità nutrizionali e richieste meccaniche differenti

18.1 Corsa di breve e lunga durata: stessa disciplina ma specialità e problemi metabolici differenti.

18.1.1 Non esiste "la corsa"

Una corsa lenta di trenta minuti, una 10 km corsa al limite, una mezza maratona e una maratona appartengono alla stessa disciplina ma non condividono dinamica e problema fisiologici (rischio clinico) nel DMT1, visto che cambia proprio il “motore” (o sistema energetico dominante) ma anche il fattore limitante. Variano intensità relativa, durata, velocità di utilizzo del glicogeno, contributo dei carboidrati esogeni, risposta catecolaminica e probabilità che l’insulina attiva diventi eccessiva rispetto alla richiesta del momento.

Per questo la strategia non dovrebbe partire dalla distanza come etichetta. È più utile descrivere la prova attraverso durata attesa, intensità relativa (%VO2max, %soglia), stato alimentare e IOB prevista alla partenza. La distanza acquista significato soltanto attraverso tali variabili. Una corsa di 10 km conclusa in 36 minuti o in 70 minuti condividono solo il chilometraggio, non l’intensità relativa, la durata dell’esposizione all’insulina attiva (IOB), il rapporto fra carboidrati endogeni ed esogeni (in quanto varia la mappatura dei CHO per ora), il carico interno (sRPE x durata), la risposta ormonale complessiva, il costo meccanico e quello termico (legati soprattutto a tempi di contatto, picchi di forza e grado di disidratazione).

18.1.2 Corsa di fondo relativamente breve nell’atleta allenato

In un atleta molto allenato una prova di 40-60 minuti può produrre una perturbazione glicemica contenuta quando l’esposizione insulinica è adeguata e la produzione epatica compensa la captazione muscolare. La stabilità non significa basso costo energetico: una 10 km corsa ad alta intensità può utilizzare molto glicogeno pur mostrando una curva relativamente piatta.

Il punto clinico è distinguere la glicemia stabile dall’assenza di richiesta metabolica. La prima descrive l’equilibrio momentaneo fra ingresso e uscita di glucosio dal compartimento circolante: si consuma tanto (anche 20-25 kcal a 20 km/h), ma produzione epatica di glucosio ed uptake muscolare perfettamente bilanciati (elevato turnover glucidico con alta portata, non basso costo energetico) grazie all’adattamento; la seconda riguarderebbe invece il lavoro muscolare esterno, che può essere elevato. In prove relativamente brevi, quindi, il problema può consistere meno nel "nutrire la gara" e più nell’evitare di iniziare con un eccesso di insulina. La stabilità glicemica descrive il bilancio ed equilibrio momentaneo tra ingresso ed uscita del glucosio dal compartimento ematico, non l’entità del flusso e nel DMT1 può risultare una “trappola” se si legge solo la curva CGM, il costo vero lo si paga con la deplezione glicogenica e la relativa ipersensibilità insulinica nelle 6-12h successive e con il picco adrenergico reattivo al crollo glicemico che si verifica 2-3h che si sia corretta l’iperglicemia di fine-corsa.

Una 10 km non è metabolicamente "insignificante"

La durata relativamente breve può limitare la necessità di CHO-P durante la prova, ma non riduce necessariamente l’utilizzo di glicogeno. Nell’atleta allenato la curva CGM può essere stabile mentre il lavoro metabolico rimane elevato. Il dato del sensore non deve essere utilizzato come surrogato del costo energetico.

18.1.3 Mezza maratona: quando il tempo cambia il problema

La mezza maratona è una distanza particolarmente istruttiva perché la durata può variare enormemente. Per un atleta di alto livello poco più di un'ora può separare partenza e arrivo; per un amatore la prova può superare le due ore. L'indicazione nutrizionale non può quindi derivare dal "fattore" distanza.

Con il prolungarsi dell'esercizio cresce progressivamente il peso della disponibilità di glicogeno e dell'apporto esogeno. Nel DMT1 diventa inoltre più probabile che CHO-P e CHO-G si sommino. Se l'atleta entra in gara con IOB eccessiva, una parte dell'integrazione programmata viene utilizzata non per produrre lavoro bensì per difendersi dall'ipoglicemia. Il totale ingerito aumenta ma non per questo aumenta il fabbisogno prestativo; è l'errore che facilmente si riscontra in chi guarda solo i grammi ingeriti a fine gara e traduce in "ho consumato 70g/h" quando magari 30-40g/h sono il fabbisogno prestativo (per sostenere 75-80% soglia, mantenere la potenza esterna) e 20-30g/h sono il costo difensivo di CHO correttivi anti-ipo.

18.1.4 Maratona: pianificare prima di correggere

La maratona rende evidente il carattere sistemico della gestione piuttosto che un problema metabolico isolato. Occorre mantenere contemporaneamente disponibilità di substrato (glicogeno + CHO esogeni), idratazione + sodio, tollerabilità gastrointestinale, continuità dell'erogazione insulinica e capacità decisionale per diverse ore. Un piano che obbliga a correggere continuamente glicemia, insulina e alimentazione diventa intrinsecamente fragile proprio quando aumenta la fatica cognitiva definita in gergo tecnico "fragilità da carico cognitivo" che di fatto riduce le risorse per gestirla. Il principio di robustezza nel DMT1 in maratona consiste nel puntare sulla regolazione anticipata a bassa frequenza decisionale piuttosto che su quella reattiva continua: partenza blindata (IOB basso 90' prima), automatismi alimentari (es. 30g CHO ogni 30' a prescindere + sincronizzazione acqua), range glicemici e traguardi intermedi (10°, 20°, 30° km).

La strategia nutrizionale deve essere provata durante gli allenamenti lunghi. La competizione non dovrebbe essere il primo luogo nel quale si sperimentano una nuova miscela glucosio-fruttosio, una quantità di CHO per ora mai tollerata prima o una riduzione insulinica importante. Anche il recupero deve essere pianificato: dopo diverse ore di esercizio, ricostituzione del glicogeno e maggiore sensibilità insulinica possono mantenere elevato il rischio di ipoglicemia oltre il traguardo.

18.1.5 Corsa e ciclismo non sono intercambiabili

Una meta-analisi su persone con DMT1 ha mostrato, in media, una riduzione glicemica maggiore durante corsa rispetto al ciclismo, sport che esamineremo nel dettaglio fra poco. Il dato non deve essere trasformato in una previsione individuale, ma ricorda che la tipologia di esercizio conta. Reclutamento muscolare, impatto meccanico e costo, posizione corporea, intensità realmente sostenuta e possibilità di alimentarsi modificano il contesto metabolico. A parità di durata, la corsa implica una perturbazione glicemica maggiore ma la risposta individuale resta dipendente da IOB di partenza, stato del glicogeno e repertorio di risposta al carico costruito sul campo.

18.1.6 Sprint finale e rialzo post-gara

Uno sprint conclusivo può aumentare rapidamente catecolamine e produzione epatica di glucosio. La glicemia può quindi essere stabile o aumentare nonostante un elevato consumo muscolare di carboidrati (da un serbatoio diverso dal glucosio ematico: glicogeno locale e lattato); può rappresentare la trappola del finale in volata nel DMT1. Correggere immediatamente un rialzo post-gara senza considerare IOB, esercizio appena concluso ed aumento successivo della sensibilità insulinica può predisporre a una crisi ipoglicemica tardiva. La strategia più robusta prevede una finestra di osservazione di 30'-60' prima di un'eventuale correzione frazionata.



Figura 18.2. Nella corsa il peso relativo di IOB, glicogeno, integrazione e recupero cambia con durata e intensità reale.

Domande da porsi prima della corsa

Quanto durerà realmente? A quale intensità relativa? Con quanta IOB inizierà l'atleta? Quali CHO sono programmati per la prestazione e quali potrebbero diventare necessari soltanto per la gestione glicemica? Che cosa accade di solito nelle due ore successive?

18.2 Ciclismo: potenza, durata, alimentazione continua e gestione del dispositivo

18.2.1 Il vantaggio di misurare il lavoro esterno

Nel ciclismo il misuratore di potenza in watt consente di descrivere il lavoro esterno con precisione indipendentemente dalle condizioni ambientali e dallo stato dell'atleta (vento, pendenza, sonno, livelli glicemici).

Due atleti possono esprimere la stessa potenza assoluta ma a percentuali differenti della propria capacità:

- ✓ giorno A: FTP a 350 watt, al 71%, in Zona 2-3 alta. Ossidazione grassi, glicogeno stabile, discesa lenta della glicemia;
- ✓ giorno B: FTP a 280 watt, all'89%, a soglia. Ossidazione CHO, lattato a 4mmol, catecolamine elevate, marcato aumento glicemico iniziale.

Inoltre lo stesso atleta può mantenere la stessa potenza (es, 250 watt) in giorni nei quali il lavoro/costo interno (frequenza cardiaca, percezione dello sforzo e risposta glicemica) è diverso:

- ✓ giorno A: sonno buono, IOB bassa, glicogeno pieno→ FC 135 bpm, RPE 4/10, CGM stabile;
- ✓ giorno B: 3 h di bici, stress post, IOB alto, disidratazione→ FC 155 bpm, RPE 7/10, crollo CGM.

Si crea una sorta di dissociazione tra carico esterno (oggettivo e riproducibile) e carico interno (riflette il costo metabolico in uno specifico contesto).

Questa distinzione è particolarmente utile nel DMT1: il CGM (descrive il bilancio glicemico) non indica quanta potenza sta sviluppando il ciclista, mentre potenza e durata aiutano a capire quale richiesta energetica stia generando la seduta e consentono di rendere riproducibile il carico. Il costo metabolico è variabile: IOB, glicogeno, sonno, idratazione, carico acuto. La risposta glicemica non dipende dalla potenza assoluta, ma dal costo interno e dal contesto metabolico in cui quella potenza si esprime.

18.2.2 Salite, pianura e variabilità della richiesta

Una lunga uscita non è necessariamente uniforme. In caso di salite, rilanci, vento, cambi di gruppo e tratti tecnici, è utile prevedere che alcuni segmenti richiedano energia rapidamente disponibile e che, durante tratti molto intensi, assumere o digerire sia più difficile (fase di minor tollerabilità e capacità digestiva per ridistribuzione flusso ematico ed attivazione simpatica). La strategia efficace, pertanto, è anticipatoria piuttosto che reattiva, dissociando l'assunzione dal momento di utilizzo metabolico secondo tale schema:

- 10'-15' pre-tratto intenso: 15-20 g di CHO + acqua per un rapido assorbimento quando si inizia a spingere;
- durante lo strappo: solo acqua (la digestione non va forzata, in considerazione del fatto che assumere o digerire alimenti o bevande è più difficile durante tratti molto intensi);
- al termine, nei 2'-3' di recupero: completare l'integrazione (l'assorbimento migliora con la ripresa del flusso intestinale).

18.2.3 Endurance lungo e miscele di carboidrati

La possibilità di idratarsi ed alimentarsi frequentemente, in posizione stabile, rende il ciclismo un contesto ideale per strategie con «multiple transportable carbohydrates» (utilizzando, ad es., miscele glucosio-fruttosio 2:1). Quando l'apporto glucidico è elevato, miscele glucosio o maltodestrine-fruttosio (con osmolarità bassa) e gut training (allenamento intestinale, adattamenti funzionali) possono aumentare l'ossidazione esogena (minor utilizzo glicogeno epatico→ minor variabilità glicemica e rischio di ipoglicemia tardiva = miglior stabilità del bilancio glicemico durante EF prolungato) e la tollerabilità, poiché utilizzano differenti trasportatori intestinali (SGLT1 e GLUT5). Nel DMT1 la sfida (in allenamento non in gara, in zona 2-3 non in soglia pura) consiste nell'evitare che CHO-G aggiuntivi spingano il totale oltre ciò che l'intestino tollera e contemporaneamente nell'abituare lo stomaco ad imparare a svuotare anche sotto sforzo con elevata attività simpatica (meno recettori di distensione sensibilizzati→ meno nausea).

18.2.4 Running e cycling: perché la stessa intensità percentuale può non produrre la stessa curva

La letteratura aggregata mostra che la corsa tende a determinare una caduta glicemica maggiore rispetto al ciclismo. La spiegazione è probabilmente multifattoriale (massa muscolare reclutata e contrazioni eccentriche, difficoltà a compensare CHO esogeni, meccanica e costo energetico, risposta ormonale) e non deve essere ridotta a una singola causa. Il dato ricorda però che la tipologia di esercizio, pur avendo la medesima intensità percentuale (%FTP/FC), modifica la risposta (differente curva glicemica) e che una strategia nutrizionale ed insulinica sperimentata in bici non può essere trasferita automaticamente alla corsa.



Figura 18.3. Le differenze più significative fra corsa e ciclismo per le persone con DMT1.

18.2.5 Dispositivo, set infusionale e sicurezza

Nelle uscite lunghe diventano determinanti aspetti pratici a volte trascurati: posizione del sensore e del set, gestione del sudore ed attrito, protezione del dispositivo, disponibilità di insulina di riserva e possibilità di confermare la glicemia capillare in caso di dati dubbi. Un'interruzione dell'erogazione prolungata con microinfusore può diventare clinicamente rilevante più rapidamente di quanto avvenga con terapia multi-iniettiva proprio per l'assenza di un deposito di insulina basale a lunga durata.

Regola pratica

Se l’apporto totale di carboidrati cresce continuamente soltanto per prevenire crisi ipoglicemiche, occorre chiedersi se il problema principale sia davvero il carburante della prestazione o un’esposizione insulinica non adeguata.

Riferimenti essenziali per l’approfondimento

Eckstein ML, et al. Blood glucose response to running or cycling in individuals with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Diabet Med*. 2023;40(3):e14981.

Riddell MC, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2017;5(5):377–390.

Scott SN, et al. Post-exercise recovery for the endurance athlete with type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2021;9(5):304–317.

Yardley JE, et al. The ups and downs of a bike race in people with type 1 diabetes. *Can J Diabetes*. 2015;39(2):105–110.

Capitolo 19 — Sport intermittenti, di squadra o di combattimento.

Nel presente capitolo consideriamo gli sport intermittenti non come un elenco di discipline, ma come famiglie di problemi. Calcio, basket e pallavolo alternano fasi a diversa intensità e offrono finestre decisionali differenti; rugby e altri sport di contatto aggiungono urti, protezione dei dispositivi e possibili interruzioni dell'erogazione; judo, lotta, karate e discipline affini combinano alta intensità, forte componente adrenergica e contatto corpo-corpo. Il criterio resta quello dell'intero Atlante: descrivere prima la richiesta reale dello sport, poi capire come essa interagisca con IOB, CHO, CGM e tecnologia.

