

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea in Scienze Motorie

Il ruolo dell'esercizio fisico nel trattamento del diabete mellito

Relatore/Relatrice:

Ch.ma Prof.ssa
Michela Rigoni

Laureando/a:

Filippo Mazza
Matricola: 2114444

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

Abstract	2
Capitolo 1 – Il diabete mellito	3
1.1 Cos'è il diabete?	3
1.2 Fisiopatologia del diabete mellito tipo 1	4
1.3 Fisiopatologia del diabete mellito tipo 2	5
Capitolo 2 – Attività fisica e diabete	7
2.1 Ruolo dell'esercizio fisico sull'omeostasi glucidica	7
2.2 Diverse tipologie di allenamento nel trattamento del diabete tipo 2	7
2.3 Composizione corporea e risposta glicemica	10
2.4 Diverse tipologie di allenamento nel trattamento del diabete tipo 1	13
2.5 Differenze di genere nelle risposte glicemiche all'esercizio fisico nel diabete tipo 1	16
Capitolo 3 – Dieta, attività fisica e diabete	18
3.1 Ruolo della dieta nel prediabete	18
3.2 Ruolo della dieta nel controllo glicemico in pazienti affetti da diabete mellito tipo 2	20
Conclusioni	24
Bibliografia	26

ABSTRACT

Il diabete mellito è una patologia metabolica cronica caratterizzata da iperglicemia a digiuno, associata a numerose complicanze cardiovascolari. Questo elaborato analizza il ruolo dell'esercizio fisico e della dieta nel trattamento del diabete mellito di tipo 1 e di tipo 2. Esso include una breve introduzione che espone le principali caratteristiche del diabete, seguita da un'analisi dell'impatto dell'attività fisica sul controllo metabolico, paragonando diverse tipologie di allenamento e i loro effetti sui livelli glicemici.

Gli studi presi in considerazione dimostrano che l'allenamento combinato, ovvero composto da esercizi aerobici e di resistenza, rappresenta la strategia più efficace nel miglioramento dei parametri metabolici nel diabete di tipo 2, mentre per i pazienti affetti da diabete di tipo 1, la metodologia di allenamento più efficace nella riduzione dei livelli di glucosio è quella aerobica. Gli studi evidenziano una certa variabilità di risposta all'esercizio, indotta da fattori individuali come la composizione corporea e il sesso, sottolineando l'importanza di personalizzare gli allenamenti a seconda delle caratteristiche del soggetto.

L'ultima parte dell'elaborato si concentra sul ruolo della dieta nel controllo della glicemia, in pazienti prediabetici e affetti da diabete di tipo 2, evidenziando come gli interventi nutrizionali combinati all'attività fisica riducano l'infiammazione cronica e favoriscano il controllo dei livelli di glucosio nel sangue.

Le evidenze sperimentali confermano quindi che gli interventi sullo stile di vita, in particolare la pratica di esercizio fisico costante e un regime alimentare corretto, rappresentano un elemento fondamentale nella prevenzione e nella gestione del diabete mellito.

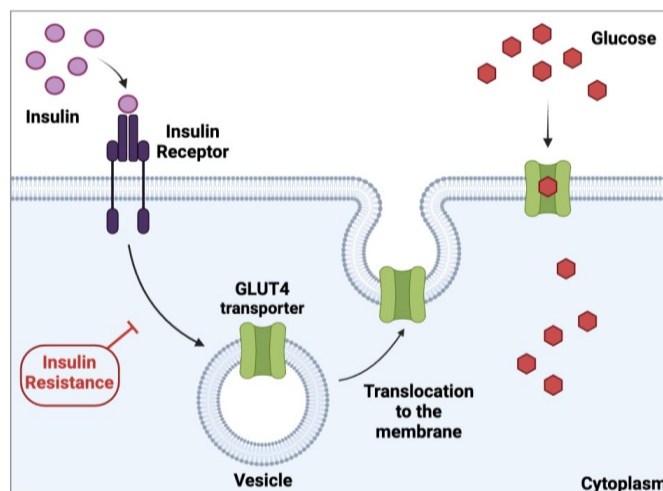
Capitolo 1 – Il diabete mellito

1.1 Cos'è il diabete?

Il diabete mellito è una malattia metabolica caratterizzata da iperglicemia cronica, una condizione clinica dovuta ad una elevata concentrazione di glucosio nel sangue anche a digiuno, a causa di difetti nella secrezione di insulina, nell'azione dell'insulina o in entrambi.

L'insulina è un ormone prodotto dalle cellule beta del pancreas in risposta ad aumenti di glucosio postprandiale, e agisce riducendo la produzione epatica di glucosio e facilitando la captazione del glucosio ematico da parte dei tessuti periferici. L'azione dell'insulina è quindi fondamentale per il mantenimento dell'omeostasi del glucosio.

Il muscolo scheletrico rappresenta il principale utilizzatore di glucosio la cui captazione dal sangue è insulino-dipendente (*Richter et al., 2025*). In condizioni fisiologiche esso è responsabile della maggior parte dell'utilizzo del glucosio dopo un pasto. Pertanto alterazioni strutturali o metaboliche del muscolo, nonché della produzione e/o della sensibilità insulinica contribuiscono in modo significativo allo sviluppo dell'iperglicemia, mentre l'attività fisica favorisce l'assorbimento del glucosio da parte del muscolo, migliorando il controllo glicemico.



*Figura 1. Meccanismo di captazione del glucosio nel muscolo scheletrico. Il legame dell'insulina al recettore insulinico promuove la traslocazione dei trasportatori GLUT4 alla membrana plasmatica, consentendo l'ingresso del glucosio nella fibra muscolare, dove viene utilizzato per la produzione di energia o immagazzinato sotto forma di glicogeno. Adattata da (*Richter et al., 2025*)*

Secondo *Liu et al. (2024)* al giorno d'oggi il diabete mellito rappresenta un grosso problema a livello sanitario globale, essendo tra le prime 10 cause di morte nel mondo. La Federazione internazionale del diabete, stimava nel 2021 un numero di casi pari a 537 milioni, cifra destinata a salire a 587 milioni entro il 2045. Oltre alla mortalità direttamente attribuibile alle sue complicanze metaboliche acute e croniche, la condizione aumenta il rischio di gravi comorbidità, come malattie cardiovascolari, ictus, malattie renali, disfunzione epatiche, diversi tipi di tumore (pancreas, fegato, colon-retto) e infezioni.

Le complicanze acute del diabete mellito comprendono polidipsia, polifagia compensatoria, glicosuria, cheto acidosi diabetica e stato iperglicemico iperosmolare. Queste condizioni rappresentano emergenze mediche che richiedono un trattamento tempestivo per ridurre gravi conseguenze cliniche.

Le complicanze croniche, conseguenti la permanenza di alti livelli di glucosio nel sangue, vengono suddivise in micro vascolari e macrovascolari. Le complicanze micro vascolari comprendono retinopatia diabetica, nefropatia diabetica e neuropatia diabetica, mentre quelle macrovascolari includono la malattia coronarica, la malattia cerebrovascolare e l'arteriopatia periferica. Tali complicanze rappresentano la principale causa delle malattie, dei decessi e dei costi sanitari associati alla malattia.

L'esercizio fisico e l'attività fisica sono considerati i pilastri della prevenzione e del trattamento del diabete (*Zou et al., 2016*). L'esercizio migliora il controllo glicemico, anche in assenza di perdita di peso, e si traduce in una riduzione del contenuto di grasso corporeo e in una maggiore risposta insulinica.

1.2 Fisiopatologia del diabete mellito di tipo 1

Il diabete mellito di tipo 1 è una malattia cronica autoimmune caratterizzata dalla distruzione delle cellule beta del pancreas, responsabili della produzione di insulina (*Martin et al. 2024*). Questo porta a un deficit di insulina, che a sua volta provoca iperglicemia, poiché i tessuti insulino-dipendenti per quanto riguarda la captazione del glucosio nel sangue (tra cui il muscolo che ne è il principale consumatore), non

riescono ad assumerlo per produrre energia, abbassandone quindi i livelli plasmatici. La terapia richiede somministrazione quotidiana di insulina esogena, tramite iniezioni o infusione continua sottocutanea. La terapia farmacologica va accompagnata da un'alimentazione sana e da esercizio fisico. Il diabete mellito di tipo 1 è una patologia che di solito si manifesta in giovane età, e che senza un'adeguata gestione, può indurre un alto rischio di sviluppare complicanze cardiovascolari e mortalità.

1.3 Fisiopatologia del diabete mellito di tipo 2

Il diabete mellito di tipo 2 è una malattia metabolica cronica caratterizzata da insulino-resistenza, ovvero la ridotta sensibilità dei tessuti all'azione dell'insulina nel promuovere l'assorbimento del glucosio da parte dei tessuti periferici. Questo difetto porta a livelli elevati di glucosio nel sangue e innesca una serie di alterazioni metaboliche che contribuiscono all'insorgenza di complicanze correlate al diabete, tra cui le malattie cardiovascolari. Gli individui con diabete mellito di tipo 2 presentano frequentemente parametri emodinamici alterati, come l'aumento della pressione sanguigna sistolica e diastolica, che aggravano ulteriormente il rischio cardiovascolare e contribuiscono alla progressione della malattia.

