



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**MUNUS EXERCITATIONIS CORPORIS IN DIABETE MELLITUS**

Relatore: Dott. Casolo Andrea

Laureando: Lantero Mattia

N° di matricola: 2022692

Anno Accademico 2022/2023

<b>ABSTRACT</b>	<b>4</b>
<b>CAPITOLO 1</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUZIONE AL DIABETE</b>	<b>5</b>
<b>1.1 IL DIABETE</b>	<b>5</b>
1.1.1 La storia del Diabete	5
1.1.2 Definizione di Diabete	6
1.1.3 Diagnosi	7
1.1.4 Classificazione	10
1.1.5 Epidemiologia	12
1.1.6 Il ruolo chiave dell'Insulina	14
1.1.7 Resistenza all'insulina	15
<b>1.2 CAUSE E FATTORI DI RISCHIO</b>	<b>16</b>
1.2.1 I fattori di rischio	16
1.2.2 Obesità	18
1.2.3 Ipertensione	20
1.2.4 Sindrome metabolica	22
<b>1.3 COMPLICANZE DEL DIABETE MELLITO</b>	<b>24</b>
1.3.1 Complicanze acute	24
1.3.2 Complicanze croniche	25
<b>1.4 PREVENZIONE</b>	<b>33</b>
1.4.1 Studi e raccomandazioni	33
<b>CAPITOLO 2</b>	<b>36</b>
<b>INTRODUZIONE ALL'ESERCIZIO FISICO</b>	<b>36</b>
<b>2.1 LA STORIA DELL'ESERCIZIO FISICO</b>	<b>36</b>
<b>2.2 DIFFERENZA TRA ATTIVITA' FISICA ED ESERCIZIO FISICO</b>	<b>42</b>
<b>2.3 FITNESS, WELLNESS E SALUTE</b>	<b>43</b>
<b>2.4 IL PRINCIPIO F.I.T.T.</b>	<b>47</b>
<b>CAPITOLO 3</b>	<b>56</b>
<b>DIABETE DI TIPO 1 ED ESERCIZIO</b>	<b>56</b>
<b>3.1 RISCHI, PRECAUZIONI E BENEFICI</b>	<b>58</b>
<b>3.2 T1D, GLICEMIA ED ESERCIZIO</b>	<b>60</b>
<b>3.3 BENEFICI DELL'ESERCIZIO FISICO NEL T1D</b>	<b>64</b>
<b>3.4 ESERCIZIO FISICO NEL T1D</b>	<b>70</b>
<b>CAPITOLO 4</b>	<b>73</b>
<b>DIABETE DI TIPO 2 ED ESERCIZIO</b>	<b>73</b>
<b>4.1 PREVENZIONE</b>	<b>73</b>
<b>4.2 DIFFICOLTÀ, RISCHI E PRECAUZIONI</b>	<b>77</b>
<b>4.3 BENEFICI DELL'ESERCIZIO FISICO NEI DIABETICI DI TIPO 2</b>	<b>81</b>
<b>4.4 ESERCIZIO FISICO NEI DIABETICI DI TIPO 2</b>	<b>86</b>

4.4.1 Esercizio fisico in caso di complicanze	89
4.4.2 Esercizio nell'anziano affetto da T2D	91
<b>CAPITOLO 5</b>	<b>94</b>
<b>DALLA TEORIA ALLA PRATICA</b>	<b>94</b>
5.1 ANAMNESI	94
5.2 PROGRAMMA DI ALLENAMENTO	95
5.3 BENEFICI ATTESI IN ACUTO E IN CRONICO	98
5.4 RACCOLTA DATI FOLLOW-UP	100
5.5 CONSIDERAZIONI FINALI	100
<b>IDENTIKIT</b>	<b>101</b>
CHI È IL PAZIENTE CON T1D?	101
CHI È IL PAZIENTE CON T2D?	102
<b>CONCLUSIONE</b>	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>105</b>
<b>RINGRAZIAMENTI</b>	<b>119</b>

# ABSTRACT

È preoccupante il fatto che oggi ognuno di noi conosce almeno una persona che vive con il diabete mellito, considerando che una persona su dieci nel mondo ne è affetta. Ancora più sorprendente è il fatto che la metà di queste persone non sia nemmeno consapevole della propria condizione di salute.

Fin da quando ero piccolo, ho avuto modo di conoscere questa malattia attraverso mia nonna, Renata, e il mio amico Thomas. Renata ha ricevuto la diagnosi di diabete mellito di tipo 2 in età avanzata e ha accettato la situazione, adattando la sua vita quotidiana alla sua condizione di salute. Thomas, invece, all'età di 11 anni, è tornato anticipatamente dalle vacanze solo per scoprire poco dopo di essere affetto dal diabete di tipo 1. È innegabile che la sua vita sia stata completamente stravolta. Tuttavia, quando Thomas pratica regolarmente esercizio fisico e segue una dieta adeguata, si sente visibilmente meglio. Attualmente, Thomas ha 24 anni.

La mia curiosità sull'argomento non conosce limiti, ed è per questo motivo che ho deciso di creare una raccolta approfondita sui benefici straordinari che l'esercizio fisico offre ai diabetici che lo praticano.

Per un laureato in Scienze Motorie, che conosce l'effetto positivo dell'esercizio fisico sulla salute, è fondamentale avere gli strumenti necessari per comprendere le caratteristiche di una malattia così diffusa e comunicare efficacemente con gli esperti del settore al fine di creare un piano di allenamento personalizzato ed efficace.

Il primo capitolo introduce la malattia, definendo in modo specifico le diverse classificazioni, l'epidemiologia, la fisiopatologia, i possibili fattori di rischio e le complicanze correlate, con un accenno alla prevenzione.

Segue il secondo capitolo, che illustra l'esercizio fisico, ripercorrendo le sue origini fino al significato che la comunità scientifica gli attribuisce oggi.

Il terzo e il quarto capitolo approfondiscono la correlazione tra esercizio fisico e diabete mellito di tipo 1 e 2, elencando le sfide e i notevoli benefici. Inoltre, questi due capitoli forniscono indicazioni pratiche, supportate da studi recenti, per l'esecuzione di esercizio fisico in termini di quantità e qualità.

L'ultimo capitolo ha lo scopo di mettere in pratica tutto il materiale raccolto fornendo un programma di esercizio fisico mirato al miglioramento della salute in un caso ipotetico di soggetto diabetico

# CAPITOLO 1

## INTRODUZIONE AL DIABETE

### 1.1 IL DIABETE

#### 1.1.1 La storia del Diabete

La storia del diabete ha inizio molto prima di quanto possiamo immaginare: è il 1862 quando, tra le gambe di una mummia nella necropoli di Tebe, viene ritrovato un rotolo di papiro della lunghezza di 20 metri e con un'altezza di 20 centimetri, composto da più di 100 pagine scritte in geroglifico e risalente al 1550 A.C. Si tratta di uno tra i più completi papiri egizi contenente i dettagli della medicina a quel tempo: *il papiro di Ebers*. Il diabete fu quindi identificato per la prima volta dagli antichi egizi grazie all'accostamento tra perdita di peso, frequente minzione e sete intensa (1).

Siamo nel 50 A.C. quando Susruta, famoso medico e chirurgo indiano, illustra campioni di persone caratterizzate dall'urinare molto e la cui urina attirava mosche e insetti, in quanto di sapore dolce. All'epoca infatti, i medici, come unico "strumento" diagnostico assaggiavano le urine per poterne constatare il gusto dolce: si trattava per certo di diabetici (1).

Il medico Greco Areteo di Cappadocia, che visse nel II secolo DC utilizzò per la prima volta il termine "*diabete*" descrivendolo come segue: "*Il diabete è una malattia terribile, non molto frequente nell'uomo, caratterizzata dalla liquefazione del corpo e delle membra nell'urina*" (Christopoulou e Papavramidou, 2008).

Fino al XVIII secolo in Giappone il diabete veniva chiamato "*shoukachi*", tradotto significa malattia della sete: il sintomo più comune, infatti, era il bisogno di bere estremamente elevato (von Engelhardt D., 1989)

Per misurare la concentrazione di glucosio nelle urine e il suo aumento si è dovuto aspettare sino al 1776, grazie al medico inglese e fisiologo sperimentale Matthew Dobson: a lui si deve inoltre l'identificazione dello zucchero, presente in grande quantità anche nel sangue, come sostanza che rendeva dolci le urine (2).

Al tempo la diffusione del diabete non era rilevata e di conseguenza quantificata e gli studi su questo disturbo avevano portato alla luce scarse conoscenze sui suoi meccanismi. A causa dell'insufficienza insulinica il diabete risultava fatale entro poco tempo dalla diagnosi non esistendo ancora trattamenti efficaci.

Si ritrova una descrizione in termini clinici di diabete mellito negli articoli pubblicati in seguito alla fondazione del New England Journal of Medicine and Surgery (1812); Soprattutto negli scorsi 2 secoli abbiamo assistito a numerosi progressi in ambito di conoscenza di fattori scatenanti il diabete, del suo trattamento e la prevenzione.

I ricercatori Frederick Grant Banting e Charles Herbert Best segnarono una svolta importante nello studio della patologia nel 1921 grazie alla scoperta dell'insulina. La deficienza di insulina, confermando la natura endocrina della malattia, ha portato alla sua commercializzazione nel 1922 sotto il nome di ISLETIN.

In questo stesso anno si è avuto un momento decisivo nel quale la malattia diventa curabile: è l'11 gennaio del 1922 e viene condotto il primo esperimento su un essere umano, Leonard: l'iniezione di insulina lo risveglia dal coma diabetico (Brink, 2022; 2). Leonard, che era stato molto vicino alla morte, visse per altri 13 anni.

A partire dal 1923 la ricerca sul diabete ha portato grandi risultati, consentendo l'uso di diverse terapie per il trattamento dell'iperglicemia e delle sue complicazioni (Polonsky K. S., 2012).