19.1 Sport di squadra: ovvero intermittenza, glicogeno e decisioni in tempo reale



Fig. 19.1.1. Sport intermittenti e di contatto: il gesto tecnico modifica anche la gestione pratica della tecnologia

19.1.1 Il calcio

Perché il calcio non è una corsa di novanta minuti

Una partita alterna cammino, corsa a bassa intensità, accelerazioni, sprint, cambi di direzione, salti, contrasti e pause. Il carico medio può apparire aerobico ma molte azioni decisive richiedono potenza elevata e rapido utilizzo di glicogeno. L'effetto glicemico finale deriva dalla successione di fasi metaboliche differenti, dalla risposta adrenergica e dalla componente emotiva della competizione.

La durata nominale di 90 minuti nasconde inoltre differenze fra ruoli, livello tecnico, stile di gioco, temperatura, sostituzioni e tempi effettivi di attività. Il problema clinico non è quindi decidere se il calcio sia aerobico o anaerobico, ma capire quale miscela di richieste metaboliche si presenta a quello specifico atleta.

19.1.2 Carico esterno e carico interno

GPS, distanza totale, velocità media/massima, accelerazioni/decelerazioni e numero di sprint, cambi di direzione, salti, potenza metabolica e lavoro meccanico stimati descrivono il carico esterno. Frequenza cardiaca, %FCmax, RPE, lattato, ventilazione, VO2max, disponibilità di glicogeno e stato di idratazione sono componenti del carico interno. Nel DMT1 si aggiungono le componenti del carico metabolico-glicemico: IOB, glicemia, trend, pasto precedente e timing CHO, modalità AID/erogazione, glicogeno e sensibilità insulinica residua.

Due calciatori che percorrono la stessa distanza possono quindi vivere partite metaboliche diverse. Uno può aver effettuato molti sprint e cambi di direzione arrivando con scorte ridotte di glicogeno (per glicolisi rapida, produzione di lattato ed incremento della sensibilità insulinica successivo); l'altro può aver coperto più metri a ritmo moderato con costo glicolitico inferiore (lavoro prevalente a carico delle fibre di tipo I ossidative a basso consumo glicogeno). Lo stesso valore CGM al termine non riassume tali differenze (due diversi destini metabolici) né predice allo stesso modo il rischio di ipoglicemia tardiva: nel primo caso debito di glicogeno muscolare (per super-compensazione) ed epatico con relativo rischio elevato di ipoglicemia notturna, mentre nel secondo con riserva glucidica. Pertanto nel DMT1 è importante dettagliare il carico esterno perché sono le varie componenti a determinare il carico interno glicemico reale predicendo la deplezione di glicogeno, non i km totali.

19.1.3 Il pasto pre-partita e il rischio di trasformare CHO-P in CHO-G

Il pasto pre-partita deve sostenere le riserve di glicogeno e risultare compatibile con tempi di digestione ed orario di gioco. Nel DMT1 la difficoltà consiste nel non trasformare un pasto prestativo in una fonte di iperglicemia alla partenza o di ipoglicemia da sovradosaggio insulinico (IOB elevata). La riduzione del bolo, quando indicata, va individualizzata in relazione a timing, composizione del pasto, terapia e risposta già osservata; va testata in allenamento, non in gara, col team specialistico.

Un errore frequente è correggere la paura dell'ipoglicemia aggiungendo carboidrati e poi coprirli con insulina. L'atleta può entrare in campo con glicemia elevata ma anche con IOB significativa, preparando una discesa tardiva proprio quando aumenta la componente aerobica del gioco.

19.1.4 Intervallo: una finestra di osservazione, non solo un momento per mangiare

L'intervallo permette di integrare dati diversi. Il CGM dice che cosa sta accadendo al glucosio; l'atleta può riferire fatica, fame, percezione del caldo, intensità del primo tempo e difficoltà di mantenere gli sprint. Una glicemia stabile può convivere con consumo importante di glicogeno; una tendenza in discesa può dipendere soprattutto dall'IOB.

L'assunzione di carboidrati all'intervallo dovrebbe quindi rispondere a due domande separate: serve carburante per il secondo tempo? Serve una quota terapeutica per il trend glicemico? Quando le risposte sono entrambe sì, le quantità possono sommarsi; quando soltanto una delle due è positiva, è utile non confondere i problemi.

19.1.5 Supplementari, fine partita e recupero

Con il prolungarsi della durata aumentano fatica, riduzione delle riserve e difficoltà di mantenere azioni ad alta intensità. Nei supplementari il peso dei CHO-P diventa maggiore. Dopo la partita il recupero deve considerare ricostituzione del glicogeno e rischio di ipoglicemia tardiva, senza applicare automaticamente una riduzione insulinica standard.

19.1.6 Il ruolo del contesto emotivo come carico interno psico-fisiologico

La stessa esercitazione tecnica può produrre un profilo glicemico diverso in gara. Pressione del risultato, pubblico, selezione e momenti decisivi sono componenti dello stress psico-sociale acuto in grado di aumentare la risposta neuro-endocrina (asse simpatico-midollare in 10" -20" → incremento produzione epatica glucosio; asse ipotalamo-ipofisi-surrene in 15 - 30' → transitoria insulino-resistenza) in misura variabile (in allenamento l'attivazione è moderata, proporzionale al carico fisico). Per questo una strategia nutrizionale ed insulinica che funziona in allenamento va validata progressivamente anche nel contesto competitivo.



Figura 19.1.2. Il calcio è una sequenza di richieste differenti: la media dell'intensità non descrive gli sprint e le accelerazioni.

Errore concettuale frequente

Classificare il calcio come semplice esercizio aerobico e attendersi una discesa costante non ha senso. Intermittenza, sprint, pause, risposta adrenergica e IOB possono produrre profili molto differenti nella stessa persona.

19.2 Pallavolo e simili: alta intensità frammentata, pause e variabilità per ruolo



Fig. 19. 2.1. Sport intermittenti e di contatto: il gesto tecnico domina

19.2.1 Uno sport a punti non è un esercizio continuo

La pallavolo, sport intermittente puro, alterna azioni molto brevi e intense (fase esplosiva) a pause frequenti (rotazioni, time-out). Salti, accelerazioni, spostamenti laterali e gesti esplosivi richiedono potenza elevata, mentre la durata complessiva della partita può allungarsi in modo imprevedibile.

La glicemia può risultare relativamente più stabile durante la partita rispetto a un esercizio aerobico continuo di pari durata senza che il consumo di glicogeno sia trascurabile (costo metabolico non basso) con eventuale mascheramento dell'ipoglicemia tardiva. Proprio per evitare tale rischio, una valida strategia per la fase di recupero post-gara potrebbe consistere nella riduzione dell'erogazione basale o nel prolungamento della modalità "esercizio" su AID.

19.2.2 Il ruolo modifica la richiesta metabolica

Centrale, libero, palleggiatore e schiacciatore non presentano lo stesso profilo di azioni. Numero di salti, spostamenti, durata degli scambi e livello competitivo modificano il carico neuromuscolare e metabolico; sono i descrittori di carico esterno a determinare il carico interno metabolico ed il relativo profilo di rischio glicemico. Per la personalizzazione nel DMT1 è quindi più utile descrivere il ruolo e il carico reale che applicare una strategia generica alla parola "pallavolo".

19.2.3 Le pause come vantaggio operativo

Le pause frequenti tipiche della pallavolo offrono opportunità di osservare il trend CGM, assumere piccoli quantitativi di liquidi o carboidrati e rivalutare sensazioni. Tale struttura intermittente può ridurre la necessità di grandi assunzioni preventive di CHO. In un sistema AID occorre però ricordare che una correzione automatica o manuale effettuata durante una fase di rialzo transitorio può aumentare l'IOB e relativo rischio ipoglicemico per i set successivi.

19.2.4 Allenamento tecnico, partita e torneo

Una seduta tecnica con molte pause, una partita singola e un torneo con più incontri nella stessa giornata rappresentano problemi differenti. Nel torneo acquista particolare importanza il recupero fra gare: ripristino dei liquidi, disponibilità di carboidrati, qualità del pasto e gestione dell'insulina devono permettere di ripartire senza accumulare né deficit energetico né eccesso di IOB.

19.2.5 Post-esercizio

L’elevata componente neuromuscolare e l’intermittenza, nonché la variabilità del compito rendono meno prevedibile la risposta glicemica post-esercizio rispetto a una seduta aerobica continua. Il diario strutturato di sedute simili può diventare più informativo di una regola generale, soprattutto quando registra ruolo, durata effettiva e numero di set: consente il passaggio da una prescrizione basata sulla disciplina ad una prescrizione basata sul carico realmente vissuto.

19.3 Sport di contatto e di combattimento



Fig. 19. 3.1. Sport di contatto: il gesto tecnico non è tutto

19.3.1 Judo, lotta, karate e discipline affini

Negli sport di combattimento il problema metabolico e quello meccanico sono inseparabili. Sequenze brevi di elevata intensità, contrazioni isometriche massimali, proiezioni/scatti (potenza anaerobica alattacida + lattacida), prese e recuperi incompleti possono determinare un'importante utilizzazione di glicogeno e una marcata risposta adrenergica (stress da combattimento). La glicemia può quindi restare stabile o aumentare durante un incontro anche quando il costo glucidico muscolare è elevato, concentrato per lo più su avambracci-dorso-core. In presenza di IOB significativa, tuttavia, il rischio di calo non scompare: intensità elevata non equivale automaticamente a protezione dall'ipoglicemia.

19.3.2 Il dispositivo diventa parte del problema sportivo

Presa, sfregamento e contatto corpo-corpo rendono inopportuno proporre una sede universale per sensore o microinfusore. La scelta dipende dalla disciplina, dal regolamento, dal tipo di dispositivo, dalla corporatura e dall'esperienza dell'atleta. Un CGM può richiedere una sede meno esposta e sistemi di fissaggio aggiuntivi; un microinfusore con catetere può dover essere disconnesso in alcune attività; un sistema tubeless non offre la stessa possibilità di rimozione temporanea e va valutato anche in rapporto al rischio di urto o distacco. La decisione va provata in allenamento e compatibile con le regole della federazione o dell'organizzatore.

19.3.3 Disconnettere la pompa non significa annullare l'insulina

Quando un microinfusore viene disconnesso, l'insulina già assorbita continua ad agire: nelle prime fasi l'atleta conserva una riserva di insulina attiva (IOB residua), mentre con il prolungarsi dell'interruzione emerge il problema opposto, cioè una progressiva carenza di insulina rapida con possibile iperglicemia e produzione di chetoni. La position statement EASD/ISPAD considera nuoto, immersione e sport di contatto fra le circostanze nelle quali può essere necessaria una sospensione o disconnessione; nella pianificazione la disconnessione va gestita non come «sospensione di insulina», ma come finestra temporale con una coda iniziale di insulina residua ed una successiva carenza progressiva. Le interruzioni prolungate richiedono una strategia concordata, non una semplice rimozione del dispositivo al momento della gara.

19.3.4 Il CGM può non essere sempre disponibile

Un sensore protetto può continuare a fornire dati, ma urti, distacco, perdita di comunicazione o impossibilità di consultare il ricevitore durante l'incontro possono ridurre temporaneamente il valore operativo del CGM. Per tale motivo il piano di sicurezza deve includere anche ciò che l'atleta farà se il dato non è leggibile o non appare coerente con sintomi e contesto. La tecnologia aiuta, ma negli sport di contatto non può essere l'unico strumento di sicurezza.

Box pratico – Prima di uno sport di contatto

- Quale tipo di contatto subirà realisticamente l'atleta?
- Il CGM può rimanere indossato e protetto senza creare pericolo per l'atleta o per l'avversario?
- Il microinfusore può rimanere, deve essere protetto oppure va disconnesso?
- Se l'erogazione viene sospesa, quale IOB è presente e quanto può durare l'interruzione?
- Come verrà controllata la glicemia se il CGM diventa temporaneamente indisponibile?
- Che cosa prevede il regolamento della specifica disciplina o federazione?

19.4 Rugby: intermittenza, contatto e tecnologia



Fig. 19. 4.1. Sport di intermittenza e contatto che può modificare la gestione pratica della tecnologia

19.4.1 Un “ibrido” metabolico e meccanico

Il rugby unisce corsa intermittente, accelerazioni, sprint, fasi statiche, placcaggi e collisioni. La richiesta varia molto con ruolo e livello di gioco: un avanti e un trequarti possono condividere la stessa durata nominale ma accumulare carichi esterni e interni differenti. Sul piano glicemico coesistono quindi il rischio di calo legato a IOB e lavoro aerobico, la possibile stabilizzazione o risalita glicemica dovuta alle fasi intense e alla risposta adrenergica tipiche della competizione.

19.4.2 Dove applicare sensore e microinfusore?

La domanda non ammette una sede valida per tutti. Placcaggi, mischie, cadute e protezioni modificano le zone più esposte; inoltre regolamenti e dispositivi non sono identici. Il principio utile è ridurre l’esposizione diretta a urto e sfregamento, assicurare il sensore con sistemi di fissaggio appropriati e valutare in allenamento se il microinfusore possa rimanere indossato. Nei sistemi con catetere la disconnessione può essere una soluzione in alcune circostanze, ma va pianificata tenendo conto dell’insulina non erogata.

19.4.3 Gara, stress psico-fisico e recupero

La componente competitiva può aumentare la glicemia prima o durante la partita e indurre l’AID a incrementare l’erogazione. L’atleta può quindi terminare con una IOB maggiore proprio mentre il carico muscolare e la ricostituzione del glicogeno aumentano la sensibilità insulinica. Il controllo non termina al fischio finale: la fase post-gara e la notte successiva fanno parte della strategia terapeutica.

Riferimenti essenziali per l’approfondimento

Moser O, Zaharieva DP, Adolfsson P, et al. The use of automated insulin delivery around physical activity and exercise in type 1 diabetes: EASD/ISPAD position statement. *Diabetologia*. 2025;68(2):255–280.

Riddell MC, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2017;5(5):377–390.

Zaharieva DP, et al. Practical Aspects and Exercise Safety Benefits of Automated Insulin Delivery Systems in Type 1 Diabetes. *Diabetes Spectr.* 2023.

Capitolo 20 — Nuoto, triathlon e altre discipline combinate



Fig. 20.1. Nuoto, ciclismo e corsa: nel triathlon ogni frazione prepara metabolicamente la successiva.

Il nuoto merita uno spazio specifico non soltanto perché è praticato da molti atleti con DMT1, ma perché l'acqua modifica contemporaneamente accessibilità ai carboidrati, possibilità di consultare il CGM e gestione del microinfusore. Nel triathlon tali difficoltà diventano ancora più interessanti: nuoto, ciclismo e corsa non sono tre eventi indipendenti, ma una sequenza nella quale ogni frazione prepara metabolicamente la successiva.