Uno studio di *Amravadi et al. (2024)* rivela che le complicanze a lungo termine possono essere ritardate assumendo i farmaci prescritti ma anche con uno stile di vita sano, ovvero una dieta sana e la pratica di attività fisica. Sebbene l'insulino-resistenza sia più comune negli anziani, essa è oggi sempre più diffusa anche tra individui più giovani a causa dell'aumento della sedentarietà e dell'obesità. Un ruolo rilevante nello sviluppo dell'insulino-resistenza è infatti lo sviluppo di una condizione di infiammazione cronica di basso grado, o infiammazione silente, frequentemente associata all'eccesso di tessuto adiposo. Le citochine pro-infiammatorie rilasciate dal tessuto adiposo, insieme all'aumento dello stress ossidativo, interferiscono con l'azione dell'insulina nei tessuti periferici, favorendo l'insulino-resistenza. A sua volta, l'iperglicemia che ne consegue promuove la produzione di mediatori infiammatori e specie reattive dell'ossigeno, instaurando un circolo vizioso che contribuisce alla progressione della malattia e allo sviluppo delle complicanze diabetiche. Sebbene gli individui affetti dalla forma 2

producano insulina, l'iperglicemia cronica stimola il pancreas ad aumentare il suo rilascio come meccanismo compensatorio, fino a che le cellule beta vengono irreversibilmente danneggiate e subentrano un'insufficienza insulinica anche in questi soggetti.

Con la progressiva riduzione della funzione delle cellule beta pancreatiche e l'insorgenza di insufficienza insulinica, può rendersi necessaria la somministrazione di insulina esogena per mantenere un elevato controllo glicemico anche nei pazienti di tipo 2.

Nel 2019 la prevalenza del T2DM era del 9,3% e si prevede che aumenterà al 10,9% entro il 2045. Lo studio di *Chouk et al. (2025)* sottolinea però che sebbene il diabete di tipo 2 sia comunemente associato a stili di vita sedentari e all'obesità, è importante riconoscere che può svilupparsi anche nonostante una regolare attività fisica. Fattori come la predisposizione genetica, la dieta, la disfunzione metabolica e l'invecchiamento possono contribuire all'insorgenza di tale malattia.

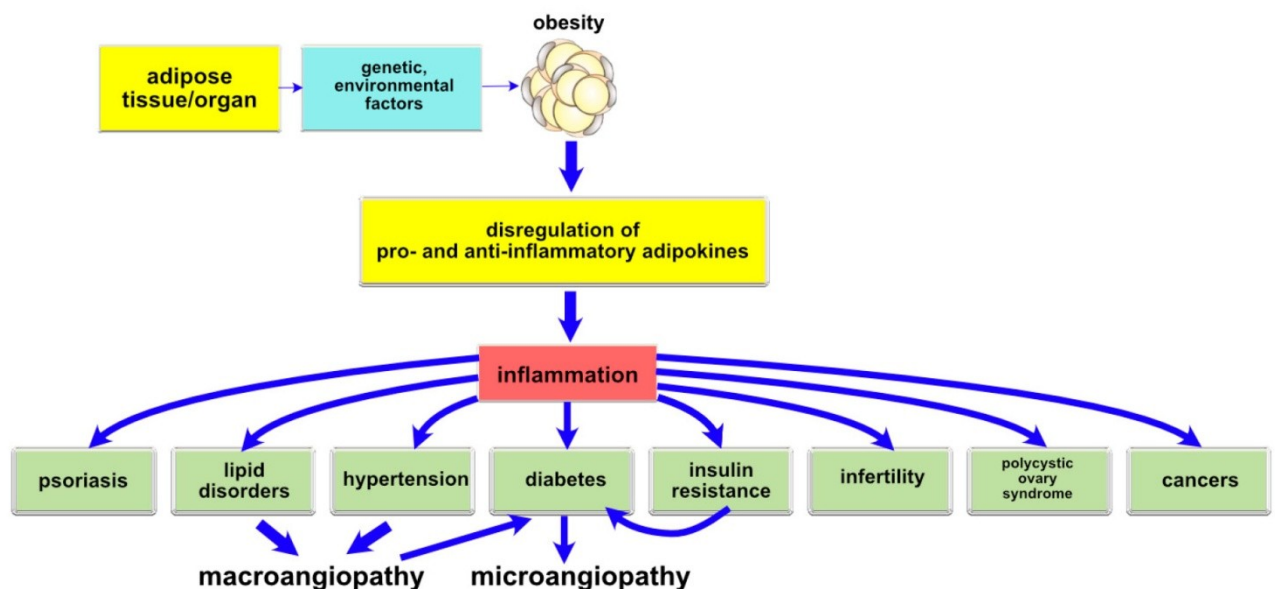


Figura 2. Disregolazione della produzione di adipochine nell'individuo obeso. L'espansione del tessuto adiposo determina una riduzione della secrezione di adiponectina e un aumento della produzione di adipochine e citochine pro-infiammatorie, tra cui leptina, TNF- α e IL-6. Queste alterazioni promuovono uno stato di infiammazione cronica di basso grado e contribuiscono allo sviluppo dell'insulino-resistenza caratteristica del diabete mellito di tipo 2. Adattata da (Ouchi et al., 2011)

Capitolo 2 - Attività fisica e diabete

2.1 Ruolo dell'esercizio fisico sull'omeostasi glucidica

Il primo approccio alla gestione dell'iperglicemia in genere, oltre alla terapia farmacologica, prevede un intervento di modifica dello stile di vita, con aggiustamenti nella dieta e l'implemento di attività fisica.

Lo studio di *Piralaïy et al. (2025)* afferma che vari tipi di esercizio, tra cui aerobico, di resistenza e combinato migliorano l'omeostasi glicemica, riducono il rischio cardiovascolare e migliorano la composizione corporea diminuendo la massa grassa e aumentando la massa magra. I meccanismi alla base dei miglioramenti del metabolismo del glucosio correlati all'esercizio comprendono una maggiore sensibilità all'insulina, una ridotta produzione epatica di glucosio, un maggiore assorbimento periferico di glucosio e una migliore funzione delle cellule beta.

Una singola sessione di allenamento può promuovere un calo o aumentare il livello di glucosio nel sangue, sebbene esista una considerevole variazione interindividuale nelle risposte acute del glucosio all'esercizio. Questo perché sono molti i fattori che influenzano le risposte glicemiche all'esercizio, come il tipo di esercizio, l'assunzione di carboidrati, il livello di insulina in circolo e i livelli di ormoni contro regolatori.

2.2 Diverse tipologie di allenamento nel trattamento del diabete di tipo 2

Piralaïy, E., Rashidpour, A., & Ismael, B. R. (2025). Differential effects of aerobic, resistance, and combined trainings on first- and second-phase insulin secretion and glucose effectiveness in type 2 diabetes: A randomized controlled trial. Journal of Diabetes Research, 2025

Nonostante i progressi nella comprensione dei benefici dell'esercizio fisico per la gestione del diabete, rimangono delle lacune riguardo agli effetti specifici delle diverse modalità d'esercizio.

A questo proposito, *Piralaïy et al. (2025)* hanno condotto uno studio clinico randomizzato, che ha confrontato gli effetti di tre diversi protocolli di esercizio, ovvero

aerobico, di resistenza e combinato, in 45 uomini di età compresa tra i 34 e i 67 anni, con diagnosi confermata di diabete mellito di tipo 2 da almeno 3 anni, che conducono uno stile di vita fisicamente inattivo. Questo studio si è concentrato esclusivamente sugli uomini per minimizzare i potenziali effetti confondenti dei livelli ormonali.

I partecipanti sono stati suddivisi casualmente in 4 gruppi studio, in ognuno dei quali sono stati sottoposti a un programma di 12 settimane di allenamento.

Il primo gruppo ha svolto un programma di allenamento aerobico, che consisteva in tre sessioni settimanali di corsa su tapis roulant, iniziando con 25 minuti al 70% della frequenza cardiaca massima (FCmax) e aumentando progressivamente fino a 45 minuti al 75% della FCmax.

Il secondo gruppo ha seguito un programma di allenamento di resistenza, costituito da 3 allenamenti a settimana, completando 9 esercizi con macchinari per la parte superiore, per la parte inferiore e per il core.

Al terzo gruppo è stato assegnato un programma di allenamento combinato, caratterizzato dal protocollo completo dell'allenamento aerobico con l'aggiunta di 2 sessioni di allenamento di resistenza settimanali.

Infine ai partecipanti del gruppo di controllo è stato chiesto di mantenere i loro soliti modelli di attività fisica durante il periodo di intervento.