### **1.1.2 Definizione di Diabete**

“Cos'è il Diabete?” è la prima domanda a cui dare risposta, partendo dall'etimologia della parola stessa: la parola diabete, come accennato prima, fu utilizzata da Areteo di Cappadocia per la prima volta più di 2000 anni fa. Il verbo *διαβαίνειν*, dal greco antico, significa “attraversare” e si riferisce al passaggio di acqua dal momento che il sintomo principale è la poliuria, ossia una produzione abbondante di urina. Molti anni più tardi, nel medioevo, la parola venne convertita in latino in *diabètés*.

La caratteristica ben nota a Indiani, Greci, Cinesi ed Egiziani rispetto al sapore dolce delle urine e del sangue dei pazienti diabetici fece aggiungere, nel 1675, all'inglese Thomas Willis, il suffisso *mellito*: dal latino *mel* (miele, dolce) (2).

Analizzata la storia dell'etimologia della patologia in questione arriviamo alla definizione odierna, che vede il diabete mellito come una malattia cronica del metabolismo caratterizzata dalla presenza di livelli di glucosio (zucchero) nel sangue più elevati rispetto alla norma (iperglicemia), causati dall'assente o insufficiente produzione dell'insulina oppure da insensibilità ai suoi effetti metabolici (Triolo, 1996; 3).

Ma cos'è l'insulina? È un ormone prodotto da un organo fondamentale, il pancreas, e più precisamente dalle sue cellule  $\beta$  facenti parte delle isole di Langerhans.

Queste isole dispongono inoltre di cellule  $\alpha$  (alfa), che producono il glucagone, e  $\delta$  (delta). L'insulina deriva dalla "proinsulina", la quale viene divisa in insulina e peptide-C. Quest'ultimo permette la misura della quantità di insulina che un individuo sta producendo: è quindi fondamentale per determinare la tipologia di trattamento da parte dei medici (4).

L'insulina agisce come una "chiave" con lo scopo di permettere al glucosio di entrare nelle cellule e fornire energia a tutto l'organismo.

La sua secrezione ha lo scopo di abbassare la glicemia quando i valori di glucosio nel sangue sono troppo elevati, come in seguito ad un pasto.

Le persone con diabete mellito rischiano di incorrere spesso in episodi iperglicemici: se non vengono controllati si associano a complicanze a tutto il corpo, agli organi e ai tessuti (5).

I sintomi più diffusi del diabete sono la sete, la poliuria, l'offuscamento della vista e la perdita di peso. Chetoacidosi e uno stato iperosmolare sono complicanze, che nelle forme più gravi possono portare a coma e morte.

Molte volte però, l'iperglicemia può causare problemi di salute senza il manifestarsi di sintomi gravi o che vi siano sintomi evidenti del tutto e solo una diagnosi medica può rivelarla. Le persone affette da diabete sono sottoposte ad un aumentato rischio di malattie cardiovascolari, vascolari periferiche e cerebro-vascolari (Alberti & Zimmet, 1998)

A testimonianza dell'elevata prevalenza di diabete a livello mondiale, negli ultimi 20 anni è stato utilizzato più volte il termine pandemia proprio per sottolineare la portata e l'ampia diffusione di questo disordine metabolico (Bonora, 2022).

### **1.1.3 Diagnosi**

Ma come viene diagnosticata la malattia?

Nell'adulto l'identificazione della malattia si pone quando si riscontra una delle seguenti tre condizioni (Triolo, 1996):

- (1) **Iperglicemia** accompagnata da altri **sintomi della malattia** quali: poliuria, sete intensa, polidipsia (introito abbondante di liquidi), polifagia (introito abbondante di cibo), chetoacidosi, nausea, vomito, dimagrimento ed altri;
- (2) Al di là di situazioni stressanti e patologie acute, riscontro in due occasioni separate di **glicemia a digiuno superiore a 140 mg/dl**;
- (3) Positività della **curva glicemica da carico**.

Ma cos'è la *curva da carico* e perché è così importante nella valutazione medica?

Per capirlo è importante fare due passi indietro: la glicemia (che è la quantità di glucosio presente nel sangue) di un soggetto sano è generalmente compresa tra 70 e 110 mg/dl in condizioni di digiuno. Vi sono però dei soggetti con una glicemia maggiore a 110 che in egual modo non rientrano nel quadro che consente la diagnosi tempestiva di diabete: ecco che l'utilizzo della curva glicemica da carico ne permette il corretto inquadramento (Triolo, 1996).

La metodica standardizzata prevede la somministrazione per via orale di 75g di glucosio indipendentemente dal peso del paziente. Vengono effettuati cinque prelievi: uno subito prima della somministrazione di glucosio avendo quindi i valori a digiuno, e gli altri ogni 30 minuti per due ore. Allo stesso tempo è possibile definire la risposta insulinica al carico di glucosio che prende il nome di *curva glicemico-insulinemica da carico*.

Andranno seguite delle precauzioni (per approfondimento p. 252 Medicina per operatori sanitari di L. Triolo) ed i risultati andranno così interpretati:

- (1) La glicemia a 120' ed uno qualsiasi degli altri valori superano i 200 mg/dl: determinazione di diabete
- (2) Uno qualsiasi dei valori è superiore a 200 mg/dl e quello finale è compreso tra 140 e 200 mg/dl: il paziente ha una *ridotta tolleranza al glucosio*;
- (3) La glicemia a digiuno è inferiore a 115 mg/dl, quella a 2 ore inferiore a 140 e tutte le altre sono inferiori a 200: paziente normale;
- (4) La curva si definisce *non diagnostica* qualora vengano ecceduti i valori di normalità nelle varie misurazioni senza però raggiungere i valori del punto 2.

In *figura 1* è mostrato un grafico rappresentante le variazioni glicemiche di soggetti sani, diabetici e pre-diabetici successivamente ad un pasto.

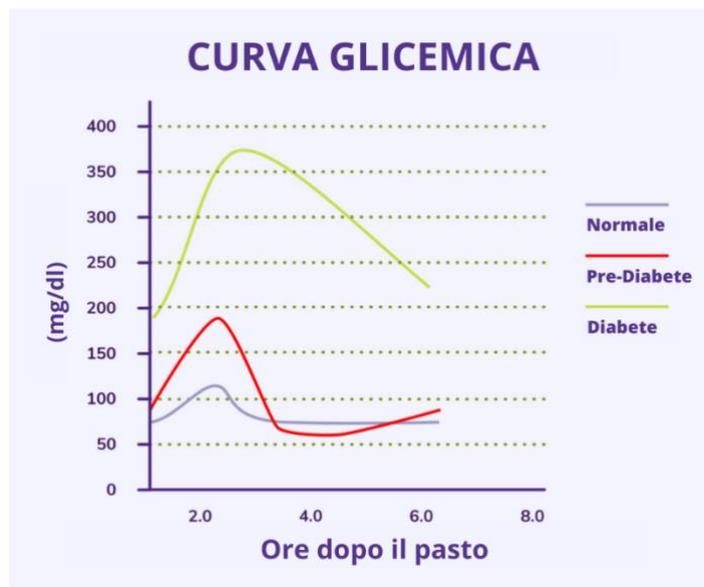


Figura 1. Variazioni della glicemia in soggetti sani, prediabetici e diabetici (SNAQ.io)

È essenziale la presenza, nella provetta contenente sangue, di un inibitore della glicolisi: altrimenti i globuli rossi, che saranno le cellule maggiormente presenti, consumerebbero il glucosio presente.

Fattori come la storia familiare, l'età, l'adiposità e i disturbi concomitanti dovrebbero essere considerati prima di decidere sulla diagnosi e terapia (Alberti & Zimmet, 1998).

Nel bambino, generalmente il diabete viene a presentarsi con sintomi gravi come iperglicemia, glicosuria marcata (il glucosio appare nelle urine quando la glicemia supera i 180 mg/dl) e chetonuria (ossia la presenza di chetoni nel sangue e nelle urine a causa della scomposizione dei grassi nel corpo, carburante preferenziale quando la carenza di insulina non permette agli zuccheri di entrare nelle cellule per produrre energia). Spesso la diagnosi è confermata dalla misurazione della glicemia, alla quale segue immediatamente il trattamento con insulina, molte volte come misura salvavita (Alberti & Zimmet, 1998).

La diagnosi di diabete mellito viene effettuata in presenza delle alterazioni sopra descritte conseguentemente ad una visita, in seguito al manifestarsi di segni e sintomi tipici della malattia. Tuttavia, c'è da considerare che spesso la diagnosi avviene quasi per caso, in

concomitanza di esami di laboratorio di routine (ad es. analisi del sangue) in persone apparentemente sane o ricoverate per altre patologie (diagnosi casuale) (3).

### 1.1.4 Classificazione

Nel corso degli anni la suddivisione dei vari tipi di diabete mellito è cambiata: la nuova classificazione prevede diversi stadi che permettono di valutare il livello di zucchero nel sangue in soggetti che presentano un qualsiasi processo patologico che possa portare al diabete (Alberti & Zimmet, 1998). Tutti i soggetti con diabete mellito, quindi, hanno la possibilità di essere classificati in base allo stadio clinico e ad oggi vengono distinti cinque tipi fondamentali (Triolo, 1996):

**Diabete mellito di tipo I**, o *insulino-dipendente*, è causato dalla notevole riduzione della produzione di insulina. È la forma più grave. Inizia in età infantile-giovanile e per questo viene chiamato *diabete giovanile* (Triolo, 1996).

Riguarda il 10% dei casi totali di diabete, ed è caratterizzata dal fatto che il pancreas non produce più insulina in seguito alla distruzione delle cellule  $\beta$  che la producono: l'ormone andrà quindi iniettato ogni giorno per tutta la vita e questa situazione è irreversibile. *Late Autoimmune Diabetes in Adults* o LADA è una rara forma, data dalla velocità variabile di distruzione delle cellule  $\beta$ , che si manifesta appunto negli adulti, dove la distruzione risulta più lenta.