20.1 Nuoto: stessa acqua, richieste metaboliche diverse

Una seduta continua a ritmo moderato, serie brevi ad alta intensità, allenamento tecnico, gara in vasca e gara in acque libere non hanno lo stesso profilo metabolico. Il nuoto continuo può favorire una riduzione glicemica quando l'IOB è elevata; serie intense e competizione possono aumentare la risposta adrenergica e attenuare il calo. Temperatura dell'acqua, durata e stato di allenamento modificano ulteriormente la risposta individuale e, in particolare, l'immersione in acqua fredda rallenta il rilascio insulinico dai depositi sottocutanei.

20.2 In acqua il problema è anche l'accesso al dato

Impermeabilità del sensore, trasmissione del dato e possibilità di leggere il valore non sono sinonimi. Un dispositivo può tollerare l'acqua senza garantire che durante l'immersione la comunicazione fra sensore, pompa e ricevitore rimanga continua. Il comportamento dipende dal sistema utilizzato, dalla distanza fra componenti e dalle caratteristiche della comunicazione wireless. Per questo, prima di una seduta o di una gara, è necessario sapere che cosa accade al proprio sistema quando si entra in acqua e che cosa accadrà quando si riemerge.

20.3 Microinfusore: rimanere collegati o disconnettere

Alcuni sistemi restano indossati in acqua, altri possono essere disconnessi. La scelta non è puramente tecnica: interrompere l'erogazione può essere utile o necessario, ma la mancata erogazione di insulina in bolo diventa progressivamente rilevante. Le raccomandazioni EASD/ISPAD considerano le attività acquatiche fra le situazioni nelle quali una sospensione o disconnessione può essere richiesta e sottolineano il rischio di carenza insulinica nelle interruzioni prolungate. Il piano deve quindi prevedere durata, modalità di sospensione, eventuale riconnessione e controllo successivo.

20.4 Nuoto in acque libere: sicurezza prima della precisione

L'ipoglicemia ha un significato diverso in acque libere rispetto a condizioni quali una pista o una palestra: interrompere l'esercizio, assumere CHO o ricevere assistenza può richiedere tempo. La strategia deve quindi essere più conservativa sul rischio di ipoglicemia, comprendere adeguata compagnia quando previsto, rendere disponibili carboidrati rapidamente utilizzabili nelle modalità consentite dall'attività e prender in attenta considerazione le condizioni ambientali.

20.5 Triathlon: una gara, tre frazioni, due transizioni

Il triathlon non è classificabile come la somma aritmetica di nuoto, ciclismo e corsa. La frazione natatoria viene affrontata con accesso limitato a nutrizione e tecnologia; il ciclismo offre la maggiore possibilità di alimentarsi, idratarsi e correggere la strategia; la corsa, infine, inizia quando l'IOB di partenza si sta esaurendo in presenza di scorte di glicogeno, idratazione e fatica direttamente legate alla strategia seguita nelle ore precedenti. In tale senso, le fasi T1 e T2 non rappresentano, quindi, semplici momenti di cambio di attrezzatura, ma vere finestre decisionali.

20.6 La bici come principale finestra nutrizionale nel triathlon

Nelle distanze lunghe la frazione ciclistica è spesso il momento più favorevole per distribuire CHO-P, liquidi ed elettroliti. Ciò non significa alimentare soltanto la fase della bici: una parte della strategia serve a preparare la corsa successiva. Se durante il ciclismo l'atleta è costretto ad aggiungere ripetutamente CHO-G per compensare un'eccessiva IOB, può arrivare alla corsa con un carico gastrointestinale elevato e con una strategia prestativa già compromessa.

20.7 AID e gare molto lunghe

Nelle prove di lunga durata il sistema AID deve evitare due errori opposti: eccesso di insulina durante fasi che favoriscono il calo glicemico e scarsa disponibilità di insulina per erogazione ridotta o sospesa durante le ore in cui l'adrenalina è al massimo. Le raccomandazioni internazionali per eventi quali Ironman, triathlon, ciclismo su strada e trekking prolungato sottolineano la necessità di alimentazione regolare, monitoraggio ravvicinato e attenzione al rischio di chetosi quando la velocità di erogazione rimane molto limitata per tempi lunghi.

20.8 Recupero: la gara non finisce sulla linea del traguardo

Quanto più lunga è la prova, tanto più il recupero va considerato parte della gestione: ripristino dei liquidi, reintegro dei carboidrati, ricostituzione del glicogeno e aumento della sensibilità insulinica possono estendersi per molte ore. Dopo gare serali o protratte, la notte successiva merita una pianificazione specifica.

Take-home messages

- nel nuoto, impermeabilità e disponibilità in tempo reale del dato CGM sono problemi differenti
- la disconnessione del microinfusore deve essere pianificata perché l'assenza di erogazione rapida diventa progressivamente rilevante

- nel triathlon la frazione ciclistica è spesso la principale finestra per nutrire anche la corsa successiva
- T1 e T2 sono finestre decisionali metaboliche oltre che logistiche
- nelle prove lunghe il rischio non è soltanto l'ipoglicemia: una erogazione insulinica troppo bassa e prolungata può favorire iperglicemia e chetosi.

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

Moser O, Zaharieva DP, Adolfsson P, et al. The use of automated insulin delivery around physical activity and exercise in type 1 diabetes: EASD/ISPAD position statement. *Diabetologia*. 2025;68(2):255–280.

Riddell MC, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2017;5(5):377–390.

Scott SN, et al. Post-exercise recovery for the endurance athlete with type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2021;9(5):304–317.

Capitolo 21 — Tennis e altri sport intermittenti individuali



Fig. 21.1. Alexander Zverev, il simbolo attuale del DMT1 nel tennis.

Nel presente capitolo esaminiamo soprattutto il tennis, al quale siamo legati anche affettivamente dall'esperienza di Alexander Zverev, le cui grandi prestazioni, tra le quali la conquista del primo titolo del Grande Slam in carriera al Roland Garros e allo US Open nel 2026, abbiamo visto, purtroppo, subire inattesi, improvvisi tracolli in alcune occasioni per "piccoli errori". Questi ultimi, infatti, avevano interessato la valutazione dell'IOB (della quale, non indossando il microinfusore, l'atleta poteva solo definire una stima molto approssimativa) e comportato soprattutto la sottovalutazione della possibile discrepanza fra valore espresso dal sensore e reale concentrazione ematica del glucosio rilevabile con il glucometro, sicuramente facilitata dall'ansia da prestazione e dalla difficoltà di differenziazione fra sintomi da affaticamento sportivo e da variazione glicemica.

In analogia, però, potremmo considerare discipline affini: squash, padel, badminton e tennistavolo.

21.1 La durata imprecisata cambia il modo di pianificare

Nel tennis, in particolare, non è possibile sapere con precisione quanto durerà l'incontro. Una partita può terminare rapidamente o protrarsi per ore. La strategia deve quindi essere modulare: disponibilità adeguata alla partenza, risorse per prolungare l'apporto di liquidi e CHO, possibilità di adattare l'insulina e un piano per il recupero se l'incontro si estende oltre le previsioni.

21.2 Intermittenza, pause e risposta adrenergica

Scambi brevi, accelerazioni, pause, servizio e pressione competitiva generano una risposta glicemica variabile. L'attivazione adrenergica può attenuare la discesa o favorire rialzi soprattutto nei momenti decisivi. Non è quindi prudente applicare automaticamente strategie costruite per una corsa continua di pari durata.

21.3 I cambi di campo come finestre decisionali

Le pause regolari permettono di distribuire l'intervento. Piccole assunzioni di liquidi e carboidrati possono essere più facilmente titolate rispetto a un grande carico preventivo. Il vantaggio non è soltanto nutrizionale: la pausa consente di confrontare trend CGM, sensazioni e andamento dell'incontro prima di decidere.

21.4 Quando la partita diventa endurance

Se la durata supera le due ore, disponibilità di glicogeno e apporto esogeno diventano progressivamente più importanti. La strategia passa da prevalente gestione glicemica a integrazione realmente prestativa. Nel DMT1 il rischio è accorgersi tardi che i carboidrati assunti finora erano quasi tutti CHO-G e che il piano prestativo è rimasto insufficiente.

21.5 Tornei e più partite nella stessa giornata

La gestione fra incontri è spesso più difficile della singola partita. Occorre recuperare senza creare un'eccessiva IOB per la gara successiva, mantenere idratazione e tollerare pasti o snack in finestre temporali non sempre prevedibili. Il piano deve quindi prevedere più scenari, non una sola strategia.

Capitolo 22 — Forza, palestra e HIIT: quando l’esercizio non riduce necessariamente la glicemia



Fig. 22.1. Lavoro intenso e intermittente: un’elevata richiesta di potenza non comporta automaticamente un calo glicemico.

22.1 Forza: richiesta energetica breve ma intensa

Serie brevi ad alta intensità richiedono un contributo rilevante di fosfocreatina e glicolisi. La risposta adrenergica e le pause fra le serie rendono la dinamica glicemica differente da quella dell’esercizio aerobico continuo. In molti soggetti la glicemia rimane stabile o aumenta durante la seduta.

Tale profilo non significa che l’insulina sia irrilevante. In condizioni post-prandiali con bolo ancora attivo anche l’esercizio di forza può accompagnarsi a una riduzione glicemica. La condotta alimentare e la quantità di insulina circolante possono spiegare l’andamento della glicemia molto meglio della semplice etichetta di intensità.

22.2 HIIT: intensità non equivale automaticamente a iperglicemia

L’HIIT (High Intensity Interval Training) alterna intervalli intensi e recupero. In media può determinare una caduta glicemica acuta minore rispetto all’esercizio continuo moderato, ma la risposta dipende da protocollo, durata degli intervalli e durata complessiva, rapporto lavoro/recupero, grado di allenamento, precedente assunzione di alimenti (CHO pre e allenamento) e IOB, costo nascosto. Dire che l’HIIT "protegge" dall’ipoglicemia è, quindi, eccessivo.

22.3 L’ordine delle componenti

Quando esercizio di forza ed aerobico vengono eseguiti nella stessa seduta, l’ordine può modificare la risposta glicemica. Da alcuni studi risulta evidente che eseguire un esercizio di forza prima di quello aerobico attenua il calo glicemico previsto durante la parte successiva. In ambito pediatrico, peraltro, dopo uno scatto di 10 secondi eseguito alla fine della sessione aerobica, è stata anche dimostrata un’interruzione del progressivo calo glicemico iniziale, con stabilizzazione e talora leggero incremento dei valori.

Tale dato è interessante ma non deve trasformarsi in una prescrizione universale: la sequenza va verificata e scelta prima di tutto in base agli obiettivi dell’allenamento e alle risposte individuali.

22.4 Iperglicemia transitoria post-esercizio

Dopo uno sforzo molto intenso può comparire un rialzo transitorio legato al massivo rilascio di catecolamine e al conseguente aumento della produzione epatica di glucosio. La tentazione di

correggere rapidamente l'iperglicemia, in tal caso, va frenata in considerazione dell'aumento della sensibilità insulinica atteso per le ore successive. Non è quindi il caso di affidarsi al singolo valore del momento: frecce di tendenza, IOB, entità del rialzo, presenza di chetoni e pattern individuale aiutano ad affrontare la scelta in modo più attento e sicuramente meno emotivo.



SINTOMI, CAUSE E AZIONI: GUIDA RAPIDA DURANTE L'ESERCIZIO

Prima di agire, distinguere una vera necessità metabolica da un semplice numero sul display.

SINTOMO / CONDIZIONE	POSSIBILI CAUSE	AZIONI CONSIGLIATE
Glicemia in discesa (↓ freccia in giù)	• IOB elevata • CHO insufficienti • Intensità elevata	• Assumere CHO (spesso CHO-G) • Ridurre/sospendere insulina se previsto • Rivalutare intensità e durata
Glicemia in salita (↑ freccia in su)	• IOB insufficiente • Carboidrati recenti • Stress / catecolamine	• Valutare trend e contesto • Evitare correzioni impulsive • Considerare IOB e recupero
Glicemia stabile (→ freccia orizzontale)	• Equilibrio fra insulina, CHO e attività • Intensità adeguata	• Mantenere il piano • Monitorare trend e sintomi • Preparare il recupero
Disturbi gastrointestinali	• Scelta CHO inadatta • Osmolalità elevata • Idratazione insufficiente	• Ridurre intensità se necessario • Piccoli sorsi di liquidi • Preferire CHO più tollerati

Ascolta i sintomi, guarda il contesto, poi agisci con criterio.

Fig. 22.2. Guida rapida alle scelte da operare durante l'esercizio fisico

22.5 Obiettivi diversi: salute, ipertrofia, forza massima, performance

La prescrizione nutrizionale e terapeutica deve tener conto dell'obiettivo. Una seduta di forza per salute metabolica, un programma di ipertrofia e un allenamento di sollevamento pesi non hanno densità e volume identici e, quindi, nemmeno la stessa necessità di carboidrati. La gestione del DMT1 dovrebbe accompagnare il programma, non determinarlo.

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

Bussau VA, et al. The 10-s Maximal Sprint: A novel approach to counter an exercise-mediated fall in glycemia in individuals with type 1 diabetes. *Diabetes Care*. 2006;29(3):601–606.

Helleputte S, et al. Effects of postprandial exercise on blood glucose levels in adults with type 1 diabetes: a review. *Diabetologia*. 2023;66(7):1179–1191.

Yardley JE. Reassessing the evidence: prandial state dictates glycaemic responses to exercise in individuals with type 1 diabetes to a greater extent than intensity. *Diabetologia*. 2022;65(12):1994–1999.

Alpinismo, subacquea e attività in ambienti speciali





Alcune discipline sono praticate da una quota numericamente limitata di persone con DMT1, ma mostrano in modo esemplare quanto l'ambiente possa cambiare il significato delle normali regole di gestione.

In alpinismo quota, freddo, durata imprevedibile, isolamento, disponibilità di CHO e difficoltà di ricevere assistenza impongono una pianificazione più ampia della sola glicemia. La letteratura disponibile è limitata e la strategia deve essere individualizzata, soprattutto alle quote elevate.

L'attività subacquea, poi, richiede un livello ancora maggiore di prudenza perché, in un ambiente così particolare, l'ipoglicemia può avere conseguenze immediate sulla sicurezza. Idoneità, formazione, presenza di un compagno d'immersione opportunamente formato, procedure condivise e protocolli specifici non possono essere sostituiti da poche regole generiche. In Italia l'associazione Diabete Sommerso ODV ha sviluppato una serie di attività dedicate alle persone con DMT1 interessate alle immersioni subacquee, con corsi, eventi, formazione e un approccio multiprofessionale specifico. Il presente Atlante, pertanto, si limita solo a richiamare il problema e rimanda, per la pratica concreta, a competenze dedicate.