Al termine sono stati valutati tre parametri in particolare, ovvero le variazioni percentuali della secrezione di insulina di prima fase (FPIS), della secrezione di insulina di seconda fase (SPIS) e dell'efficacia del glucosio (GE). La secrezione insulinica di prima fase rappresenta il rapido rilascio di insulina da parte delle cellule beta pancreatiche che segue l'aumento di glicemia, mentre la secrezione insulinica di seconda fase corrisponde alla successiva risposta più lenta e prolungata necessaria per mantenere il controllo glicemico. L'efficacia del glucosio, valutata utilizzando test di tolleranza al glucosio per via endovenosa, indica la capacità del glucosio di promuovere il proprio utilizzo da parte dei tessuti, e inibire la propria produzione epatica, indipendentemente dall'azione dell'insulina.

Le analisi hanno indicato che i partecipanti che hanno svolto l'allenamento combinato hanno avuto un grosso miglioramento di FPIS e SPIS rispetto al gruppo di controllo.

Anche il gruppo di allenamento di resistenza ha riportato grandi miglioramenti, mentre il

gruppo di allenamento aerobico, seppur con buoni miglioramenti rispetto al gruppo di controllo, si è dimostrato meno efficace.

La stessa cosa per i miglioramenti nel GE, con l'allenamento combinato che ha portato grandi aumenti, seguito dall'allenamento di resistenza e quello aerobico, mentre il gruppo di controllo ha mostrato un calo.

Quindi l'allenamento combinato ha costantemente prodotto i miglioramenti più pronunciati in tutti e tre i parametri valutati, dimostrando un'efficacia superiore ai regimi d'esercizio a modalità singola.

E' stato anche osservato come i partecipanti che hanno avuto un elevato volume di allenamento hanno ottenuto maggiori miglioramenti nella funzione delle cellule beta, rispetto ai partecipanti con volume di allenamento minore.

Inoltre le analisi di correlazione hanno evidenziato che all'aumentare del miglioramento della funzione pancreatica corrisponde una maggiore riduzione del peso e della massa grassa, dimostrando un rapporto diretto tra queste due variabili.

Questo studio chiarisce il profondo impatto dell'esercizio fisico sulla funzione delle cellule beta e sull'efficacia del glucosio nei pazienti con diabete di tipo 2, e ne sottolinea il ruolo fondamentale come strategia terapeutica. Infatti dai risultati possiamo notare come i partecipanti allo studio abbiano tratto dei benefici a livello metabolico dalla pratica di attività fisica, e addirittura che il volume di allenamento è direttamente proporzionale ai miglioramenti delle cellule del pancreas.

E' interessante notare come nonostante il metodo di allenamento combinato sia risultato superiore, anche gli altri metodi abbiano portato miglioramenti netti rispetto al gruppo di controllo, evidenziando quanto qualsiasi tipo di esercizio fisico sia fondamentale nella gestione del diabete mellito.

Nell'interpretazione di questi risultati, è necessario considerare alcune limitazioni dello studio. La durata dell'intervento di 12 settimane limita la possibilità di valutare la durata a lungo termine dei miglioramenti della funzione pancreatica indotta da esercizio fisico. Studi futuri dovrebbero quindi esaminare gli effetti di programmi di allenamento più prolungati, includendo follow-up estesi per verificare la stabilità nel tempo dei benefici osservati sulle cellule beta. Inoltre l'arruolamento esclusivo maschile limita la possibilità di estendere i risultati al genere femminile, che potrebbe presentare risposte metaboliche diverse all'esercizio.

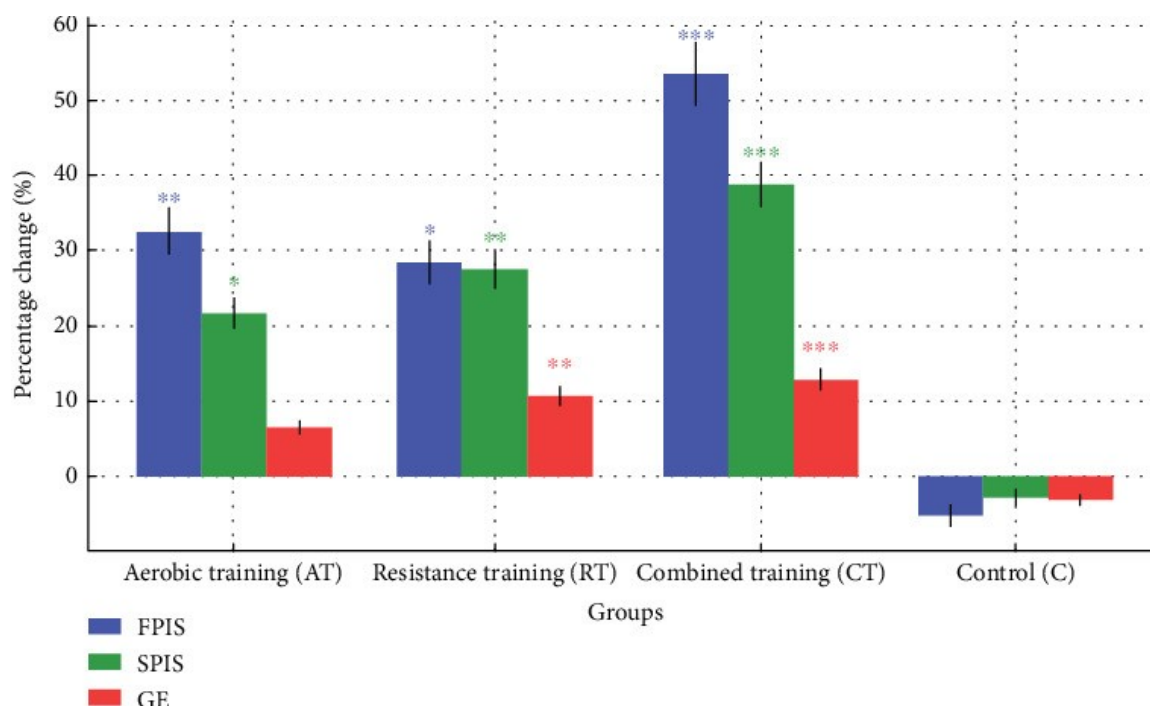


Figura 3. Variazioni medie aggiustate di FPIS, SPIS e GE tra i gruppi. Variazioni percentuali della secrezione di insulina di prima fase (FPIS), della secrezione di insulina di seconda fase (SPIS) e dell'efficacia del glucosio (GE) dopo 12 settimane di allenamento aerobico (AT), allenamento di resistenza (RT), allenamento combinato (CT) o intervento di controllo (C) in pazienti con diabete mellito di tipo 2 (n = 45). Le barre di errore indicano l'errore standard. Significatività rispetto al controllo: *p < 0,05, **p < 0,01, ***p < 0,001

2.3 Composizione corporea e risposta glicemica

Liu, D., Zhang, Y., Wu, Q., Han, R., Cheng, D., Wu, L., Guo, J., Yu, X., Ge, W., Ni, J., Li, Y., Ma, T., Fang, Q., Wang, Y., Zhao, Y., Zhao, Y., Sun, B., Li, H., & Jia, W. Exercise-induced improvement of glycemic fluctuation and its relationship with fat and muscle distribution in type 2 diabetes. *Journal of Diabetes*, 2024

I pazienti con diabete di tipo 2 sono per la maggior parte obesi (obesità addominale), e l'accumulo di grasso viscerale partecipa al meccanismo fisiopatologico del diabete. Dato che il muscolo scheletrico è il principale consumatore di glucosio e quindi un essenziale regolatore del metabolismo sistemico, l'esercizio fisico è fondamentale per ridurre la massa grassa e aumentare quella muscolare. Tuttavia non è ancora chiaro

se la composizione corporea influenzi l'impatto dell'esercizio fisico sulla fluttuazione della glicemia.

Lo studio di *Liu et al. (2024)* ha indagato l'effetto dell'allenamento fisico sulla fluttuazione della glicemia in pazienti con diabete di tipo 2 e ha esplorato i possibili fattori determinanti della risposta all'esercizio

Hanno partecipato allo studio 50 soggetti adulti di entrambi i sessi, di età compresa tra 35 e 65 anni, sedentari, con diagnosi di diabete di tipo 2 e obesità addominale (circonferenza vita ≥ 90 cm per i maschi e ≥ 80 cm per le femmine). Sono stati suddivisi casualmente in un gruppo di esercizio e un gruppo di controllo, con un rapporto 1:1 stratificato per sesso ed età. I soggetti del gruppo di controllo hanno mantenuto uno stile di vita sedentario per 2 settimane, mentre quelli del gruppo di esercizio hanno mantenuto uno stile di vita sedentario per 1 settimana, per poi ricevere 3 allenamenti combinati, una parte aerobica e una di resistenza, nella seconda settimana. Inoltre tutti gli individui hanno seguito una dieta dedicata secondo le linee guida dietetiche per il diabete di tipo 2.