L'origine e le cause del diabete di tipo 1 sono sconosciute, ma la sua caratteristica fondamentale permette di formulare alcune ipotesi: il sangue contiene anticorpi contro gli antigeni presenti a livello delle  $\beta$ -cellule e si suppone che questo danno indotto dal sistema immunitario sia correlato a fattori ambientali, dietetici e genetici. Diversi studi (Primavera et al., 2020) hanno dimostrato la possibilità di trasmettere una propensione alla malattia per mezzo della trasmissione di geni che regolano la risposta immunitaria: nel corso di una semplice risposta contro un agente infettivo si causano reazioni avverse anche contro le  $\beta$ -cellule portando progressivamente alla malattia (6).

Questo spiega perché la malattia viene inquadrata come *autoimmune*: il sistema immunitario riconosce le cellule  $\beta$  del pancreas come estranee e quindi nocive e si adopera per autodistruggerle (Primavera et al., 2020).

**Diabete mellito di tipo II**, o *non insulino-dipendente*, si distingue per la ridotta sensibilità delle cellule all'effetto dell'insulina. È la tipologia che si manifesta più spesso ed in passato era indicato come il *diabete dell'adulto* (o dell'anziano) (Triolo, 1996).

Interessa circa il 90% dei pazienti con diabete mellito essendo la forma più comune: qui il pancreas funziona correttamente, ma le cellule non riescono più ad utilizzare l'insulina. L'origine e le cause sono ancora ignote, tuttavia diversi fattori di rischio sono presenti alla sua comparsa, tra cui una forte componente ereditaria, insufficiente attività fisica e il sovrappeso.

*Maturity Onset Diabetes of the Young* o MODY costituiscono le forme rare di diabete di tipo 2 ove l'insorgenza si ha in giovane età accompagnata da difetti genetici riguardanti la sensibilità all'insulina (6).

Visto che l'insulino-resistenza è una caratteristica tipica dei pazienti obesi e sedentari ne consegue l'importanza di attuare strategie di prevenzione: prima tra tutte la modifica dello stile di vita.

**Diabete secondario**, tendenzialmente poco diffuso, deriva o è associato a malattie del pancreas che causano una ridotta o assente produzione di insulina. Un esempio di causa è l'asportazione chirurgica del pancreas (o pancreasectomia), pancreatiti croniche oppure l'elevata presenza in circolo di ormoni iperglicemizzanti come catecolamine e cortisonici (Triolo, 1996).

**Diabete gestazionale**, quando compare un aumento dei livelli di glucosio per la prima volta nel corso della gravidanza. Questa condizione che colpisce il 4% delle donne in maternità, seppure abbia la tendenza a sparire al termine della gestazione stessa, rappresenta un'importante possibilità di andare incontro ad una condizione stabile di diabete nel tempo (Triolo, 1996; 6).

L'ultima condizione è la **ridotta tolleranza ai glucidi**, che non è una forma di diabete ma rappresenta un quadro anormale: in passato questo stato veniva chiamato in modo inappropriato *diabete chimico* o *latente* (Triolo, 1996).

Molto diverso dal comune diabete mellito e senza correlazione è il *diabete insipido*: una malattia rara contraddistinta da sete e diuresi eccessive causata da un'alterata produzione da parte di ipotalamo e ipofisi posteriore dell'ormone vasopressina (Dabrowski et al., 2016).

### 1.1.5 Epidemiologia

Tutti abbiamo conosciuto o conosciamo almeno una persona affetta da diabete mellito. Ma quanto è diffusa questa patologia? Quali sono i numeri in Italia? E nel resto del mondo qual è la situazione? Per rispondere a queste domande ci avvaliamo di una scienza che si occupa di analizzare la distribuzione dei problemi di salute e delle patologie nelle persone e nelle comunità: l'epidemiologia.

In Italia i dati disponibili derivano da studi di follow-up o da fonti informative di tipo amministrativo (Bonora E. e Setti G., *Il diabete in Italia*, 2016). La maggioranza dei dati si ha grazie a studi sulla popolazione dell'ISTAT (7), dal sistema di sorveglianza PASSI (8) e dall'Osservatorio ARNO Diabete (9).

In Italia i dati sono allarmanti: 4,5 milioni di persone hanno dichiarato di essere affette da diabete, 1 milione e mezzo non sanno di averlo e rischiano di svilupparlo in 4 milioni (*11Th Italian Diabetes & Obesity Barometer Report, Aprile 2018*).

Con l'aumentare dell'**età** sembrerebbe aumentare il rischio di diabete mellito: +21% negli over 75 contro il +3% nelle persone under 50 (10).

La diffusione del diabete in Italia sembrerebbe colpire maggiormente gli **uomini** con un tasso del 5,3% contro il 4,1% delle donne (10).

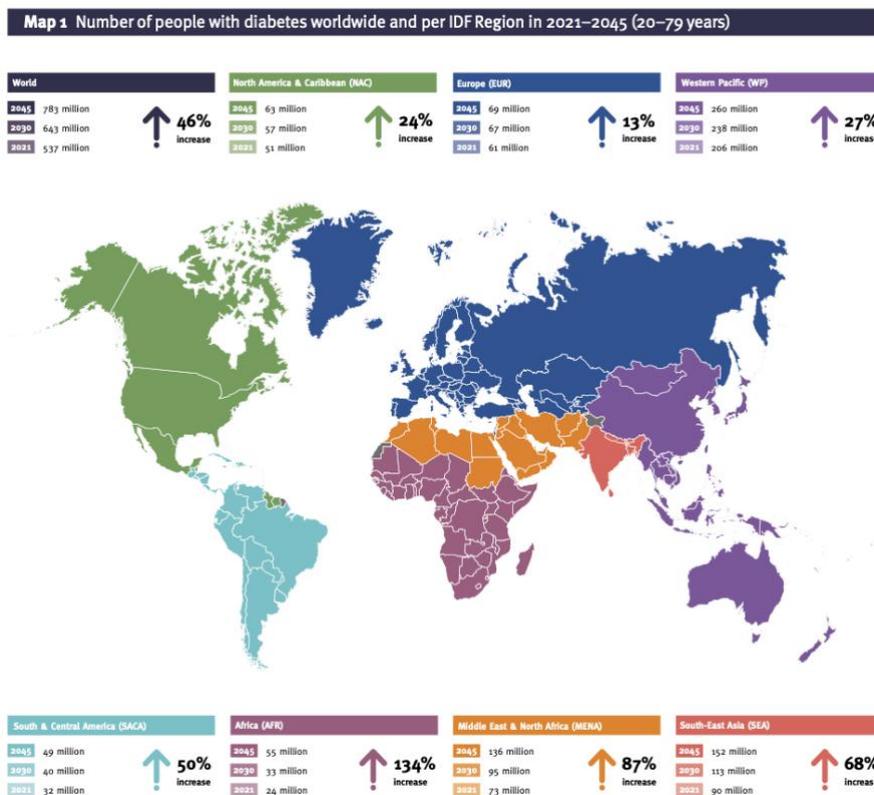
Sembrerebbe esserci una diffusione maggiore nelle regioni del sud Italia rispetto al resto del territorio nazionale (10).

Il tutto è accompagnato da spiacevoli complicanze e da 20 miliardi di euro annui (Marcellusi A. et al., 2016) e, nonostante ciò, l'assistenza fornita alle persone è considerata fra le migliori al mondo (Bonora E., 2022). E nel resto del pianeta?

La Federazione Internazionale del Diabete (*International Diabetes Federation, IDF*) rappresenta il punto di riferimento per la stima accurata ed aggiornata sulla diffusione del

diabete e del suo impatto sulla salute delle persone e sull'economia a livello mondiale (11): ogni due anni infatti produce l'IDF Diabetes Atlas.

Nel mondo, 1 adulto su 10 è affetto da diabete: la *Figura 2* rappresenta il numero di diabetici nel mondo per aree geografiche e la proiezione per 2030 e 2045.



*Figura 2 – Numero di persone diabetiche nel mondo tra il 2021 ed il 2045*

Tra le varie zone, l'Europa si distingue per il numero più alto di bambini e adolescenti con diabete di tipo 1 (da 0 a 19 anni) e la Cina ha il numero di decessi per diabete più alto al mondo con il 13% della popolazione adulta affetta dalla patologia (IDF Diabetes Atlas 10th Edition 2021).

Nel mondo, fra coloro che ne sono affetti, 1 persona su 2 non sa di avere il diabete: interessante notare come quasi il 90% delle persone con diabete non diagnosticato vive nei paesi a basso-medio reddito (IDF Diabetes Atlas 10th Edition 2021).

Anche nel mondo la prevalenza di diabete è legata all'aumentare dell'età ed al genere maschile (IDF Diabetes Atlas 10th Edition 2021).

Ai 537 milioni di adulti tra i 20 e i 79 anni conviventi con il diabete si aggiungono 541 milioni di persone con un'alterata tolleranza al glucosio e quindi in condizione di rischio per lo sviluppo del diabete di tipo 2, il quale provoca, insieme alle altre condizioni

diabetiche, mediamente più di 4 milioni di decessi annui: il tutto causa una spesa di quasi 1 trilardo di dollari all'anno (IDF Diabetes Atlas 10th Edition 2021).

### 1.1.6 Il ruolo chiave dell'Insulina

Le cellule  $\beta$  del pancreas sono la sede di sintesi e secrezione dell'insulina: quali sono le molteplici funzioni di quest'ormone di natura proteica?

Carboidrati, proteine e grassi sono regolati dall'insulina stessa: i loro livelli plasmatici vengono abbassati, per promuovere il loro immagazzinamento, tramite la captazione cellulare, favorita proprio dall'insulina, e conseguentemente vengono trasformati in glicogeno, trigliceridi e proteine.