Principio generale

Quanto più l'ambiente rende difficile interrompere l'attività o ricevere assistenza, tanto più la pianificazione della sicurezza diventa parte integrante della prestazione.

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

Bonomo M, et al. Safety of recreational scuba diving in type 1 diabetic patients: the Deep Monitoring programme. *Diabetes Metab*. 2009;35(2):101–107.

Bonomo MA, Careddu G, Corigliano G, et al. La persona con diabete tipo 1 e le immersioni subacquee. *Il Diabete Online*. 2019;31.

de Mol P, et al. Physical activity at altitude: challenges for people with diabetes. *Diabetes Care*. 2014;37(8):2404–2413.

Diabete Sommerso ODV. Progetto e attività formative su subacquea e diabete tipo 1. *Documentazione e materiale associativo*. https://www.diabetesommerso.org/calendario-eventi-2026/ (ultimo accesso 27/09/2026).

PARTE VI — TECNOLOGIA, EDUCAZIONE E DECISIONI CLINICHE

Capitolo 23 — Come leggere una curva CGM nello sport senza attribuirle ciò che non misura

23.1 La curva rappresenta un risultato, non è la fisiologia stessa

Una curva CGM mostra l'andamento del glucosio interstiziale. Non misura direttamente consumo di glicogeno, produzione epatica, catecolamine, assorbimento intestinale o effetto biologico dell'insulina. L'interpretazione deve quindi procedere solo per ipotesi fisiologiche e verifiche.

23.2 La fase pre-esercizio

Prima della partenza occorre ricostruire il contesto: pasto, bolo, correzioni recenti, modalità AID, CHO preventivi, stress competitivo e attività svolta nelle ore precedenti. Una salita pre-gara può essere nutrizionale, adrenergica, iatrogena o combinata. La stessa forma della curva può quindi richiedere decisioni opposte.

23.3 Durante: tre pattern di base

Una discesa progressiva durante esercizio aerobico suggerisce che la captazione periferica superi la produzione epatica. La IOB aiuta a capire perché. Una curva relativamente stabile non dimostra scarso consumo energetico: può indicare un equilibrio fra flussi opposti. Una risalita durante sprint o competizione può riflettere una produzione epatica sostenuta dalle catecolamine.

23.4 Le frecce di trend non sono una previsione infallibile

La freccia sintetizza la velocità recente di variazione e può essere utile, ma durante esercizio rapido cambiamento della perfusione, lag interstiziale e variazioni improvvise del metabolismo possono modificare la traiettoria. Per questo la freccia deve essere letta insieme al valore, alla IOB, alla fase dell'esercizio e alle sensazioni.

23.5 Subito dopo

Il post-esercizio immediato deve essere interpretato con cautela. Una glicemia elevata dopo uno sprint finale non equivale a una iperglicemia da giornata sedentaria; una glicemia normale ma prossima al limite basso dopo lunga attività può richiedere attenzione anche se non ha ancora superato la soglia formale di ipoglicemia.

23.6 Le ore successive

Aumento della sensibilità insulinica e resintesi di glicogeno possono favorire ipoglicemia tardiva. La lettura di una seduta dovrebbe quindi estendersi oltre il traguardo. Quando possibile, è utile osservare il periodo successivo e distinguere risultato immediato da costo metabolico tardivo.

23.7 Un metodo in sette domande

1. Che cosa stava realmente facendo l'atleta in quella fase?
2. Con quanta IOB ha iniziato e come è cambiata?
3. Che cosa aveva mangiato e quando?
4. Quale trend era presente prima dell'attività?
5. Quale meccanismo fisiologico può spiegare la curva?
6. Il dato del sensore concordava con sintomi e contesto?

7. Che cosa è accaduto nelle ore successive?



Figura 23.1. Metodo contestuale per leggere una curva CGM nello sport senza attribuirle informazioni che non misura.

Cautela interpretativa

Il CGM è indispensabile per sicurezza e decisione terapeutica ma non deve diventare un misuratore del carburante muscolare, del grado di allenamento o della qualità della prestazione.

Capitolo 24 — Ogni microinfusore ha le sue peculiarità

24.1 Come scegliere un microinfusore per una persona che pratica sport

24.1.1 Non esiste il sistema migliore in assoluto

La scelta dovrebbe partire dallo sport praticato, dal comportamento dell'atleta e dal modo in cui il sistema gestisce l'esercizio. Hardware, presenza di cateteri, possibilità di rimozione temporanea, algoritmo, modalità esercizio, sensore, interfaccia e preferenze personali hanno peso diverso in persone differenti.

24.1.2 Tradurre le caratteristiche tecniche in domande personali

- Lo sport prevede contatto fisico, acqua o rischio elevato di distacco?
- L'attività è programmata o spesso imprevista?
- L'atleta tollera il tubing o preferisce un sistema patch?
- Quanto è disposto a intervenire manualmente?
- Teme maggiormente ipoglicemia o iperglicemia?
- Presenta rialzi tipici nelle attività intense?
- Quanto è accurato nel conteggio dei CHO?
- Comprende facilmente il comportamento dell'algoritmo?
- È disposto a portare controller o smartphone durante lo sport?
- Quanto valore attribuisce alla semplicità rispetto alla possibilità di personalizzare?

24.1.3 Prestazione e usabilità

Un sistema tecnicamente sofisticato può diventare una scelta mediocre se l'utilizzatore non ne comprende la logica o non tollera l'hardware. Al contrario un sistema con caratteristiche meno adatte "sulla carta" può funzionare molto bene quando coincide con preferenze e comportamento dell'atleta.

24.1.4 La scelta deve essere rivalutabile

La tecnologia e la persona cambiano. Un atleta che inizia a praticare ciclismo può avere esigenze diverse da quando svolgeva soltanto palestra; un giovane che entra in una squadra agonistica può scoprire nuovi vincoli. La scelta non deve essere vissuta come definitiva ma come parte di un percorso.

Principio

La scelta tecnologica è un equilibrio fra sicurezza, prestazione, usabilità e preferenze. Una classifica generale dei sistemi è meno utile di una mappa delle differenze operative.

24.2 – Formazione della persona con DMT1 e flowchart decisionali

24.2.1 L'obiettivo educativo consiste nell'insegnare l'utilizzo della tecnologia senza creare dipendenza

Il training non consiste nel mostrare dove premere i pulsanti. L'obiettivo è permettere alla persona di comprendere che cosa il sistema sta facendo, che cosa non può sapere e perché alcune decisioni devono essere prese prima dell'attività.

24.2.2 Primo livello: sicurezza

- Inserimento e sostituzione dei componenti.
- Ipoglicemia e carboidrati di emergenza.
- Iperglicemia, chetoni e sospetta interruzione dell'erogazione.
- Perdita del sensore o connettività.
- Quando confermare il dato con glicemia capillare.
- Piano di emergenza in caso di guasto o distacco durante sport.

24.2.3 Secondo livello: pasti, bolo e IOB

La persona deve capire il rapporto fra bolo, tempo, IOB e attività. Senza tale passaggio la modalità esercizio diventa facilmente un rimedio tardivo a un problema creato nelle ore precedenti. La capacità di leggere l'IOB non significa attribuirle un valore assoluto, ma integrarla con timing e risposta personale.

24.2.4 Terzo livello: esercizio programmato e imprevisto

Il training dovrebbe includere esempi di attività programmata, esercizio imprevisto, alta intensità e lunga durata. È utile insegnare a modificare una variabile per volta e a registrare ciò che accade invece di cambiare simultaneamente bolo, target, CHO e timing.

24.2.5 Dalla regola all'autonomia

Un buon percorso educativo riduce progressivamente la necessità di chiedere istruzioni per ogni seduta. Il professionista resta necessario per le decisioni terapeutiche ma l'atleta deve sviluppare la capacità di riconoscere pattern, formulare ipotesi e porre domande sempre più precise.

Segnale di un buon training

La persona ben allenata non sa soltanto che cosa fare in una situazione nota ma anche riconoscere quali variabili sono cambiate quando la situazione non coincide perfettamente con il protocollo insegnato.

24.3 Flowchart cliniche: trasformare i principi in domande operative

24.3.1 Perché una flowchart deve indurre a porsi delle domande, non imporre dosi

Una flowchart utile non sostituisce il giudizio clinico e non può offrire risposte universali. Essa deve aiutare chi la segue a ordinare le informazioni nella sequenza corretta. Il primo quesito alternativo non dovrebbe essere "quanti carboidrati?" ma "quale attività è prevista e con quale IOB?".

24.3.2 Esercizio programmato

1. Definire tipo, durata e intensità.
2. Stimare CHO-P e disponibilità di glicogeno.
3. Valutare pasto, bolo e IOB previste alla partenza.
4. Impostare per tempo la strategia insulinica o la modalità esercizio.
5. Usare CGM e trend per definire eventuali CHO-G.
6. Programmare il recupero e l'osservazione post-esercizio.

24.3.3 Esercizio imprevisto

Quando il margine temporale scompare, i carboidrati assumono spesso un ruolo maggiore. La prima valutazione riguarda glicemia, trend e IOB. Se l'IOB è elevata e l'attività tende a ridurre il glucosio, il trattamento con CHO può diventare la misura immediata più importante. La lezione per la volta successiva, però, non sarà necessariamente "mangiare di più" ma, magari, quando l'attività diventa in qualche modo prevedibile, ridurre prima la dose di insulina da erogare.

24.3.4 Glicemia bassa o in rapida discesa

La sicurezza precede la prestazione. Trattare secondo il piano individuale e rivalutare. Nei sistemi AID l'insulina futura può essere già stata ridotta ma quella attiva rimane. Un sovratrattamento può produrre rialzo glicemico e nuova erogazione insulinica; una sottoccorrezione può non arrestare la discesa.

24.3.5 Glicemia elevata

Occorre distinguere rialzo glicemico da catecolamine, pasto, sottodosaggio insulinico, sospensione prolungata o problema di erogazione. In caso di iperglicemia marcata o inattesa la valutazione dei chetoni segue il piano clinico. Una correzione aggressiva subito prima di esercizio aerobico può generare nuova IOB e precipitare un evento successivo.

24.3.6 Attività serale

Durata, intensità, quantità di glicogeno utilizzata, terapia residua e pasto post-esercizio influenzano il rischio notturno. L'obiettivo non è mantenere indiscriminatamente target più alti tutta la notte ma costruire una strategia coerente con il pattern individuale.



Figura 24.1. Flowchart concettuale pre-esercizio: serve a ordinare le domande, non a sostituire il giudizio clinico.



Figura 24.2. Checklist utile per la "partenza".

Capitolo 25 — Perché due atleti allenati non rispondono allo stesso modo

25.1 Variabilità non significa casualità

La risposta glicemica appare spesso imprevedibile perché molte variabili cambiano insieme. Allenamento, massa muscolare, disponibilità di glicogeno, IOB, orario, pasto, sonno, stress, temperatura, grado di umidità, ciclo mestruale e attività recente possono modificare la stessa seduta. La variabilità non deve quindi essere interpretata come fallimento della fisiologia, ma come somma di condizioni non sempre controllate.

25.2 Allenamento e adattamento

L'atleta allenato svolge lo stesso lavoro assoluto a intensità relativa inferiore e utilizza i substrati in modo più efficiente di un neofita. Il miglioramento della fitness può rendere obsoleta una strategia che funzionava mesi prima. La terapia deve quindi seguire l'evoluzione dell'atleta, non soltanto quella del diabete.

25.3 Stress e competizione

In gara, una seduta identica sul piano meccanico può produrre una risposta diversa per maggiore attivazione adrenergica. Una strategia validata in allenamento costituisce un ottimo punto di partenza ma non garantisce una risposta identica nel contesto competitivo.

25.4 Orario e stato alimentare

La cronobiologia dell'esercizio nel DMT1 è un campo emergente. Le differenze fra mattina e pomeriggio non possono essere separate da digiuno, bolo prandiale e disponibilità di substrati. I dati recenti suggeriscono che lo stato alimentare e l'esposizione insulinica spiegano una parte importante delle differenze attribuite all'orario.

25.5 Il valore del diario ragionato

Registrare poche variabili rilevanti dopo sedute ripetibili permette di trasformare la variabilità in pattern. Un diario utile può contenere: tipo di attività, durata, intensità, pasto e bolo precedenti, IOB alla partenza, modalità AID, CHO-P, CHO-G e andamento post-esercizio. L'obiettivo non è accumulare dati, ma identificare quelli che modificano realmente la decisione.

PARTE VII – PERSONA E VARIABILITÀ INDIVIDUALE

Capitolo 26 — Allenare la persona: motivazione, autonomia e coaching nello sport con diabete tipo 1

Come appena osservato nei precedenti capitoli, lo sport con DMT1 richiede decisioni non richieste agli altri atleti: controllare la tendenza glicemica prima della partenza, decidere se assumere carboidrati, valutare l'insulina attiva, gestire un allarme durante una seduta, accettare talvolta di modificare un programma. Se tali richieste vengono considerate soltanto come problemi tecnici, si perde una parte essenziale dell'esperienza sportiva.

La persona non pratica sport per ottenere una curva glicemica perfetta. Può cercare salute, prestazione, piacere, appartenenza, identità, competizione, libertà o la sensazione di poter fare qualcosa che la diagnosi sembrava aver messo in discussione. Comprendere tale significato è il punto di partenza di un coaching realmente utile.

Domanda guida

Come aiutare l'atleta con DMT1 a diventare più competente e autonomo senza trasformare il diabete in un giudice permanente della prestazione?

26.1 Prima dell'obiettivo viene il significato

"Voglio correre una maratona" descrive un obiettivo, ma non spiega perché tale obiettivo sia importante. Per alcuni rappresenta una sfida agonistica; per altri un ritorno alla normalità dopo la diagnosi; per altri ancora un progetto condiviso con amici o famiglia. La stessa meta può quindi avere significati psicologici molto diversi.

Il coach efficace non impone una motivazione dall'esterno. Aiuta la persona a rendere esplicito il proprio motivo, perché gli obiettivi sostenuti da un significato personale tendono a essere più resistenti alle difficoltà rispetto a quelli perseguiti soltanto per approvazione, paura o senso di colpa.

26.2 Motivazione intrinseca, estrinseca e qualità della motivazione

La motivazione non è semplicemente "alta" o "bassa". Una persona può allenarsi perché ama correre, perché vuole migliorare un tempo, perché teme le complicanze, perché il medico glielo ha raccomandato o perché non vuole deludere il gruppo. Tali motivazioni possono coesistere.