Il sistema FGM (*Flash Glucose Monitoring*) è stato installato sui partecipanti, si tratta di un sistema di monitoraggio utilizzato per misurare continuamente i livelli di glucosio nel liquido interstiziale tramite un piccolo sensore applicato sulla pelle, generalmente nella parte posteriore del braccio. Da questa misurazione non si sono osservate variazioni significative nei livelli di glucosio nelle 24 ore nel gruppo di controllo prima e durante l'intervento. Tuttavia, nel gruppo sottoposto ad esercizio fisico è stata osservata una tendenza decrescente nelle concentrazioni di glucosio, infatti la curva glicemica nelle 24 ore è risultata più stabile e al di sotto della curva basale.

La composizione corporea dei partecipanti è stata quantificata con precisione mediante risonanza magnetica, e la distribuzione basale di grasso e massa muscolare è risultata un fattore significativo per i parametri di variabilità glicemica. Infatti i pazienti con maggiore obesità addominale e minore circonferenza della coscia hanno mostrato miglioramenti più significativi nelle fluttuazioni glicemiche dopo una settimana di allenamento combinato. Questo dimostra che i fenotipi basali influenzano la risposta glicemica all'esercizio fisico nei pazienti con diabete di tipo 2.

E' opportuno considerare anche le limitazioni di questo studio. In primo luogo, vengono dimostrati gli effetti di un allenamento di brevissima durata sulle fluttuazioni glicemiche,

sono necessari studi di durata maggiore per indagare la persistenza della risposta glicemica. In secondo luogo le dimensioni del campione analizzato sono relativamente ridotte, pertanto occorre interpretare i risultati con cautela.

In conclusione, i risultati evidenziano come la composizione corporea rappresenti un elemento fondamentale nella risposta glicemica all'esercizio fisico. In particolare, la distribuzione del tessuto adiposo e della massa muscolare sembra influenzare l'entità dei miglioramenti metabolici ottenuti attraverso l'attività fisica, confermando il ruolo della composizione corporea nella fisiopatologia del diabete di tipo 2. Alla luce di queste considerazioni, emerge l'importanza di sviluppare programmi di allenamento che tengano conto delle caratteristiche individuali del soggetto, inclusa la composizione corporea, al fine di ottimizzare i miglioramenti metabolici.

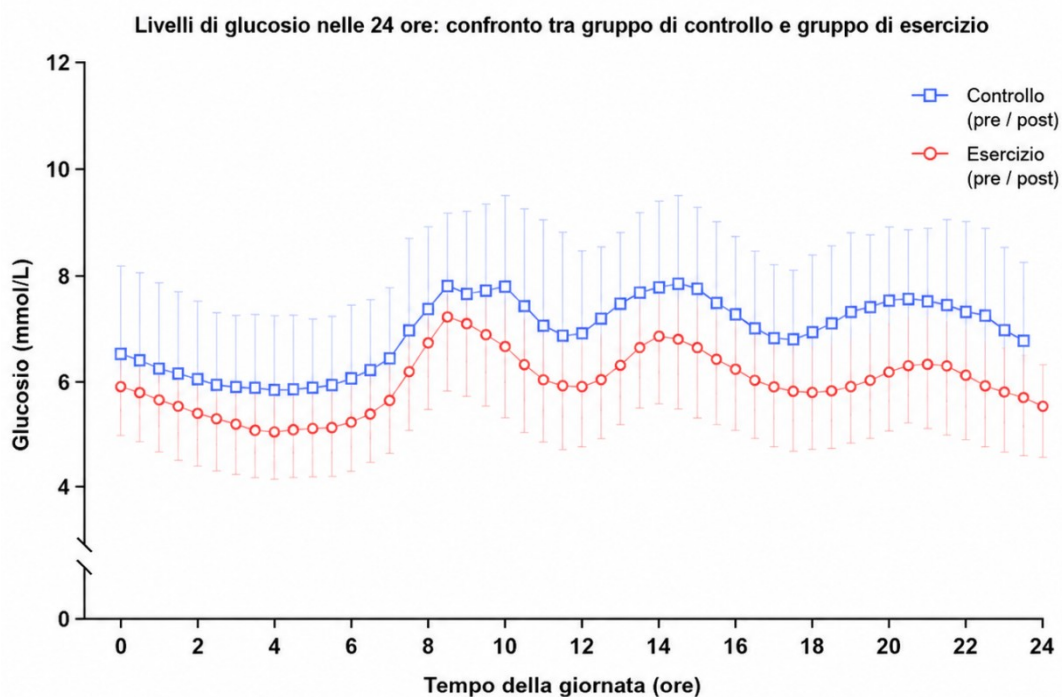


Figura 4. Livelli di glucosio basati su FGM in risposta all'intervento dello studio. I livelli di glucosio basati su FGM sono stati valutati prima e durante l'intervento. **A**, Linee e simboli blu, gruppo di controllo ($n = 25$); **B**, linee e simboli rossi, gruppo di esercizio ($n = 25$). Utilizzando l'analisi della varianza a due vie per misure ripetute: § $p < 0,05$ per l'effetto del tempo; # $p < 0,05$ per l'interazione tra l'intervento dello studio e il tempo. Utilizzando il test di confronto multiplo di Bonferroni: * $p < 0,05$ per la differenza tra il periodo pre e post in ciascun gruppo. I valori sono media $\pm$ DS. FGM, monitoraggio continuo del glucosio flash.

2.4 Diverse tipologie di allenamento nel trattamento del diabete di tipo 1

Riddell, M. C., Li, Z., Gal, R. L., Calhoun, P., Jacobs, P. G., Clements, M. A., Martin, C. K., Doyle Iii, F. J., Patton, S. R., Castle, J. R., Gillingham, M. B., Beck, R. W., Rickels, M. R., T1DEXI Study Group, Riddell, M. C., Rickels, M. R., Beck, R. W., Castle, J. R., Calhoun, P., ... Barnes, M. Examining the acute glycemic effects of different types of structured exercise sessions in type 1 diabetes in a real-world setting: The type 1 diabetes and exercise initiative(T1dexi). Diabetes Care, 2023

Uno studio svolto da *Riddell et al. (2023)* ha analizzato gli effetti di diverse metodologie di allenamento su 497 adulti di età compresa tra i 18 e i 68 anni, con diabete mellito di tipo 1 da almeno 2 anni, che utilizzavano 3 diversi sistemi per la somministrazione di insulina: un sistema ibrido a circuito chiuso (HCL) approvato in commercio, una pompa per insulina standard o iniezioni multiple giornaliere (MDI). I partecipanti sono stati assegnati in modo casuale a uno dei tre programmi di allenamento: aerobico, intervallato o di resistenza. Tutti gli esercizi sono stati svolti a casa dai soggetti, guidati da video dimostrativi, per un totale di almeno 6 sessioni di allenamento durante un periodo di osservazione di 4 settimane. L'assegnazione degli esercizi è stata stratificata in base al metodo di somministrazione dell'insulina (HCL, pompa standard o MDI), alla fascia d'età (18-25, 26-44, 45-70) e al sesso. I video dello studio avevano durata di 30 minuti ed erano progettati per raggiungere una frequenza cardiaca target in base alla tipologia di esercizio: 70-80% della frequenza cardiaca massima prevista per l'età nell'allenamento aerobico, 80-90% della frequenza cardiaca massima prevista per l'età nell'allenamento intervallato e affaticamento del principale gruppo muscolare nell'allenamento di resistenza.

Nel corso dello studio è stata valutata la variazione media del livello di glucosio durante le sessioni di allenamento in base al tipo di esercizi assegnati e alla modalità di somministrazione dell'insulina. Inoltre i risultati glicemici ottenuti nei giorni di esercizio sono stati confrontati con quelli dei giorni sedentari.

Dalle analisi è emerso che l'esercizio aerobico ha determinato una maggiore riduzione del glucosio rispetto all'esercizio intervallato e di resistenza, indipendentemente dalla modalità di somministrazione dell'insulina (HCL, pompa standard o MDI). Tuttavia è risultata una grande variabilità delle risposte glicemiche tra i partecipanti dello stesso

gruppo, questo suggerisce che diversi fattori individuali e legati all'evento possono influenzare la risposta all'esercizio. Infatti le sessioni di esercizio eseguite dagli uomini sono state associate a una maggiore riduzione della glicemia rispetto alle sessioni eseguite dalle donne, anche dopo gli aggiustamenti per modalità di somministrazione dell'insulina, emoglobina glicata (HbA1c) basale, glicemia basale ed età. L'effetto del sesso non è più risultato significativo dopo l'aggiustamento per ulteriori fattori, tra cui l'insulina in circolo durante l'esercizio (maggiore negli uomini) e la frequenza cardiaca media prima dell'esercizio (maggiore per le donne). Anche l'HbA1c basale ha influenzato la variazione del livello di glicemia durante l'esercizio, con sessioni eseguite da soggetti con livelli di HbA1c più bassi che hanno mostrato maggiori riduzioni della glicemia durante l'esercizio.

Per i fattori legati all'evento, misurati all'inizio o prima dell'inizio dell'esercizio, un maggiore calo della glicemia durante l'esercizio è stato associato a una glicemia basale più elevata, una glicemia in calo immediatamente prima dell'esercizio, una frequenza cardiaca basale inferiore, esercizio pomeridiano o serale e una maggiore quantità di insulina in circolo all'inizio dell'esercizio. Questo ci fa capire che lo stato prandiale, ovvero a digiuno o dopo pasto, è un determinante fondamentale per la risposta glicemica all'esercizio nel diabete di tipo 1.