Analizziamo l'azione dell'insulina nello specifico per i *carboidrati*: l'insulina è l'unico ormone in grado di abbassare la glicemia: per farlo, essa promuove la captazione del glucosio nel sangue con lo scopo di utilizzarlo e immagazzinarlo all'interno delle cellule e nel frattempo non permette al fegato di rilasciare glucosio nel sangue (bloccando la glicogenolisi e la gluconeogenesi).

La diffusione del glucosio ematico è resa possibile dai *trasportatori GLUT*: il trasportatore che muove la maggior parte di glucosio può agire solamente con la presenza di insulina ed è il GLUT-4. Questo trasportatore non è presente sulla membrana e viene ad essere reclutato in due casi: con la presenza di insulina e con la contrazione muscolare (parleremo infatti dell'importanza dell'esercizio in assenza di insulina) (Sherwood, 2012).

Durante lo *stato di assorbimento* si verifica un'aumentata secrezione di insulina e si favorisce l'anabolismo grazie all'utilizzo di glucosio, all'immagazzinamento di carboidrati e grassi e alla promossa sintesi proteica. Durante l'assorbimento di un pasto le cellule  $\beta$  sono stimolate a sintetizzare insulina grazie ad un semplice circuito a feedback negativo implementato tra le cellule  $\beta$  stesse e il sangue (in questo caso con un elevato livello di glucosio) che scorre al loro interno. Lo stato di assorbimento determina quindi un abbassamento della glicemia che a sua volta, sempre grazie a detto circuito, inibisce la secrezione di insulina: si passa così allo *stato di post-assorbimento* mantenendo un equilibrio del contributo di glucosio ai vari tessuti (Sherwood, 2012).

Un elevato livello ematico di aminoacidi, la presenza di ormoni gastrointestinali prodotti dalla presenza di cibo ed il sistema nervoso autonomo concorrono, in maniera minore, alla secrezione di insulina (Sherwood, 2012).

### **1.1.7 Resistenza all'insulina**

Due furono gli effetti notati durante l'iniezione contemporanea di glucosio ed insulina in pazienti diabetici: una diminuzione o un livello stabile di glucosio che definiva tali soggetti come *sensibili all'insulina* oppure, al contrario, un aumento della glicemia tale da definire i pazienti come *non sensibili all'insulina*. Questa fu la prima nozione di resistenza all'insulina proposta dalle osservazioni di Himsworth (Himsworth, 1936).

L'incapacità da parte delle cellule del nostro corpo come quelle nel tessuto muscolare, in quello adiposo ed epatico, di rispondere ad un normale livello plasmatico di insulina, permettendo il trasporto di glucosio dal sangue, definisce *l'insulino resistenza* (12).

Il nostro organismo, che tende sempre all'omeostasi, attua un compenso: per sopperire alla resistenza appena citata viene secreto un quantitativo maggiore di insulina, causando un aumento del suo livello a digiuno (Czech, 2017). Il pancreas, continuando a cercare di regolare la glicemia, nel tempo si logora: perde così la possibilità di produrre grandi quantità di insulina e si va in contro al rischio di sviluppare diabete mellito.

Chiunque può sviluppare resistenza all'insulina e molto spesso chi ne è affetto non presenta alcun sintomo (13).

Ma da cosa è causata la resistenza all'insulina?

Una minor parte di soggetti affetti da questo stato è caratterizzata da un'eccessiva produzione di ormoni contro regolatori come l'ormone della crescita (viene secreto in risposta all'insulina per prevenire l'ipoglicemia), il glucagone, i glucocorticoidi e le catecolamine (questi ultimi tre ormoni guidano i processi metabolici negli stati di digiuno). Diversamente, la maggior parte dei soggetti presenta insulino-resistenza a livello cellulare a causa di difetti post-recettoriali nella segnalazione dell'insulina (Wilcox, 2005).

È noto che un aumento dell'indice di massa corporea (BMI), della circonferenza della vita e del rapporto vita-fianchi è direttamente correlato alla resistenza insulinica: si denota

fin da subito l'importanza che può rivestire l'esercizio fisico (Aronne & Segal, 2003). Vedremo come questo, attraverso diversi meccanismi che portano ad un maggior assorbimento di glucosio, sembra migliorare la sensibilità all'insulina (Zierath, 2002).

## 1.2 CAUSE E FATTORI DI RISCHIO

### 1.2.1 I fattori di rischio

Quali sono i fattori, ad oggi conosciuti, concorrenti allo sviluppo del diabete mellito? Finora sono stati compiuti molti passi in avanti nella ricerca, permettendo così un corretto inquadramento della patologia: grazie allo studio dei meccanismi che ne provocano l'insorgenza (patogenesi) è possibile valutare quali sono i determinanti di rischio.

È bene precisare che non è ereditaria la malattia, bensì la predisposizione ad essa. La sua espressione si manifesta in quegli individui a rischio ereditario che si trovano nelle condizioni ambientali favorevoli.

I fattori di rischio per la tipologia insulino-dipendente (**diabete di tipo 1**, o T1D) *sono tuttora oggetto di ricerca*: nonostante questo, la patogenesi ci suggerisce come la distruzione delle cellule  $\beta$  del pancreas avvenga in seguito ad un'infezione virale. Esiste la possibilità che alcuni virus infettino le cellule  $\beta$  provocando una reazione avversa da parte del sistema immunitario, oppure che la somiglianza antigenica tra le componenti delle cellule  $\beta$  e alcuni elementi strutturali di taluni agenti virali ne provochi una reazione (Triolo, 1996).

Diversamente, i fattori associati alla tipologia non insulino-dipendente (**diabete di tipo 2**, o T2D) sono maggiormente noti. Questa tipologia è caratterizzata da una resistenza periferica all'insulina: la produzione di quest'ormone non sarà mai sufficiente (può essere diminuita, normale o aumentata) chiamando in causa anche il pancreas. I fattori di rischio correlati sono: la familiarità, il sovrappeso, un'alimentazione non salutare, valori elevati di colesterolo e trigliceridi nel sangue, l'inattività fisica, la sedentarietà, l'aumentare dell'età, ipertensione arteriosa, l'origine etnica, l'alterata tolleranza al glucosio (*Impaired Glucose Tolerance* o IGT, è una condizione in cui i livelli di glucosio ematico sono più alti della norma ma non abbastanza per la diagnosi di diabete), la storia di diabete gestazionale ed un'alimentazione carente in maternità (14).

Il **diabete gestazionale** (o GDM) è rappresentato dai fattori di rischio quali sovrappeso, IGT e familiarità, tutti se presenti durante la gravidanza (15).

Una precoce diagnosi di diabete mellito di tipo 2 permette una terapia efficace: l'ideale è eseguire controlli regolari della glicemia, soprattutto dopo i 35 anni.

Sono sufficienti 2 minuti per compilare online test basati sul “*Finnish Type 2 Diabetes Risk Assessment Form*”: questionario efficace, rapido ed economico che permette la rapida identificazione dei soggetti a rischio di diabete di tipo 2. Questo consiste in 8 domande con un risultato che identifica la probabilità dello sviluppo di T2D nei 10 anni a venire (14). In *Figura 3* è fornito un esempio del [test](#) creato da IDF.

Figura 3 – Test2Prevent, conosci se sei a rischio di T2D

Approfondiamo ora le condizioni tipiche dei soggetti a maggior rischio di sviluppo di diabete mellito (soprattutto T2D): l'obesità e l'ipertensione.

## 1.2.2 Obesità

Peso ideale, sovrappeso o obesità? Il concetto di peso ideale non è di ordine estetico, quanto più sanitario: ad esso corrisponde un minore rischio di mortalità ed incidenza di malattia. A distinzione degli atleti, dove l'aumento di massa è prevalentemente a carico del tessuto muscolare (massa magra), se l'eccesso ponderale supera il 20% rispetto al valore standard si parla di obesità, fino al 20% invece di sovrappeso. Il metodo più semplice e veloce per determinare lo stato ponderale consiste nell'utilizzo dell'indice di massa corporea (o *Body Mass Index*, BMI): si calcola con la formula **peso [kg] / (altezza [m])<sup>2</sup>**. Per esempio, una persona alta 1,78m che pesa 84kg avrà un indice di 26,5: sono normali i valori compresi fra 19 e 24, si è in sovrappeso per valori fino a 30 ed oltre si parla di obesità. Spesso non è facile determinare l'influenza dell'adipe con questo indice: il semplice utilizzo di un plicometro permette un migliore inquadramento del soggetto (Triolo, 1996).

“*Globesità*” è la parola utilizzata dall'organizzazione mondiale della sanità per raffigurare quantitativamente quest'epidemia: negli Stati Uniti d'America più dei due terzi della popolazione adulta è sovrappeso, mentre un terzo ha un BMI che indica obesità dal punto di vista clinico. Questi dati rappresentano la tendenza del resto dei paesi nel mondo, tale che in Italia, secondo i dati del 4° *Italian Barometer Obesity Report*, realizzato da *IBDO Foundation*, sono più di 25 milioni le persone in sovrappeso (Sbraccia et al, *4th Italian Obesity Barometer Report 2022*).

L'obesità è una malattia con eziologia complessa: è caratterizzata da un contenuto eccessivo di grasso nei depositi lipidici ed è una patologia dove svolgono un ruolo fondamentale l'attività fisica e l'alimentazione con un impatto sociale rilevante.

Le principali malattie croniche implicano come determinanti di rischio condizioni come obesità e sovrappeso: notevoli sono i disturbi causati dalla presenza di uno stato ponderale eccessivo in bambini e adolescenti, tra cui problemi articolari, digestivi, respiratori e non da meno quelli psicologici. Il diabete di tipo 2, insieme ad altre patologie metaboliche e cardiovascolari, risulta presente in misura maggiore negli individui che in età infantile hanno riportato obesità (16).

Quali sono i possibili fattori che possono portare ad essere clinicamente obesi?