Nel coaching sportivo è utile favorire un clima che sostenga autonomia, competenza e appartenenza. La letteratura sullo sviluppo dell'atleta sottolinea il valore di ambienti orientati alla padronanza e supportivi dell'autonomia, associati a maggiore motivazione intrinseca e minore stress, soprattutto nei giovani.



Figura. 26.1. Motivazione: differenze fondamentali fra intrinseca ed estrinseca.

26.3 Autoefficacia: "so che posso gestirlo"

L'autoefficacia non coincide con l'ottimismo; è la convinzione, costruita attraverso esperienze concrete, di possedere strumenti sufficienti per affrontare una situazione. Nel DMT1 sportivo essa riguarda sia la prestazione sia la capacità di gestire il diabete mentre si pratica sport.

Un atleta che ha sperimentato ripetutamente ipoglicemie durante la corsa può conoscere perfettamente le raccomandazioni e continuare a non fidarsi del proprio corpo. L'autoefficacia cresce quando la persona vive esperienze progressive di successo, comprende perché una strategia ha funzionato e sa come reagire quando non funziona.

26.4 Goal setting: obiettivi di risultato, prestazione e processo

Un obiettivo di risultato dipende anche dagli altri: vincere una gara, entrare in squadra, classificarsi. Un obiettivo di prestazione riguarda un proprio standard: completare una 10 km in un determinato tempo. Un obiettivo di processo riguarda ciò che si può fare oggi: rispettare una seduta, preparare il materiale, applicare una strategia concordata.

Risultato	**Prestazione**	**Processo**
Vincere la gara	Correre in 45 minuti	Eseguire la strategia pre-gara concordata
Dipende anche dagli altri	Dipende soprattutto da sé	È direttamente controllabile
Utile ma poco controllabile	Misura il progresso	Costruisce competenza quotidiana

Nel DMT1 gli obiettivi di processo sono particolarmente preziosi perché riducono la tentazione di valutare la giornata soltanto attraverso un numero. "Ho gestito bene una situazione difficile" può rappresentare un successo anche se la curva glicemica non è stata perfetta.

26.5 La paura dell'ipoglicemia: razionale, protettiva, talvolta limitante

La paura dell'ipoglicemia non deve essere banalizzata. L'ipoglicemia è un rischio reale e può compromettere sicurezza e prestazione. Tuttavia, quando il timore conduce a evitare attività, mantenere volontariamente glicemie elevate o assumere sistematicamente quantità eccessive di carboidrati, la funzione protettiva può trasformarsi in barriera.

La paura dell'ipoglicemia continua a emergere come una delle principali barriere all'attività fisica nel DMT1. Dati recenti del registro BETTER indicano che il problema persiste anche nell'era di CGM e AID: la tecnologia può aumentare sicurezza e informazione, ma non elimina automaticamente la paura né la sensazione di perdita di controllo.

Il coaching non sostituisce un intervento psicologico quando il timore è clinicamente rilevante ma può contribuire a creare esperienze graduali, obiettivi realistici, linguaggio non giudicante e collaborazione con il team diabetologico.

26.6 L'errore come informazione, non come colpa

Una strategia può fallire: una glicemia può scendere più del previsto, una gara può iniziare con valori elevati, un gel può essere assunto troppo presto. In un sistema complesso, l'errore non dimostra incompetenza; segnala che il modello utilizzato non ha previsto correttamente tutte le variabili.

Il linguaggio del team è decisivo. Domande come "che cosa abbiamo imparato?" favoriscono analisi e autonomia; espressioni moralizzanti come "sei stato bravo/cattivo con il diabete" trasformano il dato in giudizio personale. Tale distinzione è particolarmente importante negli atleti perfezionisti.

Una domanda che cambia il clima

Non: "Che cosa hai sbagliato?". Meglio: "Quale variabile potrebbe spiegare ciò che è accaduto, e che cosa proveremmo diversamente la prossima volta?"

26.7 Perfezionismo e ricerca della curva perfetta

La tecnologia rende visibile quasi ogni oscillazione glicemica. Tale disponibilità può essere utile, ma può anche alimentare il bisogno di controllo assoluto. Nello sport, realtà nella quale l'atleta è già abituato a misurare tempi, watt, chilometri e carichi, il CGM può diventare un ulteriore indicatore sul quale costruire autovalutazione.

Una curva imperfetta non equivale a una gestione fallimentare. Il coaching dovrebbe aiutare a distinguere eccellenza da perfezionismo: la prima cerca un processo sempre migliore; il secondo può rendere intollerabile la normale variabilità biologica.

26.8 Diabete, distress e carico cognitivo

Il DMT1 richiede un flusso continuo di microdecisioni. Lo sport ne aggiunge altre: timing, pasti, insulina, sensore, materiale di emergenza, variazioni di programma. Anche un atleta altamente motivato può sperimentare stanchezza decisionale.

Il compito del team non è soltanto aggiungere istruzioni, ma anche semplificare. Routine affidabili, checklist essenziali e strategie già provate riducono il numero di decisioni da prendere nel momento di maggiore stress. L'autonomia non consiste nel fare tutto da soli: consiste nel sapere che cosa è importante e quando chiedere aiuto.

26.9 Tecnologia: sicurezza, libertà e sorveglianza

CGM, AID, smartwatch e piattaforme di condivisione possono aumentare sicurezza e possibilità di partecipazione. Possono però anche produrre una sensazione di sorveglianza continua, soprattutto quando molte persone osservano gli stessi dati.

Il principio dovrebbe essere semplice: la condivisione deve servire la persona, non sostituirne l'autonomia. Nei minori la responsabilità degli adulti è inevitabilmente maggiore; negli adulti, l'atleta dovrebbe poter definire chi vede i dati, quando interviene e con quali soglie, salvo situazioni cliniche specifiche concordate.



Figura 26.2. Per il successo come atleta occorre porre al servizio della performance tanti elementi, non solo tecnici ma, in larga misura, legati a fattori umani imprescindibili.

Principio di autonomia digitale

Aumentare il numero di dati disponibili non comporta automaticamente maggior sicurezza psicologica. La condivisione deve avere uno scopo, regole di intervento e confini concordati.

26.10 Identità: atleta con diabete o persona diabetica che fa sport?

Le parole influenzano il modo in cui una persona interpreta se stessa. Alcuni preferiscono definirsi atleti con diabete; altri non attribuiscono importanza alla distinzione. Il punto non è imporre una terminologia identitaria, ma evitare che la diagnosi assorba ogni altra dimensione.

Lo sport può diventare uno spazio nel quale la persona sperimenta competenza, appartenenza e libertà. In alcuni casi può anche contribuire a ricostruire un senso di continuità biografica dopo la diagnosi. Tale valore non è misurabile con il TIR, ma può essere determinante per la qualità di vita.

26.11 Competizione: quando lo stress modifica sia la mente sia la glicemia

La gara non è un allenamento con il pettorale. Aspettative, pubblico, confronto, paura di fallire e attivazione adrenergica modificano percezione dello sforzo e comportamento e, nel DMT1, possono modificare anche la risposta glicemica, rendendo meno trasferibile una strategia che in allenamento sembrava perfetta.

Il coaching può lavorare su routine pre-gara, attenzione agli elementi controllabili, gestione dell'attivazione e accettazione di una quota di imprevedibilità. La strategia diabetologica deve essere sufficientemente provata da non diventare un ulteriore compito cognitivo nel momento competitivo.

26.12 Comunicazione: dal consiglio alla decisione condivisa

Una comunicazione efficace non comporta di evitare indicazioni poco chiare ma significa spiegare la logica delle indicazioni e verificare se queste ultime sono compatibili con la vita reale dell'atleta. Una strategia teoricamente perfetta ma troppo complessa per essere applicata durante una partita è una strategia incompleta.

Il coach può aiutare a tradurre obiettivi astratti in comportamenti concreti, ma non deve entrare nella prescrizione insulinica. Il diabetologo può definire limiti di sicurezza e strategie metaboliche, ma non dovrebbe utilizzare il diabete per imporre obiettivi sportivi che non appartengono alla persona.

26.13 Autonomia: il vero obiettivo educativo

All'inizio l'atleta può aver bisogno di istruzioni molto precise. Con il tempo, però, un buon percorso dovrebbe ridurre la dipendenza dal professionista. La persona deve imparare a riconoscere situazioni ricorrenti, comprendere le variabili principali, scegliere tra opzioni concordate e sapere quando una situazione esce dal proprio margine di autonomia.

Il successo non è misurato da quanto spesso l'atleta esegue ciò che il team gli ha detto ma dal fatto che questi sappia prendere decisioni ragionate coerenti con i principi appresi e discuterne successivamente senza timore di essere giudicato.

26.14 Il team intorno all'atleta

Team diabetologico, chinesiologo, allenatore, coach e famiglia possono essere risorse oppure, se non comunicano, diventare fonti di messaggi contraddittori. L'atleta non dovrebbe essere costretto a mediare da solo tra prescrizioni incompatibili.

È utile definire responsabilità e linguaggio comune. Il medico risponde della sicurezza clinica e della terapia; il professionista dell'allenamento del carico e della preparazione; il coach del processo di consapevolezza, obiettivi e comportamento entro i limiti della propria formazione. Le sovrapposizioni devono diventare dialogo, non invasione di campo.

26.15 Un atleta, tre prospettive

Lo stesso episodio può essere letto in modi differenti e complementari. Un calo glicemico durante una seduta di qualità può essere, per il team diabetologico, un problema di esposizione insulinica, per il chinesiologo, un'interruzione che impedisce di completare lo stimolo, per il coach, un evento che può ridurre fiducia e disponibilità a riprovare. Nessuna lettura, isolatamente, è sufficiente.

26.16 Quando il coaching non basta

Ansia persistente, depressione, disturbi del comportamento alimentare, paura dell'ipoglicemia invalidante, burnout grave o comportamenti di gestione potenzialmente pericolosi richiedono una valutazione professionale appropriata. Riconoscere il limite della propria competenza è parte della qualità del coaching.

Il coach può osservare cambiamenti, ascoltare, facilitare l'accesso all'aiuto e mantenere una relazione sportiva supportiva mentre non è assolutamente tenuto a diagnosticare o trattare condizioni psicologiche per le quali non possiede competenze cliniche.

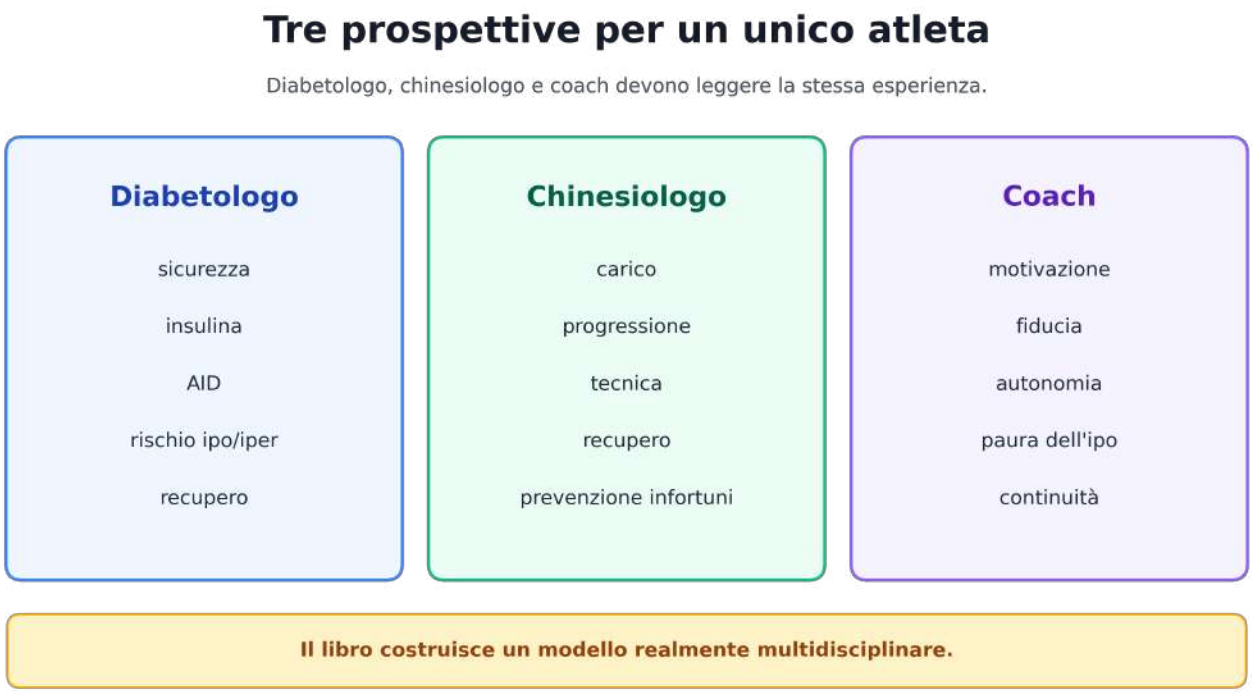


Figura 26.3. Un atleta, tre prospettive: sicurezza clinica, qualità dell'allenamento e sostenibilità personale devono dialogare senza confusione di ruoli

Prospettiva	Domanda principale	Rischio se isolata	Contributo
Diabetologo	È sicuro?	Ridurre tutto alla glicemia	Sicurezza metabolica e terapia
Chinesiologo	È allenante?	Ignorare vincoli clinici	Stimolo, adattamento e prestazione
Coach	È sostenibile e significativo?	Psicologizzare problemi tecnici	Motivazione, autonomia e continuità
Atleta	Funziona per me?	Essere lasciato solo nelle decisioni	Esperienza, preferenze e feedback reale

Tabella 26.1. Le prospettive di atleta, diabetologo, chinesiologo e coach.