Ulteriori analisi hanno osservato che, rispetto ai giorni sedentari, i giorni di esercizio fisico hanno portato un livello medio di glucosio inferiore e una percentuale di tempo nell'intervallo (TIR), ovvero il tempo in cui vengono mantenuti i livelli di glucosio nel sangue all'interno di un intervallo target specifico, più elevata. Il miglioramento del TIR nei giorni di esercizio rispetto ai giorni sedentari è risultato coerente tra le diverse modalità di esercizio. L'aumento del TIR indica un miglior controllo glicemico nell'arco della giornata, significa infatti ridurre sia gli episodi di iperglicemia sia le eccessive oscillazioni della glicemia, che sono fattori associati a un maggior rischio di complicanze diabetiche.

Pertanto questi risultati confermano l'importanza dell'attività fisica nella gestione del diabete di tipo 1 e dimostrano come l'esercizio regolare possa aiutare a migliorare il controllo glicemico quotidiano. In aggiunta evidenziano il bisogno personalizzare gli allenamenti in base alle caratteristiche del soggetto per ottenere maggiori benefici metabolici. Infatti la variabilità della risposta glicemica all'esercizio fisico è almeno

parzialmente correlata a diverse caratteristiche relative al partecipante e all'evento, che potrebbero essere utili da integrare nei nuovi sistemi di somministrazione di insulina HCL, per gestire al meglio il controllo glicemico durante e dopo l'esercizio negli adulti affetti da diabete di tipo 1.

Il principale punto di forza di questo studio è la presentazione di dati ottenuti da un'ampia coorte, che dimostrano come tre tipologie di esercizio influenzino la glicemia durante e dopo l'attività fisica in soggetti con diabete di tipo 1. Tuttavia la coorte potrebbe non essere rappresentativa della popolazione generale di adulti affetti da diabete di tipo 1, i partecipanti allo studio praticavano regolarmente attività fisica e avevano un controllo glicemico tramite assunzione giornaliera di insulina.

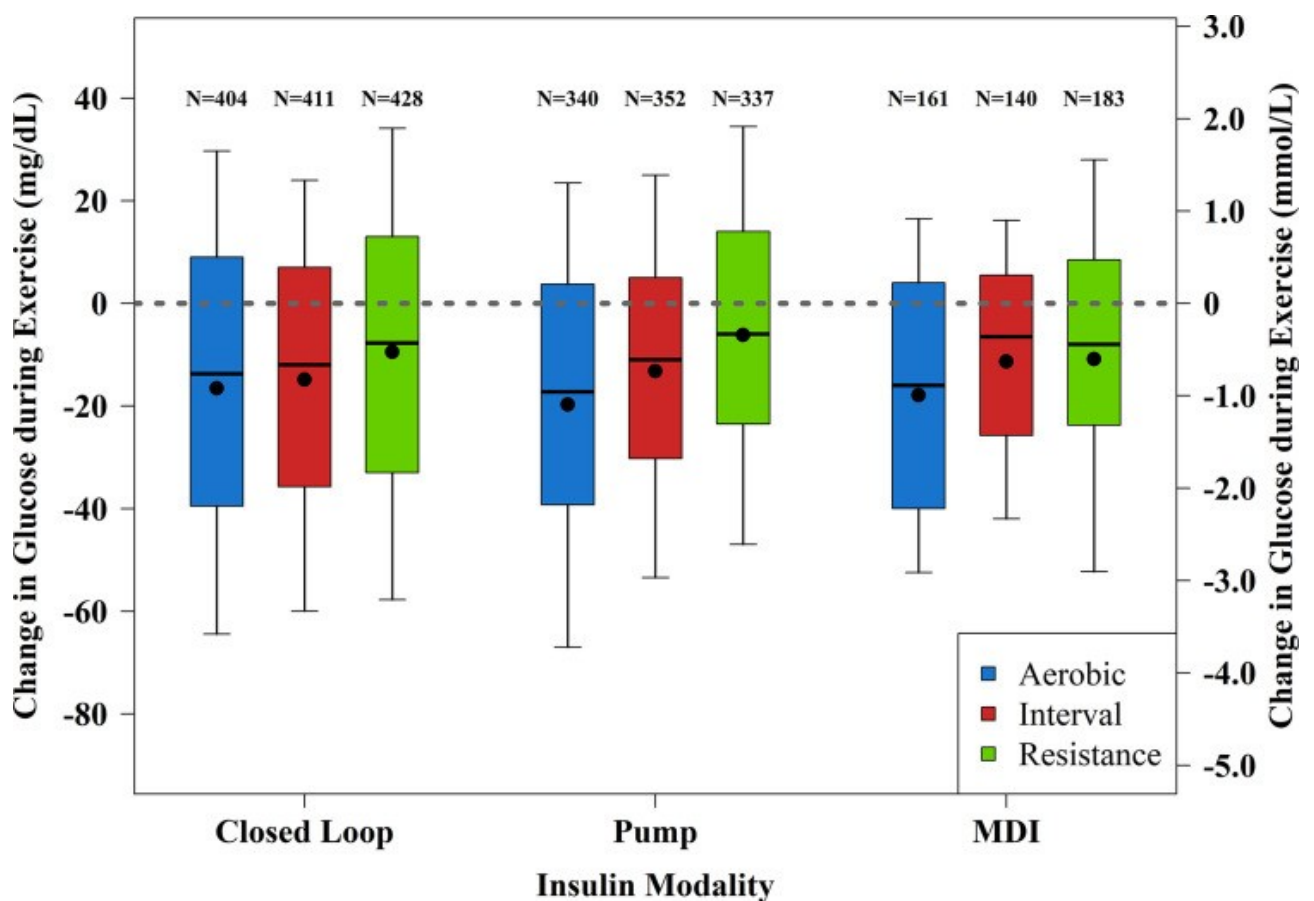


Figura 5. Boxplot della variazione della glicemia durante l'esercizio fisico dello studio in base al tipo di esercizio e alla modalità di somministrazione dell'insulina (N = 2.756 sessioni di esercizio da 497 partecipanti). Le linee nere al centro dei box colorati rappresentano le mediane; i punti neri pieni al centro dei box rappresentano le medie. I baffi al di fuori dei box colorati rappresentano il 10° e il 90° percentile. Il numero sopra ogni box indica il numero di sessioni di esercizio.

2.5 Differenze di genere nelle risposte glicemiche all'esercizio fisico nel diabete di tipo

1

Martins, T. B. F. D. S., Gomes, O. V., Soltani, P., Oliveira, T. H. R., & De Brito-Gomes, J. L. Sex-related glycemetic and cardiovascular responses after continuous and interval aerobic sessions in patients with type 1 diabetes: A randomized crossover study. The American Journal of Cardiology, 2024

Nonostante la ricerca continui a perfezionare la nostra comprensione dei volumi e delle intensità di esercizio appropriati per il trattamento delle malattie metaboliche come il diabete, non è ancora chiaro se le differenze di sesso influenzino le risposte glicemiche e cardiovascolari all'allenamento.

Lo studio di *Martins et al. (2024)* indaga le fluttuazioni della glicemia, dopo sessioni di esercizio aerobico intervallato (IAE) ed esercizio aerobico continuo (CAE) della durata di 30 minuti, in 19 pazienti, 9 uomini e 10 donne, di età compresa tra i 20 e i 45 anni, affetti da diabete mellito di tipo 1. La sessione aerobica intervallata prevedeva intervalli alternati di 1 minuto al 40% e al 60% del massimo consumo di ossigeno, il CAE è stato eseguito al 50% del VO₂max. Sono stati scelti livelli di intensità simili per consentire un confronto preciso tra i protocolli.

Prima di ogni sessione di allenamento (PRE) sono stati misurati alcuni parametri dei partecipanti come la frequenza cardiaca, pressione sistolica, pressione diastolica e soprattutto la glicemia capillare (CBG). I dati sono stati raccolti anche immediatamente dopo (POST-0) e 20 minuti dopo (POST-20) le sessioni di esercizio.

Dopo i programmi di allenamento sono stati osservati livelli glicemici più bassi negli uomini rispetto alle donne. In particolare negli uomini la sessione intervallata ha indotto una riduzione significativa dei livelli di CBG solo a POST-0 rispetto ai PRE, mentre la sessione continua ha diminuito CBG a POST-0 e a POST-20. Nelle donne invece, CBG è diminuita solo dopo trattamento continuo a POST-0 e POST-20.

Questo suggerisce che oltre al controllo metabolico individuale e alla tipologia di esercizio svolto, anche il sesso è un fattore in grado di influenzare le variazioni glicemiche nei pazienti affetti da diabete di tipo 1.