Un *eccesso di kilocalorie* viene immagazzinato nel tessuto adiposo: un bilancio energetico positivo, dato da un'assunzione di calorie maggiore rispetto al consumo, facilita l'insorgimento di obesità (Sherwood, 2012).

Quando le persone in sovrappeso mantengono la loro massa ad un livello stabile possono essere presenti *disfunzioni nel processo di trasmissione dei segnali della leptina*: è un ormone di natura proteica fortemente coinvolto nella gestione del metabolismo lipidico e del consumo di energia. Talvolta l'obesità è stata associata a resistenza alla leptina: non essendo in grado di riconoscere la leptina circolante, viene impostato un livello di riferimento più alto in modo tale da riconoscere quest'ormone come segnale per ridurre l'appetito. Così facendo aumentano le riserve di grasso (Sherwood, 2012).

Diversi studi hanno dimostrato che le persone in sovrappeso non assumono più calorie delle persone normopeso, piuttosto la loro condizione ponderale è dovuta ad un insufficiente dispendio energetico (ad es. dato dall'attività fisica): questa situazione è causata in parte dallo stile di vita della società moderna, dove le attività motorie necessarie sono molto più ridotte rispetto al passato.

Il NEAT, *Non exercise activity thermogenesis*, è una componente fondamentale che interviene nella variabilità soggettiva dell'accumulo di tessuto adiposo: è la quantità di energia che spendiamo per le nostre attività ed azioni al di fuori del dormire, del mangiare o dell'allenamento. È l'energia che spendiamo a lavoro stando in piedi, scrivendo le e-mail tramite la digitazione della nostra tastiera fisica o touch nel telefono e l'energia spesa quando si è agitati, detta "fidgeting" (Levine, 2002). Non sempre gli sforzi coscienti sono quelli che ci portano a consumare il quantitativo di energia maggiore, il NEAT spiega infatti come gesti spontanei e ripetitivi portino al consumo di molte calorie.

E nel caso di persone che assumono lo stesso quantitativo calorico ottenendo variazioni di peso differenti? La spiegazione è stata fornita da diversi studi, i quali hanno messo in luce una *differente estrazione di energia dagli alimenti*: diverse analisi hanno provato un minor ricavo di energia nelle persone magre, le quali evitano l'immagazzinamento a favore della produzione di calore (Sherwood, 2012).

A volte l'equilibrio energetico è spesso influenzato da componenti familiari, *genetiche*. Altre volte *un'alimentazione eccessiva* comporta il generarsi di nuove cellule adipose che non verranno eliminate con la dieta, piuttosto si svuoteranno, pronte per riempirsi nuovamente (Sherwood, 2012).

Molte altre sono le possibili cause dell'obesità e di uno stato ponderale fuori norma, tra cui alcuni *disordini endocrini*, il *rapporto con patogeni*, *disturbi emotivi* e psicologici, *un'abbondanza di cibo facilmente accessibile* e un *riposo insufficiente*: a favore di quest'ultima causa scatenante l'obesità, in letteratura sono presenti numerosi studi. Dormire poco causa direttamente un aumento di peso: nelle persone che riposano meno, rispetto a chi riposa le normali 8 ore, i livelli della leptina (segnale della sazietà) sono più bassi e quelli di grelina (segnale dell'appetito) più alti (Sherwood, 2012).

Ritornando ai dati del 4° *Italian Barometer Obesity Report* risulta fondamentale comprendere che viviamo in una società dove è necessario acquisire maggiore consapevolezza: il 59,1% dei genitori ritiene che i bambini, in realtà non molto attivi, svolgano attività fisica opportuna. Preoccupa seriamente l'incapacità di riconoscere questa malattia: l'11,1% e il 54,6% rispettivamente degli adulti obesi e in sovrappeso ritengono di essere normopeso. Questa sottostima porta inevitabilmente allo sviluppo di malattie e complicanze già dall'adolescenza: è fondamentale un cambio di rotta, a partire dallo stile di vita.

### **1.2.3 Ipertensione**

La forza che il sangue esercita sulle pareti delle arterie prende il nome di pressione arteriosa. La pressione arteriosa massima è chiamata sistolica, dovuta alla contrazione del cuore, mentre la minima diastolica, data dal suo riempimento: si misurano in millimetri di mercurio (mm/Hg) e si raffigurano con due numeri indicanti rispettivamente pressione sistolica e diastolica (es. 120/80 mmHg) (36).

Non sempre, quando avvengono delle variazioni, il nostro corpo è in grado di regolare o compensare la pressione sanguigna, tale che può risultare troppo elevata (ipertensione quando superiore a 140/90 mmHg) o troppo bassa (ipotensione quando inferiore a 100/60 mmHg) (Sherwood, 2012). La temporanea presenza di valori elevati di pressione a causa di uno sforzo non definisce la presenza di ipertensione: questa, piuttosto, è una condizione cronica.

Oltre a concorrere all'insorgenza del diabete, la presenza e l'entità di ipertensione è direttamente proporzionale alla possibilità di sviluppare certe malattie cardiovascolari:

definiamo quindi l'ipertensione arteriosa come un rischio elevato dato da alti valori pressori (Triolo, 1996).

Si suppone che il 18% degli Italiani siano ipertesi, senza contare chi non ne è a conoscenza: la frequenza di questa condizione va ad aumentare progressivamente con l'età superando il 50% tra le persone con più di 74 anni (17). Con il passare degli anni l'elasticità dei grandi vasi viene progressivamente meno, concorrendo ad un aumento della pressione; tuttavia, la pressione arteriosa non aumenta in modo proporzionale all'età: meno aumenta, meglio è (Triolo, 1996).

Fondamentale per la salute è il regolare controllo della pressione sanguigna: durante la giornata varia a causa di molteplici fattori, come gli stati emotivi: quindi quando e come misurarla? La misurazione, per un'appropriata diagnosi di ipertensione, va svolta con la persona emotivamente rilassata, dopo un periodo di almeno 15 minuti di riposo, in un ambiente con una temperatura gradevole, senza aver assunto stimolanti come il caffè, senza aver fumato e se possibile senza aver assunto farmaci. Il percorso dell'arteria brachiale, spesso sede di misurazione, non deve essere ostacolato da vestiti stretti (Triolo, 1996).

A seconda delle cause, si distinguono due tipi di ipertensione:

**Ipertensione secondaria**, riscontrabile nel 10% dei casi, dove questa condizione alterata di pressione è causata da un'altra patologia. Il caso più frequente è quello dell'*ipertensione nefrogena*, causata da malattie renali. L'ipertensione secondaria può essere causata inoltre da malattie alle ghiandole endocrine, da malattie vascolari, neurologiche, ostetriche, dall'uso di contraccettivi orali, dall'obesità e dall'elevato consumo di alcolici (Triolo, 1996).

**Ipertensione primaria**, riscontrata nel restante 90% dei pazienti ipertesi, è quella condizione dove le cause sono ignote: probabilmente gioca un ruolo importante la predisposizione genetica, che può essere accompagnata da fattori come l'eccesso ponderale, lo stress, il fumo e un'errata alimentazione. Qualunque sia la causa, l'ipertensione tende ad autoalimentarsi, predisponendo i vasi all'aterosclerosi e causando innumerevoli complicanze: la resistenza periferica che si oppone al cuore stressa sia esso che i vasi, può provocare ictus, infarti ed emorragie. I vasi danneggiati possono portare al blocco renale e al danno della retina (Sherwood, 2012). Queste complicazioni possono

insorgere repentinamente, in seguito ad un lungo periodo asintomatico: è per questo motivo che si parla di ipertensione come “killer silenzioso” (17).

Notati questi aspetti e vista l’entità di questo problema a livello globale (un terzo degli adulti americani sono affetti da ipertensione cronica) risultano fondamentali il trattamento e la prevenzione:

una riduzione della pressione arteriosa di soli 5mmHg abbatte rispettivamente del 34% e 21% il rischio di ictus e infarto (17). È competenza del medico adottare delle soluzioni farmaceutiche adeguate alla situazione del paziente: tra le più diffuse troviamo diuretici, beta-bloccanti, calcio-antagonisti, ACE-inibitori, alfa-bloccanti e clonidina. Non sempre la terapia farmaceutica riporta entro valori normali la pressione (si parla quindi di *ipertensione resistente*), ed ecco che uno stile di vita sano può fare la differenza per prevenire o curare l’ipertensione: è importante evitare il fumo (anche l’esposizione passiva), nutrirsi in modo sano ed equilibrato riducendo anche il consumo di sale e alcool, imparare a gestire le tensioni, essere normopeso e praticare attività fisica regolarmente (17).

#### **1.2.4 Sindrome metabolica**

Obesità e ipertensione sono alcune delle componenti che caratterizzano una condizione predisponente al diabete: la sindrome metabolica. Questa è composta inoltre da un aumento della circonferenza della vita, da elevati livelli ematici di trigliceridi, bassi livelli di HDL ed una glicemia elevata (Sherwood, 2012).

Recenti stime mostrano come il 25% della popolazione adulta mondiale sia affetta da sindrome metabolica: queste persone hanno molte più probabilità di morire da infarto e da ictus (3 volte in più rispetto ad un individuo sano) e di sviluppare il diabete di tipo 2 (rischio 5 volte maggiore) (Metabolic Syndrome, IDF, 2006).

Il verificarsi simultaneo di queste anomalie metaboliche aumenta in modo significativo il rischio cardiovascolare, superando di gran lunga i singoli rischi di ciascuna anomalia: più componenti vengono ad essere presenti, più aumenta il tasso di mortalità correlato alle malattie cardiovascolari (Hu et al. 2004). L’impatto sui sistemi sanitari globali risulta inevitabile: capiamo ora cosa causa la sindrome metabolica, come diagnosticarla e trattarla (Metabolic Syndrome, IDF, 2006).