Figura 26.4. Il ciclo virtuoso che conduce dalla revisione alla crescente consapevolezza

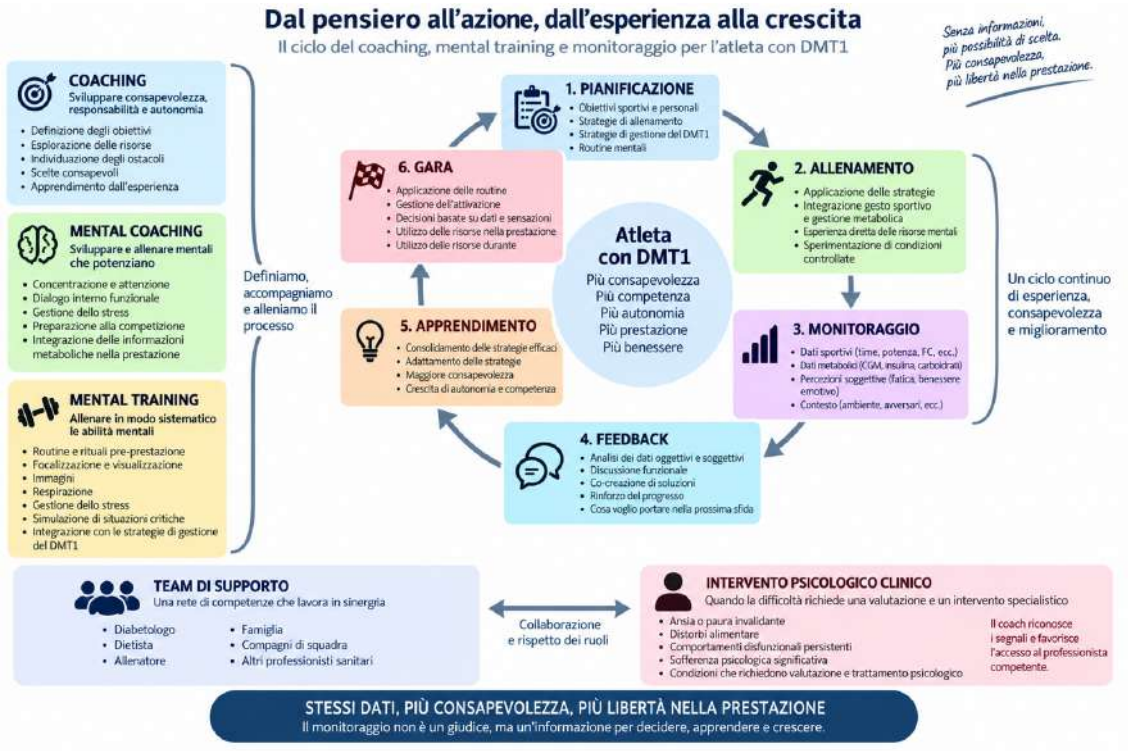


Fig. 26.5. Coaching e team in un ecosistema incentrato sull'atleta



Fig. 26.6. Gli stili di leadership



Fig. 26.7. L'insieme delle attività che garantiscono un coaching ottimale nelle diverse età della vita.



Figura 26.8. Cosa dobbiamo assolutamente mantenere come finalità assoluta? L'equilibrio

Take-home messages

- La motivazione più sostenibile nasce dal significato personale attribuito allo sport, non dalla paura delle complicanze.
- La paura dell'ipoglicemia è una barriera reale e può persistere anche con tecnologie avanzate.
- Il dato glicemico deve diventare informazione per decidere, non voto sulla persona.
- L'autonomia si costruisce attraverso esperienze progressive di competenza, non attraverso l'abbandono dell'atleta a se stesso.
- Coaching e psicologia clinica non sono intercambiabili; riconoscere i confini professionali tutela la persona.
- La migliore strategia integra sicurezza, qualità dell'allenamento e sostenibilità umana.

La sintesi

Una strategia realmente buona dovrebbe essere contemporaneamente sicura, allenante e sostenibile. Se manca una delle tre dimensioni, il risultato può funzionare nel breve periodo ma difficilmente diventa una pratica sportiva stabile.

Riferimenti essenziali per l'approfondimento

Adolfsson P, et al. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2022: Exercise in children and adolescents with diabetes. *Pediatr Diabetes*. 2022;23(8):1341–1372.

Brazeau AS, et al. Barriers to physical activity among patients with type 1 diabetes. *Diabetes Care*. 2008;31(11):2108–2109.

Chatwin H, et al. Effectiveness of educational and behavioural interventions for reducing fear of hypoglycaemia among adults with type 1 diabetes: systematic review and meta-analyses. *Diabet Med*. 2023;40(5):e15071.

Cigrovski Berkovic M, et al. Fear of hypoglycemia, a game changer during physical activity in type 1 diabetes mellitus patients. *World J Diabetes*. 2021;12(5):569–577.

Corigliano G, et al. Diabete e sport: il ruolo dell'associazionismo. *G It Diabetol Metab*. 2016;36:113–116.

Guédet C, et al. Exploring perceived barriers to physical activity among individuals with type 1 diabetes in the era of new technologies: an analysis from the BETTER registry. *Diabetes Metab*. 2025.

International Olympic Committee. Consensus statement on youth athletic development. *Br J Sports Med*. 2015;49(13):843–851.

Martyn-Nemeth P, et al. Fear of hypoglycemia in adults with type 1 diabetes: impact of therapeutic advances and strategies for prevention - a review. *J Diabetes Complications*. 2016;30(1):167–177.

PARTE VIII — PERSONALIZZAZIONE E MODELLI INTEGRATI

Capitolo 27 — Dal protocollo alla personalizzazione: carico, contesto e apprendimento

27.1 Le linee guida sono coordinate, non itinerari

Percentuali di riduzione del bolo, target di partenza e quantità di CHO sono indispensabili per iniziare ma non possono rappresentare il punto di arrivo. Il protocollo descrive ciò che mediamente funziona in una condizione definita; la personalizzazione descrive ciò che funziona in quella persona, per quella attività e in quel contesto.

27.2 Una variabile per volta

Quando una strategia non funziona, modificare contemporaneamente bolo, basale, target, CHO e timing impedisce di capire quale intervento abbia prodotto il risultato. Nelle sedute di prova è preferibile correggere una variabile principale per volta, quando la sicurezza lo consente.

27.3 Carico esterno, carico interno e contesto metabolico

I concetti di carico esterno, carico interno e contesto metabolico sono stati sviluppati nel Capitolo 17. In questa sede vengono richiamati soltanto per il loro valore nella personalizzazione: la stessa seduta può richiedere strategie differenti quando cambiano stato di allenamento, recupero, IOB, glicemia, trend e disponibilità di carboidrati.

Il punto non è costruire un nuovo indice numerico, ma riconoscere quali variabili hanno realmente modificato la risposta e utilizzarle per la seduta successiva.

27.4 Costruire una libreria personale di situazioni

L'atleta può arrivare a definire strategie diverse per corsa mattutina a digiuno, corsa post-prandiale, palestra serale, partita e uscita lunga in bici. Non sono protocolli rigidi ma punti di partenza personali costruiti sulla ripetizione. Una libreria di situazioni riduce la necessità di reinventare ogni volta la strategia.

27.5 Quando l'esperienza differisce dal protocollo

Se una scelta individuale differisce dalla raccomandazione standard ma produce ripetutamente sicurezza, prestazione e assenza di effetti tardivi indesiderati, merita di essere compresa prima di essere corretta. L'esperienza dell'atleta è un dato clinico: non sostituisce l'evidenza ma la completa.

27.6 Tre professionisti, tre letture dello stesso dato

Il diabetologo interpreta il contesto terapeutico; il chinesiologo descrive il carico e l'adattamento; il coach aiuta a comprendere sostenibilità, motivazione e significato della strategia. Nessuna delle tre prospettive è sufficiente da sola. Tale integrazione è sviluppata in modo complementare nei Capitoli 17 e 26, dedicati rispettivamente alla preparazione atletica e alla dimensione motivazionale e di coaching.

Regola generale

Personalizzare non significa improvvisare. Significa partire dall'evidenza, osservare la risposta, integrare il carico reale e costruire progressivamente una strategia ripetibile.

Riferimento essenziale per l'approfondimento

Strollo F, et al. Exercise related care pathways for people with diabetes: Literature review and expert consensus. *Diabetes Metab Syndr.* 2019 Jul-Aug;13(4):2755–2762.

Capitolo 28 — Intelligenza Artificiale, sistemi complessi e la dimensione umana nel Diabete tipo 1

Siamo ormai arrivati quasi alla fine del percorso e, per completare e sottolineare alcuni concetti-chiave finora espressi, ci sembra importante proporre un'analisi critica tecnologica sui limiti operativi, sul rischio di sistema e sulle prospettive umanistiche dell'automazione clinica che ha comportato l'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale nel mondo diabetologico.

28.1 La Rivoluzione Algoritmo-Centrica e la Ridefinizione della Cura

L'ingresso dell'Intelligenza Artificiale (IA) e degli algoritmi predittivi nella gestione del Diabete Tipo 1 (DMT1) rappresenta un cambio di paradigma senza precedenti nella storia della diabetologia moderna. Tradizionalmente, la gestione del DMT1 ha imposto alla persona un carico decisionale incessante, richiedendo decine di calcoli e valutazioni matematico-fisiopatologiche quotidiane per stimare la dose insulinica in risposta all'alimentazione, al movimento, allo stress e alle fluttuazioni ormonali. L'avvento dei sistemi ad ansa chiusa (Automated Insulin Delivery - AID), dei sensori glicemici continui (CGM) avanzati e degli assistenti digitali promette di trasferire questo fardello computazionale dalle spalle dell'individuo a modelli matematici sofisticati.

Tuttavia, una visione puramente tecnocratica rischia di oscurare la vera natura della patologia: il diabete tipo 1 non è un semplice problema di regolazione ingegneristica o di ottimizzazione numerica, ma una condizione biologica ed esistenziale complessa. L'efficacia dell'IA non può essere misurata esclusivamente attraverso parametri quantitativi (come il Time in Range o la variabilità glicemica), ma deve essere analizzata nel contesto dell'interazione profonda tra l'algoritmo, la fisiologia non-lineare del corpo umano e la vita reale della persona che ne fa uso.

28.2 Analisi Comparativa: Pregi e Limiti dell'IA nelle Tecnologie per il Diabete

Per comprenderne il reale impatto, è necessario esaminare criticamente i pregi e i difetti intrinseci dell'IA nelle differenti applicazioni tecnologiche attualmente disponibili.

28.2.1 Sistemi ad Ansa Chiusa (AID) e Algoritmi di Erogazione Insulinica

• **Pregi:** Gli algoritmi di controllo, siano essi basati su logica Proporzionale-Integrale-Derivativa (PID), Controllo Predittivo del Modello (MPC) o reti neurali, mostrano una straordinaria efficacia nella stabilizzazione glicemica basale, specialmente durante il riposo notturno. La capacità di rimodulare continuamente la somministrazione di insulina in microdosi consente di prevenire ipoglicemie gravi e ridurre le iperglicemie al risveglio, offrendo una protezione costante slegata dall'attenzione dell'utente.

• **Difetti e Limiti:** Tutti gli attuali sistemi AID si scontrano, però, con un limite fisiologico insuperabile: la ritardata farmacocinetica dell'insulina somministrata per via sottocutanea. Mentre l'algoritmo calcola il fabbisogno in pochi millisecondi, l'insulina necessita di 15-20 minuti per entrare in circolo e fino a 60-90 minuti per raggiungere il picco d'azione. Tale distacco temporale rende gli algoritmi intrinsecamente reattivi anziché pienamente proattivi di fronte ad eventi rapidi come i pasti non annunciati o lo sforzo fisico improvviso.

28.2.2 Sensori del Glucosio (CGM) e Analisi Predittiva dei Trend

• **Pregi:** L'integrazione di algoritmi cosiddetti "stocastici" (basati cioè sul calcolo delle probabilità) nei CGM consente di estrapolare la traiettoria glicemica a 15-30 minuti, allertando l'utente prima che l'ipoglicemia o l'iperglicemia si verifichino concretamente. Ciò permette interventi correttivi tempestivi e misurati.

• **Difetti e Limiti:** I sensori misurano il glucosio nel fluido interstiziale, che presenta un ritardo fisiologico (“lag time”) di 5-15 minuti rispetto alla concentrazione ematica. Durante fasi di rapida variazione (ad esempio durante l'esercizio aerobico intenso), la stima algoritmica può risultare cronologicamente sfalsata, conducendo, così, a falsi allarmi o a correzioni inappropriate basate su dati non aggiornati in tempo reale.

28.2.3 Nutrizione, Conta dei Carboidrati e Assistenti Digitali

• **Pregi:** L'impiego di App basate sulla computer vision con riconoscimento delle immagini basato su IA semplifica la stima del piatto, riducendo l'errore di stima macro-nutrizionale negli utenti meno esperti.

• **Difetti e Limiti:** L'IA nutrizionale tende a considerare i carboidrati come valori aritmetici isolati, ignorando la complessità della matrice alimentare (presenza di grassi e proteine che ritardano lo svuotamento gastrico), l'indice glicemico reale, lo stato di allenamento del tessuto muscolare e la variabilità dell'assorbimento intestinale (trasportatori SGLT1/GLUT5), richiedendo comunque un continuo intervento interpretativo umano.

28.2.4 Programmazione dell'Attività Fisica e Gestione dello Sport

• **Pregi:** La presenza di funzionalità dedicate all'esercizio (es. modalità esercizio, target temporanei, profili Ease-off o Boost) fornisce un margine di sicurezza riducendo l'aggressività dell'algoritmo prima dello sforzo.

• **Difetti e Limiti:** L'esercizio fisico presenta risposte metaboliche molto complesse che sono ampiamente descritte nel testo, mentre l'IA non è attualmente in grado di prevedere la quota di glicogeno muscolare ed epatico residua né l'ipoglicemia tardiva notturna eventualmente indotta dal ripristino delle riserve energetiche post-allenamento.

Sintesi sulla Tecnologia

L'algoritmo eccelle nell'ottimizzazione degli stati di equilibrio e nella gestione delle variazioni lente. Fallisce, tuttavia, quando si trova di fronte a discontinuità fisiologiche rapide e non modellate matematicamente, dove l'intuizione e l'esperienza della persona rimangono insostituibili.

28.3 Il Rapporto Tra la Persona e l'Intelligenza Artificiale

L'introduzione dell'IA riposiziona radicalmente l'essere umano all'interno del processo terapeutico, trasformando sia l'esperienza individuale della patologia sia la relazione socio-sanitaria con l'équipe diabetologica.

28.3.1 La Trasformazione del Ruolo del Paziente: Da Esecutore a Supervisore

Nel modello convenzionale, la persona con diabete agisce come un 'micro-gestore manuale' che deve valutare ogni singola variabile per assumere decisioni esecutive. Con l'IA, il ruolo si sposta verso quello di un 'supervisore di sistema di volo'. La persona non deve più calcolare ogni singola micro-dose, ma deve monitorare il corretto funzionamento dell'algoritmo, intervenire in caso di anomalie e fornire all'IA le informazioni contestuali che essa non può percepire autonomamente (come l'inizio imminente di uno sforzo fisico o un cambio di stato emotivo).