Le differenze osservate possono essere spiegate dalle diverse risposte metaboliche che uomini e donne presentano durante l'esercizio di intensità moderata. Gli uomini si

affidano principalmente al glucosio plasmatico, mentre nelle donne prevale l'ossidazione lipidica, inoltre le donne sembrano essere più efficienti nel conservare le riserve di glicogeno (Yardley et al., 2018) (Beaudry et al., 2019). E' interessante notare che gli uomini, dopo l'esercizio aerobico continuo, hanno mostrato maggiori diminuzioni della glicemia. Questi risultati potrebbero essere dovuti al fatto che gli uomini potrebbero registrare un maggiore rapporto di scambio respiratorio e ossidazione dei carboidrati per la nuova sintesi di ATP rispetto alle donne durante l'esercizio aerobico alla stessa intensità relativa di esercizio, e presentare risposte controregolatorie aumentate (aumento della gluconeogenesi) (Hendrington et al., 2015). Questo ci fa capire che per creare un programma di allenamento per un soggetto diabetico, serve prestare attenzione a tutte le caratteristiche individuali che ne influenzano il risultato, come in questo caso il sesso.

Questo studio presenta delle limitazioni notevoli, ad esempio le dimensioni ridotte del campione e la mancanza di valutazione della massa muscolare, che è un organo metabolico importante per l'assorbimento glicemico. Inoltre, sebbene i gruppi divisi per sesso fossero comparabili per caratteristiche cliniche, non sono stati valutati il rapporto di scambio gassoso, che fornisce informazioni sul tipo di substrato energetico utilizzato, e gli ormoni contro regolatori e adrenergici (es. glucagone, adrenalina, cortisolo), che influenzano la glicemia, durante e dopo l'esercizio. L'inclusione di queste misurazioni avrebbe consentito di approfondire i meccanismi fisiologici alla base delle differenze di risposta glicemica osservate tra i due sessi.

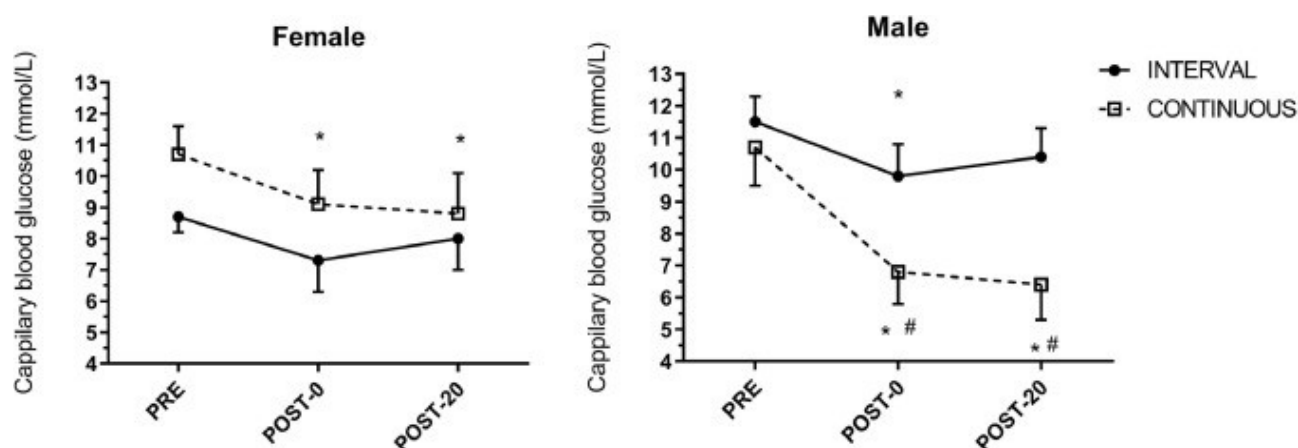


Figura 6. Risposte glicemiche acute del diabete mellito di tipo 1 a riposo (PRE), immediatamente (POST-0) e 20 minuti (POST-20) dopo sessioni di esercizio aerobico intervallato e continuo, per sesso (n = 19). I dati sono espressi come media $\pm$ errore standard della media. *Differiscono dai rispettivi valori PRE. # Differiscono dai valori PRE dell'altra sessione.

Capitolo 3 – Dieta, attività fisica e diabete

3.1 Ruolo della dieta nel prediabete

Wang, Z., Qian, L., Shen, J.-T., Wang, B., Shen, X.-H., & Shi, G.-P. Short-term structured dietary and exercise interventions delay diabetes onset in prediabetic patients: A prospective quasi-experimental study. Frontiers in Endocrinology, 2025

Il prediabete è uno stato iperglicemico intermedio tra normoglicemia e diabete conclamato, classificato come alta glicemia a digiuno, alta tolleranza al glucosio o una combinazione delle due. La comparsa del prediabete aumenta il rischio di sviluppare il diabete mellito, insieme a varie complicanze vascolari.

Le raccomandazioni per i pazienti prediabetici sono di effettuare degli interventi sullo stile di vita, come una modifica della dieta e la pratica di esercizio fisico. In particolare le strategie nutrizionali comprendono la riduzione dell'apporto calorico nei soggetti sovrappeso, l'aumento del consumo di alimenti ricchi di fibre come frutta e verdura, e la limitazione di zuccheri semplici e grassi saturi. Tali interventi hanno dimostrato di ridurre il rischio di progressione verso il diabete mellito di tipo 2.

Un ruolo importante nelle malattie metaboliche come il diabete lo ha anche l'infiammazione, in particolare quella cronica di basso grado; pertanto approcci alimentari basati su alimenti antiinfiammatori sono utili a mantenere una salute ottimale.

Uno studio di *Wang et al. (2025)* si è posto l'obiettivo di scoprire se un intervento dietetico combinato con interventi di esercizio fisico riducesse i livelli di glicemia e i marcatori infiammatori, e quindi potesse risultare una strategia utile per la prevenzione della patologia nei pazienti prediabetici.

Allo studio hanno partecipato 542 individui prediabetici di età compresa tra 40 e 75 anni, assegnati a 4 gruppi, ognuno con una fase di intervento di 6 mesi: il gruppo di controllo (gruppo 1), il gruppo di intervento dietetico (gruppo 2), quello di intervento con esercizio fisico (gruppo 3), e quello che ha ricevuto entrambi gli interventi (gruppo 4). Nel gruppo 1 i partecipanti non hanno ricevuto nessun materiale di intervento. I partecipanti del gruppo 2 hanno ricevuto delle schede di intervento dietetico che indicavano le quantità giornaliere raccomandate e la distribuzione dei 3 macronutrienti

(carboidrati, grassi e proteine), e la mappatura del consumo appropriato di alimenti vegetali antinfiammatori e antiossidanti. Ad esempio, una ripartizione comunemente raccomandata prevede circa il 45-60% dell'apporto energetico dai carboidrati, il 20-35% dai grassi e il 10-20% dalle proteine. Il gruppo 3 ha ricevuto una scheda di intervento di esercizio fisico, che consigliava una combinazione di esercizio aerobico e allenamento di forza. Infine i partecipanti del gruppo 4 hanno ricevuto entrambi gli interventi.

Ogni gruppo è stato poi sottoposto a dei follow-up dopo i 6 mesi di intervento e a lungo termine.

Ne è risultato che l'intervento combinato di dieta ed esercizio fisico ha portato una diminuzione dei livelli di glucosio nel sangue e di marcatori infiammatori, durante il periodo di intervento e al termine di esso. Nonostante non ci sia stata una diminuzione dell'incidenza del diabete nel follow-up a lungo termine, si è verificato un ritardo nell'insorgenza nei pazienti prediabetici. Infatti con l'avanzare dell'età gli individui prediabetici inevitabilmente progrediscono verso la malattia e tutti i conseguenti problemi cardiovascolari, tuttavia gli interventi combinati di dieta ed esercizio fisico, hanno comunque effetti positivi, diminuendo l'infiammazione, migliorando la sensibilità all'insulina.

Questi effetti anti-infiammatori della dieta e dell'esercizio fisico sono dovuti ad una serie di meccanismi. Gli alimenti antinfiammatori influenzano i percorsi di segnalazione cellulare correlati all'infiammazione e allo stress metabolico, come la riduzione dell'attività di segnalazione di NF-kb. L'esercizio fisico aumenta la produzione sistemica di fattori antinfiammatori e riduce la formazione di mediatori infiammatori come il TNF-alfa e il IL-6.

Questo tipo di interventi può quindi rappresentare una strategia efficace per i pazienti prediabetici, contribuendo non solo a prevenire o ritardare l'insorgenza del diabete di tipo 2, ma anche a diminuire il rischio di complicanze cardiovascolari. I risultati evidenziano come l'associazione tra una dieta caratterizzata da alimenti con proprietà antinfiammatorie e un programma di esercizio fisico sia in grado di agire su diversi fattori coinvolti nella progressione della malattia, come l'infiammazione silente e la resistenza all'insulina. Si può quindi osservare come l'alimentazione non rivesta un

ruolo esclusivamente terapeutico, ma costituisca un elemento fondamentale nella prevenzione della malattia.