Fattori come la familiarità, la sedentarietà, l'avanzare dell'età, un'inflammatione e cambiamenti nell'asse ormonale risultano marginali (Saad M.F. et al., 1991, Anderson P.J. et al., 2001): nonostante gli esperti stiano tuttora indagando sulle cause principali, come fattori significativi sono stati identificati la resistenza all'insulina e l'obesità (DECODE Insulin Study Group 2004, Carr D.B. et al 2004).

Per diagnosticare la sindrome metabolica, diverse organizzazioni come l'OMS e l'EGIR (Gruppo Europeo per lo Studio della Resistenza all'Insulina), hanno cercato di sviluppare criteri clinici, che però si sono rilevati contrastanti nella pratica: questo è il motivo che ha spinto gli esperti dell'IDF a fornire una definizione clinica, la quale si riveli un unico strumento diagnostico.

Secondo la definizione proposta da IDF, è indispensabile che una persona, per essere diagnosticata con sindrome metabolica, debba presentare obesità addominale (o *central obesity*, definita dalla circonferenza della vita con specifici dati specifici per etnia, oppure dal superamento del valore indicativo l'obesità nel BMI) ed uno dei seguenti quattro fattori: trigliceridi elevati ( $\geq 150$  mg/dL), bassi livelli di HDL ( $<40$  mg/dL negli uomini,  $< 50$ mg/dL nelle donne), ipertensione e iperglicemia a digiuno (Metabolic Syndrome, IDF, 2006).

Una volta diagnosticata la sindrome metabolica è essenziale intervenire subito: IDF raccomanda come primo intervento una correzione nello stile di vita che implichi una restrizione calorica, un aumentata attività fisica e una differente composizione rispetto alla dieta attuale. Per prevenire l'insorgenza di diabete di tipo 2 una piccola perdita di peso provoca grandi risultati: questo è quanto fu stato dimostrati da studi su persone obese (Lindstrom et al., 2003; Tuomilehto et al., 2001).

Come per l'ipertensione, qualora non sia sufficiente un cambio nello stile di vita può essere necessaria una terapia farmacologica, definita da IDF come "intervento secondario" (Metabolic Syndrome, IDF, 2006).

## 1.3 COMPLICANZE DEL DIABETE MELLITO

L'organismo dei pazienti affetti da diabete mellito è continuamente in cerca di un equilibrio metabolico tramite l'utilizzo di compensi: questo porta spesso la patologia a degenerare causando diverse complicanze. Gli effetti collaterali del diabete, attraverso un attento controllo della glicemia, possono essere ostacolati e posticipati: la terapia di ogni paziente può essere perfezionata andando ad analizzare i valori dell'emoglobina glicata ed eseguendo un autocontrollo della glicemia. Molti sono i fattori che concorrono all'insorgenza delle varie complicanze che possono essere acute o croniche: si devono alla scarsa presenza o addirittura assenza di insulina nei diabetici di tipo 1 le complicanze acute, mentre quelle croniche colpiscono frequentemente i diabetici di tipo 2 (6).

### 1.3.1 Complicanze acute

Il diabete è una malattia complessa e le complicanze acute sono dovute all'inadeguata secrezione di insulina, tipica dei diabetici di tipo 1: questo malfunzionamento provoca alterazioni nel metabolismo dei carboidrati, dei grassi e delle proteine andando ad innescare una serie di problematiche, nei peggiori casi fatali.

Andiamo a classificare le ripercussioni sul metabolismo di ogni macronutriente:

*Carboidrati.* Uno stato di *post-assorbimento*, o digiuno, viene ad essere favorito ed esagerato dalla mancanza di insulina comportando una minore captazione cellulare e un maggior rilascio epatico di glucosio: la glicemia si innalza e a cascata avvengono una serie di effetti. Il rene, una volta superato il set-point di filtrazione, eccede la capacità di riassorbimento portando il glucosio ad essere presente nelle urine (*glicosuria*), il quale richiama acqua per osmosi portando ad urinare frequentemente (*poliuria*). La situazione descritta comporta un'eccessiva perdita di liquidi (*disidratazione*), la quale in alcuni casi si può tradurre in uno scompenso circolatorio: qualora non fosse corretto potrebbe portare alla morte a causa di un insufficiente apporto di sangue al cervello o di un'insufficienza renale. Sempre la disidratazione è fonte di sete eccessiva (*polidipsia*) e morte, per uno scorretto funzionamento del sistema nervoso causato dall'uscita di liquido dalle cellule (Sherwood, 2012).

*Grassi.* L'assenza di insulina provoca una maggior lipolisi che si esprime in una mobilitazione di acidi grassi che vengono utilizzati come fonte di energia: il fegato è indotto a produrre corpi chetonici (*chetosi*). Lo stato di chetosi, che induce una maggior *ventilazione* per liberarsi dall'anidride carbonica, può giungere a deprimere l'attività cerebrale (a causa dell'*acidosi metabolica*) portando addirittura al *coma diabetico* e alla morte (Sherwood, 2012).

*Proteine.* L'assenza di insulina provoca catabolismo proteico e nei bambini può posticipare la crescita. L'iperglicemia risulta essere aggravata dal catabolismo proteico a causa dell'elevato numero di aminoacidi nel sangue (Sherwood, 2012).

Se la causa principale delle conseguenze acute, ovvero la mancanza di insulina, viene ad essere sopperita con un'eccessiva dose di quest'ultima si va in contro al problema più temibile: l'ipoglicemia. Si parla di ipoglicemia per valori di glicemia inferiori a 70mg/dL: la sintomatologia riferita si compone di sudorazione, tremore, irascibilità, fame, palpitazioni, confusione e debolezza. L'ipoglicemia può portare al coma: il modo migliore per innalzare il livello di glucosio ematico consiste nell'assumere zucchero nel più breve tempo possibile. Se non si interviene prontamente sarà necessario somministrare al paziente una fiala di glucagone: questa provocherà un rapido innalzamento della glicemia (18).

### **1.3.2 Complicanze croniche**

I disordini del sistema cardiovascolare e nervoso sono i principali responsabili della minor aspettativa di vita nei diabetici, soprattutto di tipo 2. Queste anomalie si manifestano frequentemente dopo 10-20 anni nonostante la gestione degli effetti acuti. Una glicemia costantemente elevata è causa di patologie che vanno a causare infezioni e a colpire determinati organi: cuore, vasi sanguigni, occhi, reni, nervi e denti. Dato che il diabete è uno dei maggiori responsabili di malattie cardiovascolari, insufficienza renale e amputazione degli arti inferiori è fondamentale monitorare regolarmente i pazienti (18). Analizziamo qui di seguito le principali complicanze croniche del diabete ed i rispettivi fattori di rischio (*Figura 4*).

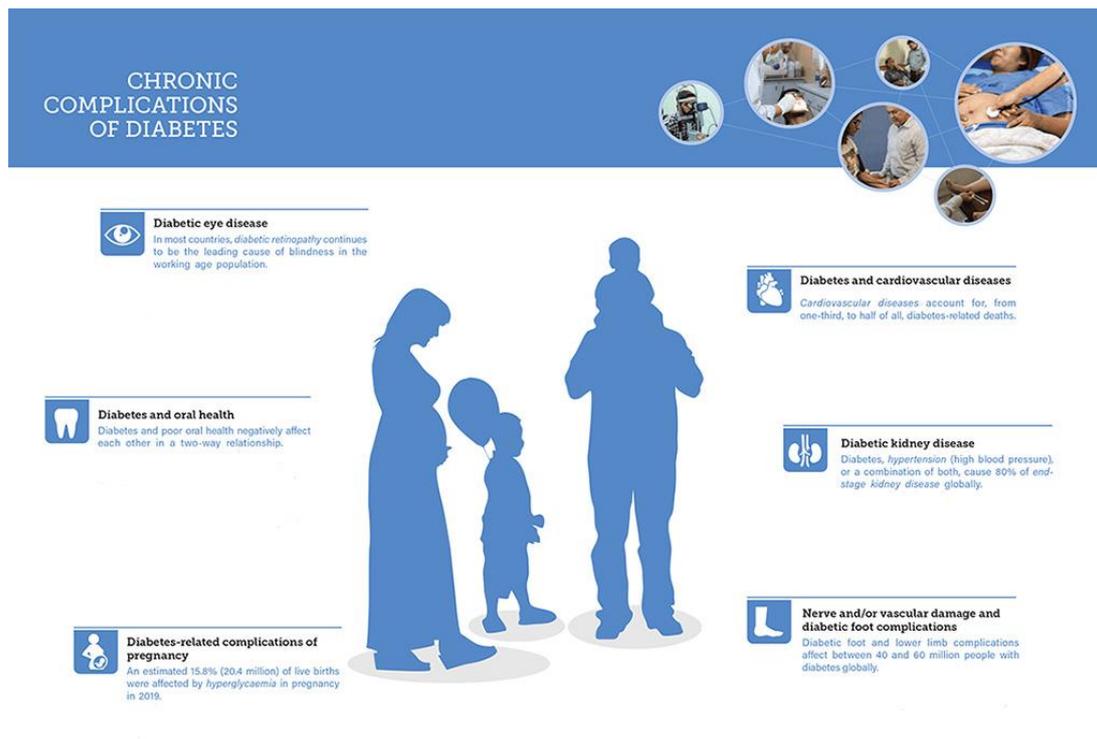


Figura 4 – Complicanze croniche del diabete

## Diabete e malattie cardiovascolari

Le persone affette da diabete di tipo 2 hanno il doppio delle probabilità di sviluppare malattie cardiovascolari rispetto a soggetti sani: è proprio per questo motivo che l'*American Heart Association* definisce il diabete come uno dei sette maggiori determinanti di rischio controllabili (19).

Insieme, diabete e patologie del sistema cardiocircolatorio sono la causa maggiore di malattia e decessi (20), ma quali sono le condizioni per cui le persone affette da diabete hanno un rischio maggiore di sviluppare malattie cardiovascolari (CVD)?