28.3.2 Il Carico Cognitivo ed Emotivo: Nuove Forme di Stress Terapeutico

Se da un lato l'IA riduce la stanchezza decisionale (decision fatigue) automatizzando i processi di routine, dall'altro introduce nuove forme di stress psicologico:

1. Allarme e Ipersorveglianza (Alarm Fatigue): La presenza costante di avvisi, notifiche predittive e tracciamenti in tempo reale può generare uno stato di allerta permanente, frammentando il sonno e la concentrazione quotidiana.

2. La Sensazione di Giudizio Algoritmo-Centrico: La quantificazione continua della vita mediante metriche rigide può far sentire l'utente perennemente esaminato da un'entità digitale insensibile alle difficoltà personali o sociali del momento.

28.3.3 L'Alleanza Terapeutica e la decisione condivisa (Shared Decision Making)

Nel rapporto tra medico/team diabetologico e persona con diabete, l'IA può agire come un terzo incomodo o come un potente catalizzatore, come nel caso in cui la visita adotta un modello di decisione condivisa sfruttando la semplificazione grafica dell'analisi dei diari glicemici per rifuggire da giudizi critici potenzialmente condizionanti il rapporto in senso negativo e concentrarsi su un'analisi condivisa dei profili glicemici e personalizzare le impostazioni del sistema sulle reali priorità di vita dell'individuo.

28.4 Limiti e Rischi nell'Uso dell'IA da parte degli Utenti

L'interazione umana con sistemi automatizzati complessi è soggetta a distorsioni comportamentali che possono minare la sicurezza e l'efficacia della terapia. Si evidenziano in particolare due estremi patologici:

28.4.1 L'Eccessiva Delega e la Passività Terapeutica

L'illusione che l'IA possa 'curare' o 'gestire autonomamente' il diabete può indurre l'utente a un'eccessiva delega passiva. Tale fenomeno comporta la progressiva perdita delle competenze di base nel controllo del diabete (ad es., stima personale del bolo di insulina o adeguata gestione delle emergenze). Qualora il sistema automatizzato si interrompa improvvisamente per guasto tecnico, esaurimento delle batterie o distacco del sensore, l'utente che ha perso la capacità di interagire con la propria malattia risulta vulnerabile perché rischia di non essere più in grado di far fronte alla situazione in modo tempestivo e sicuro.

28.4.2 L'Ipermonitoraggio e la Micro-Gestione Ansiosa (Over-riding)

All'estremo opposto si colloca la tendenza all'interferenza continua con l'algoritmo. Di fronte a un'iperglicemia transitoria, l'utente ansioso somministra boli manuali di correzione o sovrascrive le decisioni del sistema senza attendere i tempi fisiologici di azione dell'insulina già erogata dall'algoritmo. Tale pratica (nota come 'stacking' o accumulo di insulina) destabilizza il modello predittivo matematico, innescando ipoglicemie gravi in successione continua, seguite da fasi di iperglicemia di rimbalzo.

28.4.3 Il Paradosso della Competenza

Emerge così un paradosso fondamentale: l'utilizzo sicuro ed efficace di tecnologie dotate di intelligenza artificiale non richiede affatto minori conoscenze ma una competenza fisiologica e tecnologica più elevata. L'utente deve comprendere la logica di funzionamento dell'algoritmo per sapere quando fidarsi e quando, invece, è indispensabile prendere il controllo manuale del sistema.

28.5 Limiti Strategici e Rischi dell'IA Applicata a Sistemi Complessi

Quando l'Intelligenza Artificiale viene applicata a un sistema complesso come il corpo umano, emergono limiti strutturali legati alla natura stessa dei modelli matematici.

28.5.1 La Complessità Non-Lineare della Fisiologia Umana

L'equilibrio del glucosio è governato da una rete multilivello di variabili interconnesse che rispondono a funzioni complesse, tutt'altro che lineari: ormoni contro-regolatori (glucagone, adrenalina, cortisolo, GH), variazioni della sensibilità insulinica legate al ciclo circadiano, allo stress emotivo, alla temperatura ambientale, al sonno e alla coesistenza di stati infiammatori di basso livello spesso non avvertiti dalla persona stessa. L'IA, che funziona elaborando dati storici o segnali correnti, non può misurare quanto appena riportato proprio perché non ancora trasformabile in parametri digitali. Variabili biologiche invisibili ai sensori rappresentano, pertanto, un "rumore di fondo" causale che può portare l'algoritmo a prendere decisioni errate.

28.5.2 Il Collo di Bottiglia Farmacocinetico

Come già accennato, il limite principale dei sistemi ad ansa chiusa attuali risiede non nella capacità di calcolo dell'IA ma nel mezzo utilizzato per erogare l'ormone: la via sottocutanea. Finché la somministrazione di insulina avverrà nel tessuto adiposo sottocutaneo e non per via intraperitoneale o, meglio, portale (come avviene fisiologicamente nel caso di rilascio da parte del pancreas), esisterà sempre un ritardo temporale incomprimibile tra il comando algoritmico e l'effetto metabolico effettivo.

28.5.3 Cecità Algoritmica e Guasti Critici di Sistema

Un rischio primario nei sistemi complessi riguarda i guasti trasparenti o non rilevati dall'algoritmo ('cecità algoritmica'):

• **Occlusioni parziali o distacco dell'ago cannula:** Se il catetere della pompa si piega o l'infusione sottocutanea fallisce, l'algoritmo registra un'iperglicemia e risponde aumentando continuamente l'erogazione teorica di micro-boli. In realtà, l'insulina non sta entrando in circolo. Credendo di aver erogato dosi ingenti, il sistema può interrompere ulteriori somministrazioni o rimanere bloccato, mentre l'effettiva totale assenza di erogazione di insulina nel tessuto sottocutaneo, se non opportunamente riconosciuta e combattuta, può portare rapidamente allo scompenso metabolico fino alla Chetoacidosi Diabetica (DKA).

• **Artefatti da pressione del sensore (Compression Lows):** Durante il sonno, la pressione meccanica sul sensore CGM può causare un falso crollo della concentrazione del glucosio. L'algoritmo dell'AID, leggendo una falsa ipoglicemia, sospende immediatamente l'erogazione basale di insulina per ore, provocando un'iperglicemia marcata al risveglio con potenziale chetosi.

> **Rischio di Sistema**
>
> *Affidarsi ciecamente a un sistema automatico destinato a regolare una fisiopatologia complessa rischia di trasformare un piccolo malfunzionamento meccanico non rilevato in un'emergenza medica acuta. La supervisione umana consapevole rimane il presidio di sicurezza primario.*

28.6. La Dimensione Umanistica e l'Umanizzazione dell'Intelligenza Artificiale

A fronte dei limiti tecnologici e dei rischi comportamentali, diventa indispensabile promuovere una visione umanistica dell'Intelligenza Artificiale nella cura del diabete tipo 1.

28.6.1 Valorizzazione del Vissuto e dell'Autonomia della Persona

La persona con diabete non è un mero 'vettore di dati glicemici' o un sistema biologico da calibrare. Possiede un bagaglio insostituibile di vissuto corporeo, intuito, consapevolezza dei propri segnali interni (interocezione) e resilienza emotiva. L'IA deve essere concepita come uno strumento protesico, orientato ad ampliare la libertà e l'autonomia al servizio della persona, anziché condizionare o limitare le scelte di vita di ognuno.

28.6.2 Dalla Tirannia delle Metriche al Benessere Olistico

L'attuale cultura clinica tende talvolta a sottomettere l'individuo alla 'tirannia delle metriche': il perseguimento ossessivo di un Time in Range perfetto o di un'emoglobina glicata ideale può avvenire a costo di enormi sacrifici in termini di spontaneità, serenità e qualità della vita. L'umanizzazione della cura richiede di ridefinire il concetto stesso di successo terapeutico: un buon controllo metabolico ha valore solo se si traduce in benessere olistico, riduzione dell'ansia e piena partecipazione alla vita sociale, lavorativa e sportiva.

28.6.3 Verso un'IA Empatica, Trasparente e Orientata alla Persona

In un futuro che oggi sembra difficile da immaginare ma che gli eventi ci hanno insegnato quanto sia possibile prevedere a breve, un'Intelligenza Artificiale davvero 'umanizzata' ed etica nel campo della salute dovrebbe rispettare i seguenti principi guida:

• **Trasparenza e Intelligibilità:** Gli algoritmi non devono agire come 'scatole nere' incomprensibili. L'utente ha il diritto di capire perché il sistema ha preso o suggerito una determinata decisione terapeutica.

• **Adattabilità allo Stile di Vita:** L'IA deve adattarsi alla vita della persona (ai suoi orari, alle sue passioni, alle sue imperfezioni), e non viceversa. Deve tollerare la flessibilità ed evitare linguaggi o avvisi punitivi o colpevolizzanti.

• **Rispetto dell'Autonomia e della Dignità:** L'algoritmo deve sempre garantire all'utente la possibilità di disattivazione o modifica rapida, riaffermando il primato della decisione e della dignità umana su qualsiasi automatismo tecnologico.

In conclusione, l'Intelligenza Artificiale non rappresenta la soluzione definitiva né la sostituzione della cura umana, ma un formidabile alleato. Il futuro della diabetologia non risiede nella tecnocrazia pura, ma in una sintesi armonica tra la potenza computazionale degli algoritmi e l'insostituibile umanità, sensibilità e saggezza delle persone con diabete e dei professionisti della salute che accompagnano queste ultime.

Capitolo 29 — Modelli integrati per ragionare: triangolo Insulina-CHO-Esercizio e mappa IOB-Exercise

Dopo quanto riportato nel paragrafo precedente, cerchiamo di riassumere in pochi punti il messaggio dell'intero Atlante.

29.1 Perché servono modelli concettuali

Le decisioni da assumere di fronte a una sessione di esercizio diventano complesse quando si cerca di ricordare decine di regole non integrate fra loro.

Un modello concettuale non sostituisce le linee guida ma aiuta a ordinare le variabili. Per essere efficace, però, esso deve possedere due caratteristiche fondamentali: semplicità per essere ricordato e rigore scientifico per evitare di cadere nella trappola dell'eccesso di fiducia nel calcolo matematico prefissato.

29.2 Il triangolo Insulina-CHO-Esercizio

La risposta all'esercizio può essere letta come interazione fra tre vertici: esposizione insulinica, disponibilità di carboidrati e richiesta metabolica dell'esercizio. Nessuno dei tre spiega la curva isolatamente. Il lato insulina comprende bolo, basale, IOB, sensibilità e comportamento dell'AID; il lato carboidrati comprende glicogeno, CHO-P, CHO-G, timing, assorbimento e tollerabilità; il lato esercizio comprende intensità, durata, intermittenza, reclutamento muscolare e risposta ormonale.

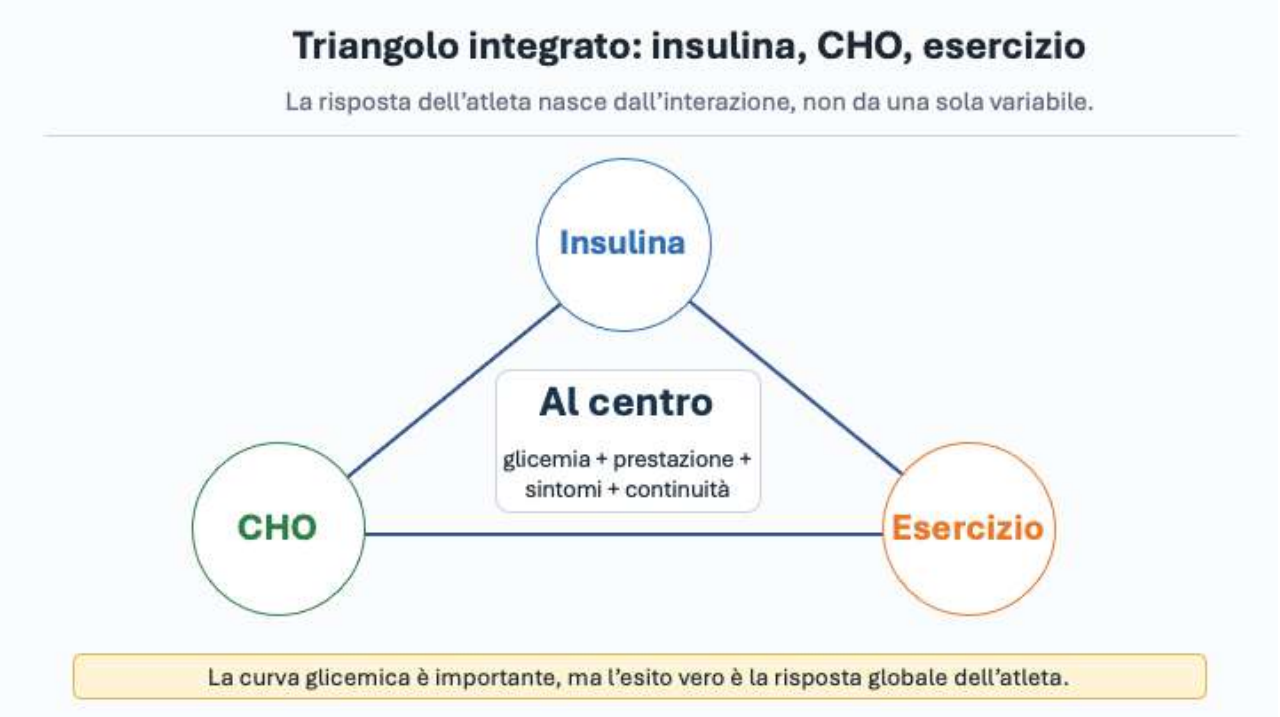


Figura 29.1. Triangolo Insulina–CHO–Esercizio: al centro vi è la risposta complessiva dell'atleta, non soltanto la glicemia.

29.3 Al centro non c'è soltanto la glicemia

Al centro del triangolo è più utile collocare la risposta dell'atleta: glicemia, prestazione, sintomi e capacità di proseguire. Questa scelta impedisce di ridurre l'obiettivo a un singolo numero del CGM. Una strategia che produce una curva perfetta ma limita sistematicamente la prestazione non è automaticamente ottimale.

29.4 La mappa IOB-Exercise

Non esiste una conversione universale fra unità di IOB e grammi di carboidrati necessari. Sensibilità insulinica, peso, timing del bolo, intensità, durata e produzione epatica modificano la relazione. Il principio qualitativo resta tuttavia utile: a parità di attività che tende a ridurre la glicemia, una maggiore esposizione insulinica aumenta generalmente la probabilità di dover utilizzare CHO-G.

29.5 Quando la mappa cambia

Nell'esercizio molto intenso o competitivo la produzione epatica di glucosio su base adrenergica può compensare o superare la captazione periferica. Una IOB non trascurabile non garantisce quindi un calo glicemico. Il modello deve essere modulato dal tipo di attività e dalla risposta individuale.