3.2 Ruolo della dieta nel diabete mellito

Chouk, K., Triki, R., Dergaa, I., Ceylan, H. İ., Bougrine, H., Raul-loan, M., & Ben Abderrahman, A. Effects of combined diet and physical activity on glycemic control and body composition in male recreational athletes with type 2 diabetes mellitus. Frontiers in Endocrinology, 2025

Oltre all'esercizio fisico, anche un regime dietetico controllato viene prescritto nella gestione dei pazienti con diabete mellito. Una dieta ipocalorica infatti, favorisce la diminuzione del peso corporeo e migliora i parametri metabolici, riducendo l'infiammazione cronica e migliorando la sensibilità dell'insulina. Se abbiniamo gli interventi dietetici all'esercizio fisico quindi, otteniamo risultati migliori rispetto a quanto otterremo dai due interventi singolarmente, e ci permetterà di ottimizzare ulteriormente il controllo glicemico nei pazienti con diabete di tipo 2.

In questo studio di *Chouk et al. (2025)* si analizzano gli effetti di un programma combinato di dieta ed attività fisica di 12 settimane in atleti amatoriali con diabete di tipo 2, andando a valutare gli effetti sulla composizione corporea, sul controllo glicemico e sull'insulino-resistenza.

Hanno partecipato 36 atleti maschi di età compresa tra i 30 e i 45 anni, sono stati divisi in 4 gruppi: uno ha seguito un programma di attività fisica, uno ha seguito una dieta, uno ha svolto entrambi e infine il gruppo di controllo. L'intervento di attività fisica prevedeva un programma di esercizi combinati di resistenza e aerobici, eseguiti 3 volte a settimana della durata di 60 minuti. I partecipanti a cui è stata sottoposta la dieta hanno seguito un regime alimentare ipocalorico per favorire una graduale perdita di peso. L'apporto calorico è iniziato con 1500 kcal/giorno per le prime 3 settimane, è stato ridotto a 1200 kcal per le settimane 4-6 e ha raggiunto le 800 kcal entro la settimana 9. La dieta ha enfatizzato macronutrienti bilanciati, circa il 50% di carboidrati, il 20% di proteine e il 30% di grassi.

Campioni di sangue a digiuno sono stati raccolti per misurare la glicemia a digiuno (FBS), l'emoglobina glicata (HbA1c), il colesterolo totale (TC), il colesterolo HDL, il

colesterolo LDL, i trigliceridi (TAG) e l'insulino-resistenza, valutata tramite il modello di valutazione dell'omeostasi dell'insulino-resistenza (HOMA-IR). Le misurazioni sono state effettuate all'inizio, a metà e alla fine dello studio e hanno rivelato che il gruppo che ha svolto l'intervento misto ha ottenuto i risultati migliori in tutti i parametri misurati. In particolare si è riscontrata una diminuzione della massa corporea e della percentuale di grasso, mentre la massa muscolare è aumentata, grazie agli effetti sinergici che dieta ed esercizio hanno sulla composizione corporea.

Sul controllo glicemico l'intervento combinato ha mostrato riduzioni di glicemia a digiuno (FBS) e di emoglobina glicata (HbA1c), mentre la sola attività fisica ha diminuito HbA1c. Questo suggerisce che il regime dietetico svolge il ruolo di stabilizzazioni di FBS, poiché influenza le fluttuazioni di glucosio postprandiale.

Lo stesso risultato lo troviamo anche nelle misurazioni riguardanti la resistenza all'insulina, con il gruppo combinato che ha ottenuto i migliori effetti. In questo l'attività fisica agisce migliorando l'assorbimento di glucosio da parte dei muscoli scheletrici, mentre le modifiche dietetiche aiutano a controllare l'assunzione di carboidrati e a prevenire picchi di glicemia a digiuno.

Questo studio evidenzia come la combinazione di attività fisica e intervento dietetico rappresenti una strategia particolarmente efficace nella gestione del diabete mellito di tipo 2. I risultati mostrano che la combinazione dei due interventi produce benefici superiori rispetto alla loro applicazione isolata, determinando miglioramenti della composizione corporea e della sensibilità insulinica. In particolare, la riduzione della massa grassa e l'aumento della massa muscolare sono molto importanti nel miglioramento del controllo glicemico, poiché il tessuto adiposo viscerale è coinvolto nei processi infiammatori e di insulino-resistenza, mentre il muscolo scheletrico è il principale sito di assorbimento del glucosio mediato dall'insulina.

La durata dell'intervento, pari a 12 settimane, permette di osservare adattamenti fisiologici e metabolici significativi, tuttavia l'assenza di follow-up a lungo termine non consente di stabilire se questi miglioramenti vengono mantenuti nel tempo. Inoltre, la dimensione limitata del campione e l'inclusione di soli uomini praticanti attività sportiva riducono la possibilità di ampliare questi risultati a popolazioni più ampie di pazienti affetti da diabete di tipo 2.

Variabili	Gruppo	T0	T1	T2	Effetto di gruppo (ES)	Effetto del tempo (ES)	Effetto Gruppo x Tempo (ES)
Glicemia a digiuno (mg/dl)	PA	135,23 ± 9,81	134,91 ± 8,45	134,17 ± 10,09	0,05 (0,20)	0,04 (0,34)	0,01 (0,17)
	NR	136,60 ± 11,59	135,10 ± 9,76	136,00 ± 9,42			
	PA+NR	138,50 ± 13,34	129,00 ± 8,09*	112,00 ± 10,59**			
	CG	138,98 ± 9,31	137,82 ± 7,39	137,07 ± 8,23			
HbA1C (%)	PA	8,43 ± 0,71	7,71 ± 0,32*	7,03 ± 0,31*	0,03 (0,35)	0,05 (0,28)	0,02 (0,23)
	NR	8,67 ± 0,73	8,41 ± 0,69	8,42 ± 0,23			
	PA+NR	8,36 ± 0,86	7,29 ± 0,42*	6,68 ± 0,44*			
	CG	8,81 ± 0,56	8,99 ± 0,41	8,75 ± 0,58			
TC (mg/dL)	PA	241,04 ± 15,06	232,54 ± 14,45	221,57 ± 10,51	0,06 (0,48)	0,05 (0,31)	0,7 (0,37)
	NR	237,32 ± 23,17	231,15 ± 10,95	220,00 ± 8,31			
	PA+NR	238,00 ± 21,49	221,00 ± 13,90	202,00 ± 7,52			
	CG	239,10 ± 18,59	241,07 ± 11,65	235,87 ± 10,16			
TAG (mg/dL)	PA	219,50 ± 22,51	210,50 ± 13,51	191,40 ± 7,87	0,1 (0,53)	0,06 (0,29)	0,09 (0,42)
	NR	217,62 ± 18,38	208,48 ± 14,42	198,51 ± 11,10			
	PA+NR	217,50 ± 21,50	202,50 ± 15,36	182,50 ± 7,16			
	CG	215,50 ± 19,32	212,50 ± 11,36	214,50 ± 7,12			
LDL-C (mg/dL)	PA	158,51 ± 13,32	151,94 ± 9,41	148,56 ± 7,63	0,03 (0,22)	0,05 (0,15)	0,04 (0,17)
	NR	162,94	155,52	131,50 ±			

Variabili	Gruppo	T0	T1	T2	Effetto di gruppo (ES)	Effetto del tempo (ES)	Effetto Gruppo x Tempo (ES)
		± 12,15	± 7,32*	7,87*			
	PA+NR	160,80 ± 12,28	143,90 ± 5,25**	131,50 ± 6,25**			
	CG	160,22 ± 11,48	162,65 ± 9,85	160,20 ± 8,11			
HDL-C (mg/dL)	PA	37,54 ± 6,13	38,42 ± 4,98	39,21 ± 8,28	0,04 (0,31)	0,03 (0,37)	0,04 (0,29)
	NR	37,65 ± 5,13	47,27 ± 5,29*	41,43 ± 5,21*			
	PA+NR	36,80 ± 4,87	44,60 ± 4,50**	54,20 ± 8,28**			
	CG	36,54 ± 5,24	37,61 ± 4,32	37,73 ± 8,15			
HOMA-IR	PA	6,12 ± 2,33	5,27 ± 2,47	5,09 ± 2,00	0,04 (0,41)	0,06 (0,41)	0,05 (0,39) (0
	NR	6,75 ± 2,52	5,97 ± 2,34	5,20 ± 1,77			
	PA+NR	6,70 ± 2,84	4,81 ± 2,07*	3,20 ± 0,67*			
	CG	6,81 ± 3,14	6,05 ± 2,87	5,65 ± 2,51			

Figura 7. PA, gruppo fisicamente attivo; NR, gruppo con regime nutrizionale; PA+NR, gruppo fisicamente attivo e con regime nutrizionale; CG, gruppo di controllo; T0, misurazioni basali; T1, 6 settimane dopo l'inizio dell'intervento; T2, misurazioni, dodici settimane dopo l'inizio dell'intervento; ES, dimensione dell'effetto; SD, deviazione standard; FBS, glicemia a digiuno; HbA1C, emoglobina glicata; TC, colesterolo totale; TAG, trigliceridi; LDL-C, colesterolo lipoproteico a bassa densità; HDL-C, colesterolo lipoproteico ad alta densità; HOMA-IR, indice HOMA-IR (Homeostatic Model Assessment for Insulin Resistance); *p < 0,05 (rispetto a T0); **p < 0,01 (rispetto a T0).