Diversi studi hanno affermato che la combinazione di *un'elevata pressione sanguigna* e la presenza del diabete aumenti notevolmente il rischio di contrarre CVD dimostrando inoltre un legame tra ipertensione e resistenza all'insulina. Dal momento che la combinazione di diabete ed ipertensione è comune e molto pericolosa è fondamentale un attento controllo. Ipertensione e resistenza insulinica sono correlate ad un altro importante fattore di rischio per le malattie cardiovascolari: *l'obesità*. È dimostrato che una diminuzione del peso corporeo migliori il rischio in oggetto e l'ostacolo più grande alla sua realizzazione è la semplice mancanza di esercizio fisico, altro fattore di rischio modificabile. Sempre il diabete è causa di disordini del metabolismo che aumentano il

rischio di contrarre CVD: a livello glucidico la glicemia può essere troppo alta ed in concomitanza, a livello lipidico, il diabete porta a livelli elevati di colesterolo “cattivo” (LDL) e trigliceridi, mentre bassi di colesterolo “buono” (HDL). Infine, il fumo, sia in diabetici che sani, incrementa notevolmente le probabilità di essere affetti da disturbi cardiaci e vascolari (19).

La corretta gestione dei fattori di rischio sarà fondamentale nei pazienti affetti da diabete mellito, soprattutto di tipo 2, per evitare o ritardare l’insorgenza di malattie coronariche, cerebrovascolari e arteriose periferiche (piede diabetico) (20).

Quando si parla di malattie cardiovascolari, nello specifico, si va incontro ad *aterosclerosi* quando il sangue non scorre più correttamente a causa di vasi sanguigni irrigiditi e ristretti per la presenza di grasso, portando ad un insufficiente apporto di ossigeno al cuore e provocando malattie coronariche. Questo gruppo di malattie, associate a diabete ed ipertensione possono indurre *insufficienza cardiaca*: il cuore è troppo debole per fornire sangue alle diverse parti nel nostro corpo. Tutti i danni a cui è sottoposto il cuore possono provocare *aritmie*, ossia battiti cardiaci irregolari, le quali nel peggiore dei casi causano il decesso (21).

## **Nefropatia diabetica**

Dati raccolti da numerosi studi hanno portato alla luce un dato molto rilevante: la presenza di diabete aumenta il rischio di sviluppare malattie renali croniche; infatti, si stima che il 40% dei pazienti diabetici ne andrà incontro (Alemu et al. 2020).

Il diabete risulta uno dei principali fattori scatenanti la malattia renale cronica (o *chronic kidney disease, CKD*), questo in quanto gli effetti del diabete possono danneggiare i vasi sanguigni renali rendendoli meno efficienti o del tutto compromessi (22).

Dal momento in cui i reni vengono ad essere danneggiati perdono la capacità di filtrare adeguatamente il sangue e produrre urina: lo sviluppo di questa malattia è lento e spesso irreversibile. Distinguiamo una fase precoce ed una terminale:

*l’insufficienza renale* è il primo stadio, dove non si avvertono sintomi nonostante il danno sia in corso. È fondamentale, al fine di controllare l’avanzamento della malattia (soprattutto se diabetici), eseguire analisi periodiche del sangue, della glicemia e della pressione sanguigna. Il continuo peggioramento delle condizioni renali e il conseguente accumulo di rifiuti porta la malattia renale allo stadio terminale (ESRD, dall’inglese “end-

*stage renale disease*”): i sintomi sono notevoli ed il trattamento, a seconda della gravità della situazione, può richiedere il trapianto di un rene (23).

Nei diabetici, le malattie renali (che prendono il nome di nefropatie) sono più comuni rispetto alle persone sane. Elevati livelli di glucosio ematico affaticano i reni nella loro funzione di filtraggio andandoli, nel tempo, a danneggiare: questa situazione è resa evidente dalla presenza di albumina nelle urine (23). A questo proposito l'*American Diabetes Association* suggerisce un test ACR (rapporto albumina-creatinina) alla diagnosi (di diabete di tipo 2) e una volta all'anno (24).

Mentre il diabete di tipo 2 è una causa principale di insufficienza renale, la quale è a sua volta un fattore rischio per l'ipertensione, d'altra parte l'ipertensione stessa può anticipare la nefropatia diabetica e promuoverne il suo sviluppo: insufficienza renale, diabete ed ipertensione sono strettamente correlate, tanto che i pazienti con CDK vanno incontro a morte per causa di complicazioni cardiovascolari anziché a causa della progressione fino alla fase terminale (22,24)

È possibile mantenere dei reni in salute pur essendo diabetici? Con i giusti obiettivi la risposta è affermativa: mantenere una glicemia ed una pressione ai corretti livelli, avere sane abitudini alimentari, di lifestyle (stile di vita) ed assumere i farmaci prescritti (quando necessario) può sicuramente aiutare a prevenire una patologia renale o a rallentarla qualora già insorta (25).

## **Neuropatia diabetica**

Quando si parla di neuropatia diabetica, condizione che colpisce circa la metà delle persone affette da diabete, ci si riferisce ai danni causati ai nervi a causa di alterazioni circolatorie e metaboliche. Questa forma di complicanza cronica del diabete è comune nei pazienti che convivono con la malattia da molto tempo e con un occhio di riguardo è possibile prevenirla: la migliore difesa contro la neuropatia diabetica è il mantenimento della glicemia a livelli stabili, seguito da un'alimentazione sana ed una quantità regolare di esercizio fisico (26).

Una componente del sistema nervoso sono proprio i nervi, fasci di tessuto che trasportano segnali elettrochimici dal cervello alle varie parti del corpo. A seconda dei nervi che vengono colpiti e dal tipo di neuropatia diabetica si possono manifestare diversi sintomi

oppure risultare asintomatici fino a quando si manifesta un grave danno nervoso. Esistono 4 tipi principali di neuropatie che possono svilupparsi singolarmente o insieme:

- *Neuropatia periferica*: è molto comune e colpisce metà delle persone con diabete mellito colpendo nella maggioranza dei casi i piedi e le gambe, talvolta mani e braccia. Le quantità elevate nel tempo di glucosio e trigliceridi a livello ematico sono la causa di questa neuropatia che riporta una sintomatologia a livello degli arti interessati di debolezza, dolore, bruciore, formicolio e intorpidimento: i sintomi possono peggiorare di notte, essere unilaterali o bilaterali. I piedi dei pazienti affetti da questa neuropatia si possono presentare con piaghe e vesciche ed una ridotta sensibilità che non ne permette, soggettivamente, la loro identificazione (Pop-Busui et al., 2017). I nervi colpiti da questa complicanza rendono i muscoli innervati meno funzionali: la neuropatia periferica causa danni alle fibre nervose sensoriali e motorie, alterando la trasmissione dei potenziali d'azione dal sistema nervoso centrale al muscolo. Questo può portare a perdita di massa e forza muscolare, ad una ridotta capacità di esercizio e ad un conseguente aumento del rischio di cadute e fratture (Cashman e Höke, 2015).
- *Neuropatia autonoma*: si parla di questa tipologia di neuropatia dal momento in cui vengono ad essere danneggiati i nervi che si occupano di controllare gli organi interni. A seconda della funzione del corpo compromessa si possono riferire diversi sintomi che interessano il battito cardiaco, la pressione sanguigna, il sistema digerente, la vescica, gli organi sessuali, le ghiandole sudoripare, gli occhi e infine, la neuropatia autonoma, può causare l'incapacità di sentire i sintomi dell'ipoglicemia (27).
- *Neuropatia focale*: è un danno nervoso, meno comune delle due tipologie appena citate, che interessa i singoli nervi. Il più comune tipo di neuropatia focale è dovuto alla compressione dei nervi attraverso passaggi scomodi, chiamato *intrappolamento*, più comune nei diabetici che nei sani dove la tipologia maggiormente frequente è la sindrome da tunnel carpale (27).
- *Neuropatia prossimale*: è un danno invalidante che colpisce i nervi di anca, glutei e cosce, nel maggiore dei casi unilaterale, che colpisce prevalentemente persone di sesso maschile con età superiore ai 50 anni e affette da diabete di tipo 2. La

sintomatologia riferita, composta di dolore nelle zone innervate dai nervi danneggiati, tende, anche se non completamente, a scomparire nei mesi e negli anni.

Gli esperti dell'ADA (*American Diabetes Association*) ritengono che nella maggioranza dei casi sia più utile effettuare delle valutazioni di base piuttosto che utilizzare test diagnostici sofisticati al fine di valutare la presenza di neuropatia diabetica: viene raccomandato un test con cadenza annuale composto di valutazione della sensibilità termica, tattile, vibratoria e puntoria, test per la valutazione dei riflessi e per la forza muscolare rispetto alla caviglia (Pop-Busui et al., 2017).

Al fine di evitare un peggioramento delle condizioni neuropatiche è importante, per tutte le persone affette da diabete, adottare una cura minuziosa dei piedi (soprattutto se si manifesta neuropatia periferica): questo in quanto il piede diabetico è una delle complicanze più comuni, gravi ed economicamente impattante (18).

## **Retinopatia diabetica**

Nel breve termine, una glicemia troppo alta può provocare una visione offuscata: questa è temporanea e svanisce con un ritorno a valori normali della glicemia (28).

Inizialmente, i vasi sanguigni diventeranno sempre più deboli, gonfi e potranno fuoriuscire dalla retina, struttura deputata alla trasformazione della luce in segnali per il cervello: questa condizione viene definita *retinopatia diabetica non proliferativa* (28)

In conseguenza ad un'iperglicemia prolungata nel tempo, tipica dei pazienti affetti da diabete mellito, i vasi sanguigni della retina vengono ad essere danneggiati comportando dispersione di liquido e un blocco capillare: questo stato, che può risultare in perdita della vista e infine cecità, prende il nome di *retinopatia diabetica proliferativa* e può portare a gravi problemi come l'edema maculare diabetico, i glaucomi e la cataratta (28, *Diabetes Eye Health* IDF).