29.6 Una matrice qualitativa e semiquantitativa

IOB / risposta attesa	L'esercizio tende a ridurre la glicemia	L'esercizio con glicemia relativamente stabile	L'esercizio tende ad aumentare la glicemia
IOB bassa	CHO-G spesso limitati; valutare CHO-P	Monitoraggio e piano prestativo	Evitare riduzioni insuliniche eccessive
IOB intermedia	Rischio di CHO-G aggiuntivi	La risposta individuale diventa decisiva	Valutare il contesto prima di correggere
IOB elevata	Rischio maggiore di discesa; CHO-G più probabili	Stabilità possibile ma fragile	La risposta adrenergica può temporaneamente mascherare l'effetto insulinico

La matrice non deve essere utilizzata come algoritmo terapeutico. La sua funzione è mostrare che la stessa IOB assume significati diversi quando cambia la struttura dell'esercizio e che il nome dello sport non basta a prevedere il comportamento glicemico.

MATRICE IOB × TIPO DI ESERCIZIO: RISCHIO IPOGLICEMIA

Una guida qualitativa per ragionare, non una prescrizione universale.

IOB INIZIALE	Aerobico moderato-lungo	Intermittente / sport di squadra	Anaerobico breve-intenso	Nota
BASSA (<0,5 U)	Rischio basso	Rischio basso-moderato	Rischio basso	Monitorare CHO-P
MODERATA (0,5–1,5 U)	Rischio moderato	Rischio moderato	Rischio moderato	CHO-G possibili
ALTA (>1,5 U)	Rischio alto	Rischio alto	Rischio medio-alto	Ridurre IOB in anticipo

A parità di esercizio, il fabbisogno di CHO-G tende ad aumentare con l'IOB.

Figura 29.2. Mappa qualitativa IOB–Exercise: lo stesso livello di IOB assume significati diversi in relazione alla struttura dell'attività.

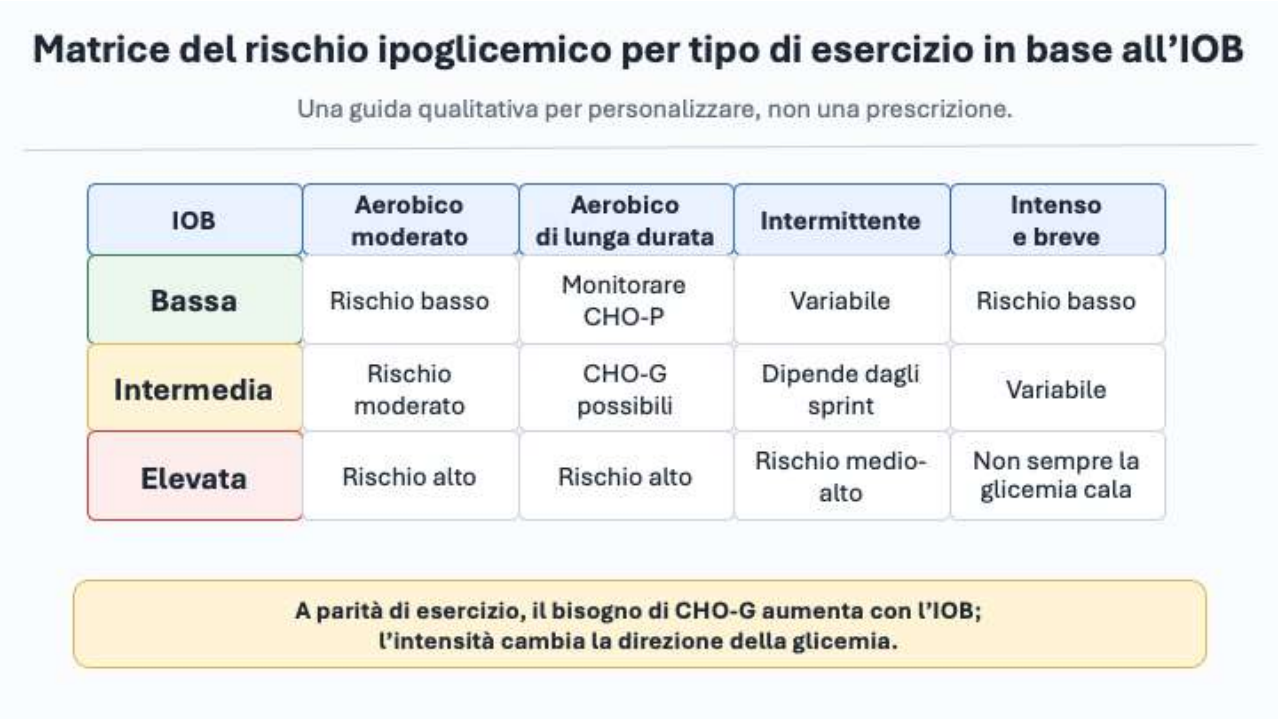


Figura 29.3. Mappa semiquantitativa IOB–Exercise

29.7 Il messaggio finale del modello

La domanda "quanto devo mangiare?" diventa più utile quando viene riformulata: quale richiesta prestativa devo sostenere e con quanta insulina sto iniziando? In questo modo il dato glicemico torna al proprio ruolo: informare la sicurezza e l'adattamento terapeutico senza sostituire la fisiologia della prestazione.



Figura 29.4. Decisioni immediate da assumere in modo semiautomatizzato ma logico

MESSAGGIO CONCLUSIVO

La gestione moderna dello sport nel DMT1 non consiste nel cercare una curva perfetta in ogni seduta.

Consiste nel creare le condizioni perché la persona possa allenarsi e competere in sicurezza, distinguendo progressivamente ciò che appartiene alla prestazione da ciò che appartiene alla terapia.

CAPITOLO 30 — BIBLIOGRAFIA TRASVERSALE ESSENZIALE

Elenco unificato delle fonti e dei riferimenti bibliografici citati nei singoli capitoli.

1. **Adolfsson P, et al.** ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2022: Exercise in children and adolescents with diabetes. *Pediatr Diabetes.* 2022;23(8):1341–1372.
2. **American Diabetes Association.** Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care.* 2026;49(Suppl 1).
3. **Bonomo M, et al.** Safety of recreational scuba diving in type 1 diabetic patients: the Deep Monitoring programme. *Diabetes Metab.* 2009;35(2):101–107.
4. **Bonomo MA, Careddu G, Corigliano G, et al.** La persona con diabete tipo 1 e le immersioni subacquee. *Il Diabete Online.* 2019;31.
5. **Brazeau AS, et al.** Barriers to physical activity among patients with type 1 diabetes. *Diabetes Care.* 2008;31(11):2108–2109.
6. **Brooks GA, Mercier J.** Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the crossover concept. *Journal of Applied Physiology.* 1994;76(6):2253–2261.
7. **Burke LM, et al.** Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences.* 2011;29(Suppl 1):S17–27.
8. **Bussau VA, et al.** The 10-s Maximal Sprint: A novel approach to counter an exercise-mediated fall in glycemia in individuals with type 1 diabetes. *Diabetes Care.* 2006;29(3):601–606.
9. **CamDiab / Ypsomed.** CamAPS FX and mylife YpsoPump educational materials: Ease-off, Boost and slowly absorbed meal. https://www.mylife-diabetescare.com/en/get-to-know-myloop (ultimo accesso 27/09/2026).
10. **Chatwin H, et al.** Effectiveness of educational and behavioural interventions for reducing fear of hypoglycaemia among adults with type 1 diabetes: systematic review and meta-analyses. *Diabet Med.* 2023;40(5):e15071.
11. **Cigrovski Berkovic M, et al.** Fear of hypoglycemia, a game changer during physical activity in type 1 diabetes mellitus patients. *World J Diabetes.* 2021;12(5):569–577.
12. **Colberg SR, et al.** Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care.* 2016;39(11):2065–2079.
13. **Corigliano G.** Indicazioni e limiti dell'esercizio fisico nel diabetico insulino-dipendente anche in rapporto ad iniziali complicanze. *AMD.* 1993.
14. **Corigliano G, et al. (Gruppo Fitwalking).** Progetto Fitwalking Freedom League Italia: risultati a 6 mesi. *Atti del XVIII Congresso AMD.* 2011.
15. **Corigliano G, et al.** Diabete e sport: il ruolo dell'associazionismo. *G It Diabetol Metab.* 2016;36:113–116.
16. **De Cock D, et al.** The effect of physical activity on glycaemic control in people with type 1 diabetes mellitus: a systematic literature review and meta-analysis. *Diabet Med.* 2024;41(8):e15415.
17. **De Fazio C, et al.** Trattamento dell'ipoglicemia da attività sportiva in diabetici tipo 1 mediante l'uso di un integratore liquido contenente glucosio, tiamina e manganese. *J AMD.* 2016;19:165–172.
18. **De Fazio C, et al.** Dextrose Supplementation against Exercise Related Hypoglycaemia in Athletes with Type 1 Diabetes Mellitus. *Nutr Food Toxicol.* 2017;1:16–25.

19. de Mol P, et al. Physical activity at altitude: challenges for people with diabetes. *Diabetes Care.* 2014;37(8):2404–2413.

20. Diabete Sommerso ODV. Progetto e attività formative su subacquea e diabete tipo 1. *Documentazione e materiale associativo.* https://www.diabetesommerso.org/calendario-eventi-2026/ (ultimo accesso 27/09/2026).

21. Eckstein ML, et al. Blood glucose response to running or cycling in individuals with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Diabet Med.* 2023;40(3):e14981.

22. Guédet C, et al. Exploring perceived barriers to physical activity among individuals with type 1 diabetes in the era of new technologies: an analysis from the BETTER registry. *Diabetes Metab.* 2025.

23. Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism.* 2020;2(9):817–828.

24. Helleputte S, et al. Effects of postprandial exercise on blood glucose levels in adults with type 1 diabetes: a review. *Diabetologia.* 2023;66(7):1179–1191.

25. Insulet Corporation. Omnipod 5 User Guide, Technical User Guide, Activity Feature and HCP educational materials. *https://www.omnipod.com/sites/default/files/Omnipod-5_User-guide.pdf* (ultimo accesso 27/09/2026).

26. International Olympic Committee. Consensus statement on youth athletic development. *Br J Sports Med.* 2015;49(13):843–851.

27. Jensen TE, Richter EA. Regulation of glucose and glycogen metabolism during and after exercise. *Journal of Physiology.* 2012;590(5):1069–1076.

28. Jeukendrup AE. Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2010;13(4):452–457.

29. Jeukendrup AE. Training the Gut for Athletes. *Sports Med.* 2017;47(Suppl 1):101–110.

30. King AJ, et al. The Effect of Gut-Training and Feeding-Challenge on Markers of Gastrointestinal Status in Response to Endurance Exercise: A Systematic Literature Review. *Sports Med.* 2023;53(11):2167–2190.

31. Martyn-Nemeth P, et al. Fear of hypoglycemia in adults with type 1 diabetes: impact of therapeutic advances and strategies for prevention - a review. *J Diabetes Complications.* 2016;30(1):167–177.

32. Medtronic Diabetes. MiniMed 780G System Support and User Guides: SmartGuard Technology; Temp Target; Safe Meal Bolus. https://www.minimed.com/en-us/support/product-support/780g (ultimo accesso 27/09/2026).

33. Moser O, et al. Accuracy of continuous glucose monitoring during differing exercise conditions. *Diabetes Res Clin Pract.* 2016;112:39–45.

34. Moser O, Zaharieva DP, Adolfsson P, et al. The use of automated insulin delivery around physical activity and exercise in type 1 diabetes: EASD/ISPAD position statement. *Diabetologia.* 2025;68(2):255–280.

35. Phillip M, Nimri R, Bergenstal RM, et al. Consensus Recommendations for the Use of Automated Insulin Delivery Technologies in Clinical Practice. *Endocr Rev.* 2023;44(2):254–280.

36. Riddell MC, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2017;5(5):377–390.

37. Riddell MC, Shakeri D, Scott SN. A Brief Review on the Evolution of Technology in Exercise and Sport in Type 1 Diabetes: Past, Present, and Future. *Diabetes Technol Ther.* 2022;24(4):289–298.

38. Romijn JA, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology.* 1993;265(3 Pt 1):E380–E391.

39. Scott SN, et al. Post-exercise recovery for the endurance athlete with type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2021;9(5):304–317.

40. Strollo F, et al. Exercise related care pathways for people with diabetes: Literature review and expert consensus. Diabetes Metab Syndr. 2019 Jul-Aug;13(4):2755-2762.

41. Tandem Diabetes Care. Control-IQ+ Technology and Tandem Mobi User Guide. https://www.tandemdiabetes.com/it-IT/support/resources/documents?set-locale=true (ultimo accesso 27/09/2026).

42. Wasserman DH. Four grams of glucose. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism.* 2009;296(1):E11–E21.

43. Wilson PB. Multiple Transportable Carbohydrates During Exercise: Current Limitations and Directions for Future Research. *J Strength Cond Res.* 2015;29(7):2056–2070.

44. Yardley JE, et al. Point accuracy of interstitial continuous glucose monitoring during exercise in type 1 diabetes. *Diabetes Technol Ther.* 2013;15(1):46–49.

45. Yardley JE, et al. The ups and downs of a bike race in people with type 1 diabetes. *Can J Diabetes.* 2015;39(2):105–110.

46. Yardley JE. Reassessing the evidence: prandial state dictates glycaemic responses to exercise in individuals with type 1 diabetes to a greater extent than intensity. *Diabetologia.* 2022;65(12):1994–1999.

47. Zaharieva DP, et al. Accuracy of CGM systems during continuous and interval exercise in adults with type 1 diabetes. *Diabetes Technol Ther.* 2021;23(1):31–38.

48. Zaharieva DP, et al. Practical Aspects and Exercise Safety Benefits of Automated Insulin Delivery Systems in Type 1 Diabetes. *Diabetes Spectr.* 2023

AGLI AMICI DELLA PRIMA ORA

In ricordo del Dott. Mariano Agrusta

Gli autori vogliono ricordare il Dott. Mariano Agrusta, socio fondatore di ANIAD e maestro dell'educazione terapeutica, che, da specialista illuminato, ha condiviso con sensibilità ed impegno il mondo di diabete e sport.

In ricordo del Dott. Giuseppe Di Blasi

L'ANIAD Lazio ricorda, in particolare, il Dott. Giuseppe Di Blasi, atleta con DMT1 che, con impegno e entusiasmo costanti, ha lanciato l'associazione nella sua regione ed ha anche offerto un contributo a livello nazionale con l'organizzazione di Giro del Lazio a staffetta (2000), Staffetta Internazionale Nettuno-Traunreut (2001) e ben venti Maratone di Roma consecutive fino all'epidemia del COVID-19.