CONCLUSIONI

Questo elaborato si propone di indagare sul ruolo dell'esercizio fisico nel trattamento del diabete mellito. Gli studi analizzati hanno dimostrato l'importanza dell'attività fisica come strumento terapeutico nei pazienti con diabete di tipo 1 e di tipo 2.

Il programma di allenamento combinato, composto da esercizi aerobici ed esercizi di resistenza, è risultato superiore ai regimi di esercizio a modalità singola nel trattamento dei pazienti affetti da diabete di tipo 2, garantendo una maggiore efficacia nella gestione metabolica e nel prevenire le conseguenze cardiovascolari. Nei pazienti affetti da diabete mellito di tipo 1, invece, l'allenamento aerobico si è dimostrato la modalità più efficace nel ridurre acutamente la glicemia, grazie all'elevato utilizzo di glucosio da parte del muscolo scheletrico e all'attivazione di meccanismi di captazione del glucosio indipendenti dall'insulina, che favoriscono la traslocazione dei trasportatori GLUT4 verso la membrana cellulare. Dall'analisi della letteratura emerge inoltre come la risposta glicemica all'esercizio possa variare da individuo a individuo, a causa di fattori individuali come la composizione corporea e il sesso. Il grasso viscerale svolge infatti un ruolo centrale nella fisiopatologia del diabete, mentre la massa muscolare favorisce l'assorbimento del glucosio nel sangue; di conseguenza individui con composizioni corporee differenti possano ottenere risultati diversi dall'allenamento. Allo stesso modo uomini e donne presentano adattamenti metabolici differenti durante l'esercizio, che possono determinare risposte glicemiche diverse. Queste differenze possono essere attribuite al diverso utilizzo dei substrati energetici: durante l'esercizio di intensità moderata gli uomini tendono a fare maggiore affidamento sul glucosio plasmatico e sull'ossidazione dei carboidrati, mentre nelle donne prevale l'ossidazione dei lipidi e una maggiore capacità di preservare le riserve di glicogeno. Di conseguenza il sesso rappresenta un fattore in grado di influenzare l'entità delle variazioni glicemiche, evidenziando l'importanza di creare dei programmi di allenamento personalizzati che tengano conto delle caratteristiche del soggetto.

Un ulteriore aspetto rilevante riguarda il ruolo della dieta abbinata all'attività fisica. Gli interventi combinati sono risultati efficaci nel migliorare la gestione metabolica e ridurre l'infiammazione cronica. Inoltre è una strategia che funziona anche con i pazienti prediabetici, ritardando la progressione verso il diabete conclamato.

In conclusione l'esercizio fisico non deve essere considerato un semplice supporto terapeutico, ma deve essere utilizzato come elemento centrale nella prevenzione e nella gestione della patologia. La programmazione di allenamenti personalizzati e la promozione di un corretto stile di vita può contribuire in modo significativo alla salute e al miglioramento della qualità di vita dei pazienti diabetici.

In questo contesto assume particolare rilevanza la figura del laureato in scienze Motorie, il quale possiede le competenze necessarie per programmare e supervisionare interventi di esercizio fisico adattati alle esigenze del singolo individuo. Attraverso la valutazione delle caratteristiche fisiche e metaboliche del paziente, il professionista può realizzare programmi di allenamento sicuri ed efficaci, finalizzati al miglioramento del controllo glicemico e della composizione corporea. Inoltre, collaborando con altre figure sanitarie coinvolte nella gestione del diabete, il laureato in Scienze Motorie svolge un ruolo importante nella promozione di stili di vita attivi e nell'educazione del paziente, contribuendo alla prevenzione delle complicanze associate alla patologia.

BIBLIOGRAFIA

Liu, D., Zhang, Y., Wu, Q., Han, R., Cheng, D., Wu, L., Guo, J., Yu, X., Ge, W., Ni, J., Li, Y., Ma, T., Fang, Q., Wang, Y., Zhao, Y., Zhao, Y., Sun, B., Li, H., & Jia, W. (2024).

Exercise-induced improvement of glycemic fluctuation and its relationship with fat and muscle distribution in type 2 diabetes. *Journal of Diabetes*, 16(4), e13549.

<https://doi.org/10.1111/1753-0407.13549>

Martins, T. B. F. D. S., Gomes, O. V., Soltani, P., Oliveira, T. H. R., & De Brito-Gomes, J. L. (2024). Sex-related glycemic and cardiovascular responses after continuous and interval aerobic sessions in patients with type 1 diabetes: A randomized crossover study. *The American Journal of Cardiology*, 228, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2024.07.028>

Amaravadi, S. K., Maiya, G. A., K., V., & Shastry, B. A. (2024). Effectiveness of structured exercise program on insulin resistance and quality of life in type 2 diabetes mellitus—A randomized controlled trial. *PLOS ONE*, 19(5), e0302831.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302831>

Piralaïy, E., Rashidpour, A., & Ismael, B. R. (2025). Differential effects of aerobic, resistance, and combined trainings on first- and second-phase insulin secretion and glucose effectiveness in type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *Journal of Diabetes Research*, 2025(1), 9922344. <https://doi.org/10.1155/jdr/9922344>

Riddell, M. C., Li, Z., Gal, R. L., Calhoun, P., Jacobs, P. G., Clements, M. A., Martin, C. K., Doyle Iii, F. J., Patton, S. R., Castle, J. R., Gillingham, M. B., Beck, R. W., Rickels, M. R., T1DEXI Study Group, Riddell, M. C., Rickels, M. R., Beck, R. W., Castle, J. R., Calhoun, P., ... Barnes, M. (2023). Examining the acute glycemic effects of different types of structured

exercise sessions in type 1 diabetes in a real-world setting: The type 1 diabetes and exercise initiative(T1dexi). *Diabetes Care*, 46(4), 704–713. <https://doi.org/10.2337/dc22-1721>

Wang, Z., Qian, L., Shen, J.-T., Wang, B., Shen, X.-H., & Shi, G.-P. (2025). Short-term structured dietary and exercise interventions delay diabetes onset in prediabetic patients: A prospective quasi-experimental study. *Frontiers in Endocrinology*, 16, 1413206. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1413206>

Chouk, K., Triki, R., Dergaa, I., Ceylan, H. İ., Bougrine, H., Raul-loan, M., & Ben Abderrahman, A. (2025). Effects of combined diet and physical activity on glycemic control and body composition in male recreational athletes with type 2 diabetes mellitus. *Frontiers in Endocrinology*, 16, 1525559. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1525559>

Islam, K., Islam, R., Nguyen, I., Malik, H., Pirzadah, H., Shrestha, B., Lentz, I. B., Shekoohi, S., & Kaye, A. D. (2025). Diabetes mellitus and associated vascular disease: Pathogenesis, complications, and evolving treatments. *Advances in Therapy*, 42(6), 2659–2678. <https://doi.org/10.1007/s12325-025-03185-9>

The GRADE Study Research Group. (2022). Glycemia reduction in type 2 diabetes—Microvascular and cardiovascular outcomes. *New England Journal of Medicine*, 387(12), 1075–1088. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2200436>

Steiger, K., Herrin, J., Swarna, K. S., Davis, E. M., & McCoy, R. G. (2024). Disparities in acute and chronic complications of diabetes along the u. S. Rural-urban continuum. *Diabetes Care*, 47(5), 818–825. <https://doi.org/10.2337/dc23-1552>

Weinberg Sibony, R., Segev, O., Dor, S., & Raz, I. (2024). Overview of oxidative stress and inflammation in diabetes. *Journal of Diabetes*, 16(10), e70014. <https://doi.org/10.1111/1753-0407.70014>

Beaudry, K. M., & Devries, M. C. (2019). Sex-based differences in hepatic and skeletal muscle triglyceride storage and metabolism. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44(8), 805–813. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0635>

Yardley, J. E., Brockman, N. K., & Bracken, R. M. (2018). Could age, sex and physical fitness affect blood glucose responses to exercise in type 1 diabetes? *Frontiers in Endocrinology*, 9, 674. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00674>

Hedrington, M. S., & Davis, S. N. (2015). Sexual dimorphism in glucose and lipid metabolism during fasting, hypoglycemia, and exercise. *Frontiers in Endocrinology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fendo.2015.00061>

Richter, E. A., Bilan, P. J., & Klip, A. (2025). A comprehensive view of muscle glucose uptake: Regulation by insulin, contractile activity, and exercise. *Physiological Reviews*, 105(3), 1867–1945. <https://doi.org/10.1152/physrev.00033.2024>

Zou, Z., Cai, W., Cai, M., Xiao, M., & Wang, Z. (2016). Influence of the intervention of exercise on obese type II diabetes mellitus: A meta-analysis. *Primary Care Diabetes*, 10(3), 186–201. <https://doi.org/10.1016/j.pcd.2015.10.003>