Nonostante gli effetti del diabete causino altre problematiche a livello oculare, la retinopatia diabetica, in continuo sviluppo, è una condizione di primaria importanza e per lo più prevenibile mediante interventi adeguati (*Diabetes Eye Health* IDF).

Dei 415 milioni di persone che nel 2015 vivevano con il diabete, si stima che, prima della fine della loro vita, oltre un terzo di queste andrà a sviluppare una forma di retinopatia

diabetica (*Diabetes Eye Health* IDF): ad oggi sono 93 milioni le persone diabetiche che hanno subito un danno a livello oculare (Yau et al. 2012).

Gli attori principali che intervengono nel mantenere una buona vista sono gli stessi pazienti affetti da diabete e gli operatori sanitari: i primi svolgono un ruolo attivo di autogestione della loro patologia mentre i secondi, dagli operatori di base agli specialisti nella cura degli occhi, sono fondamentali e vanno a fornire informazioni, strategie personalizzate e supporto ai pazienti (*Diabetes Eye Health* IDF).

Ogni persona affetta da diabete, senza un controllo ottimale dei livelli di zucchero e grassi nel sangue, va incontro al rischio di perdere la vista: al mondo sono presenti una quantità insufficiente di medici oculisti, tanto che è una priorità assoluta l'inserimento di uno screening, per le malattie legate alla vista, da parte degli operatori sanitari di base (*Diabetes Eye Health* IDF).

L'IDF e la fondazione di Fred Hollows hanno stilato, secondo i criteri di riferimento per la cura dell'occhio nei diabetici "ICO" (*International Council of Ophthalmology*), una guida che promuove e rende più semplice la diagnosi precoce e la corretta gestione della retinopatia diabetica: *The diabetes Eye Health Guide* (*Diabetes Eye Health* IDF).

## **Complicanze legate alla salute orale**

La parodontite, un disturbo molto comune, innesca una risposta infiammatoria ed immunitaria che porta, nei casi avanzati, fino alla perdita dei denti (Kwon et al. 2021): quando nei diabetici non avviene una corretta gestione della glicemia aumenta il rischio di parodontite, associato ad aumentata possibilità di contrarre malattie cardiovascolari (18).

Com'è possibile? Grazie al cambiamento di quantità e composizione della saliva. Questa adempie a svariate funzioni meccaniche e protettive: il diabete influenza le ghiandole salivari a tal punto da comportare una minor produzione di saliva e di conseguenza un aumentato rischio di carie, malattie a livello della gengiva e svariate problematiche. Inoltre, la sua composizione viene ad essere variata tramite un aumento del glucosio nella saliva stessa, il quale può innescare una serie di meccanismi che portano alla formazione di tartaro, causa di malattia gengivale (29).

Le persone affette da diabete necessitano di una cura maggiore e attenta della loro salute orale: Il "*National Institute of Dental and Craniofacial Research*" ha pubblicato una

breve ed efficace guida per mantenere una bocca sana. Le principali azioni da intraprendere sono un controllo della glicemia, lavarsi i denti due volte al giorno ed utilizzare il filo interdentale regolarmente, andare dal dentista spesso specificando di avere il diabete e comunicando se le gengive sono doloranti, infine smettere di fumare, in quanto il fumo peggiora le malattie delle gengive (*Diabetes: Dental Tips - NIH Publication No. 19-2946 March 2019*).

## **Complicanze legate alla gravidanza**

La presenza di diabete mellito gestazionale minaccia la salute materna ed infantile. In particolare, il neonato rischia: di venire alla luce con un *peso eccessivo* (con possibilità di lesioni alla nascita o necessità di parto cesareo) il che può raccomandare una *nascita prematura*, di incorrere in serie difficoltà respiratorie, di entrare in uno stato di *ipoglicemia* poco dopo il parto, di sviluppare *obesità e diabete mellito di tipo 2* nel corso nella vita. Nel peggiore dei casi il neonato rischia la morte prima o poco dopo la nascita. Dall'altra parte la madre con diabete gestazionale incrementa i rischi di ipertensione, di preeclampsia (un problema che porta ad alta pressione sanguigna), di partorire con un taglio cesareo. Infine, aumenta il rischio di sviluppare diabete in futuro (30).

Secondo i dati raccolti nella nona edizione dell'*IDF Diabetes Atlas*, nel 2019 sono stati 223 milioni le donne che vivevano con il diabete, 20 milioni i neonati andati incontro ad iperglicemia durante la gravidanza (si stima che l'84% dei casi sia dovuto al diabete gestazionale), 1 nascita su 6 è stata influenzata dal diabete gestazionale e la maggior parte dei casi di iperglicemia in maternità è avvenuta in paesi con un'economia poco sviluppata (*IDF Diabetes Atlas, 9th edn. Brussels, Belgium*).

La prevenzione, nonostante non vi siano garanzie, è fondamentale quando si parla di diabete mellito gestazionale: migliorare il proprio stile di vita mangiando cibo sano, di qualità, e tenendosi attivi fisicamente con l'esercizio moderato sono scelte che ridurranno il rischio di contrarre nuovamente il diabete. Infine, se si sta pianificando una maternità, è molto importante porsi nelle condizioni di iniziarla ad un corretto peso corporeo e, durante il percorso di gravidanza, non eccedere la massa corporea raccomandata (30).

## 1.4 PREVENZIONE

Facendo riferimento alle complicanze croniche del diabete mellito, l'Istituto Superiore della Sanità (ISS) pone l'accento sulle determinanti di rischio correlate, con lo scopo di prevenirle o rallentarle.

L'emoglobina trasportata dai globuli rossi si unisce al glucosio in proporzione alla sua concentrazione nel sangue. La quantità di emoglobina che si lega al glucosio è un indice della glicemia media nell'ultimo trimestre, poiché i globuli rossi vivono per circa tre mesi: mediante la misurazione dell'**emoglobina glicata** (HbA1c%) abbiamo quindi la possibilità di analizzare ed avere una panoramica della **glicemia media**.

Al fine di prevenire le complicanze croniche, rilevanti studi hanno sottolineato l'importanza di un buon controllo metabolico reso possibile quindi dalla misurazione dell'HbA1c%. Nel diabetico si parla di “buon controllo metabolico” quando l'emoglobina glicata è pari o inferiore al 7%. Sempre nei diabetici due controlli fondamentali sono quello della **pressione sanguigna** e della concentrazione di **lipidi nel sangue**: entrambi possono anticipare l'avvento di malattie cardiovascolari. Il controllo di queste variabili, indipendentemente dalla presenza di sintomi, non deve escludere visite frequenti agli organi bersaglio delle complicanze croniche (6).

Quando si usano i termini “prevenzione” e “diabete” è comunque bene specificare a cosa ci riferiamo: ad oggi non esiste alcun modo per prevenire il diabete mellito di tipo 1. Diversamente, il diabete di tipo 2 può essere ritardato e addirittura evitato: diversi studi hanno enfatizzato i fattori di rischio modificabili, facenti parte dello stile di vita, come attori principali nella prevenzione (31).

### 1.4.1 Studi e raccomandazioni

Ci sono marcate e significative evidenze provenienti da studi condotti in tutto il mondo sulla reale possibilità di prevenire il diabete di tipo 2 e impedirne quindi la comparsa: di seguito alcune analisi che hanno studiato gli effetti successivamente a modifiche allo stile di vita e all'utilizzo di farmaci (31).

Di notevole impatto fu lo studio pubblicato nel 1997 “*Da Qing Study*”: lo studio si è proposto di esaminare individui ad alto rischio di sviluppare il diabete, in quanto con un

alto livello di intolleranza al glucosio (IGT), cercando di determinare l’impatto delle modifiche allo stile di vita. 577 persone con IGT sono state divise in tre gruppi: solo dieta, solo esercizio fisico o entrambi. Dopo 6 anni questi gruppi hanno dimostrato di avere un rischio significativamente inferiore di sviluppare diabete rispetto al gruppo di controllo: la dieta ha comportato una riduzione del rischio del 31%, l’esercizio del 46% e la loro combinazione una riduzione del 42% (Pan et al., 1997) (Vedere Figura 4)

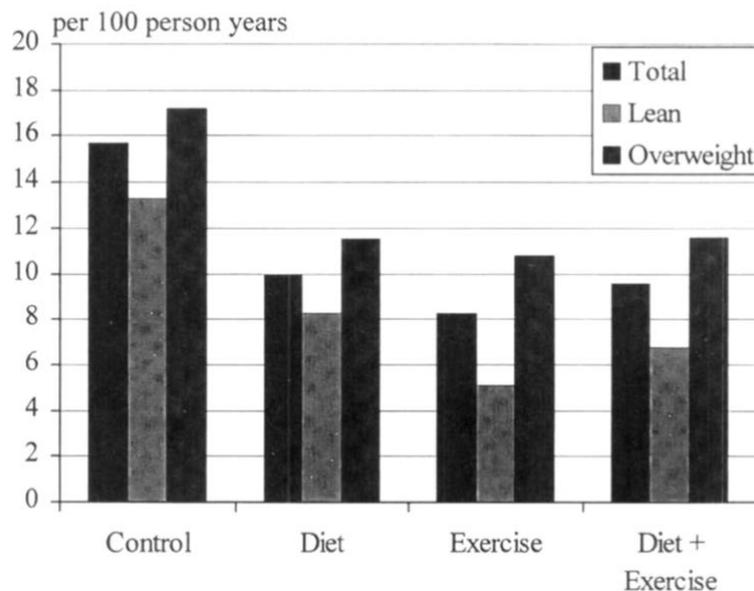


Figura 4. L’incidenza di diabete dopo 6 anni (Pan et al. 1997)

Il primo studio randomizzato controllato che si è proposto di esaminare l’effetto di un intervento sullo stile di vita nella prevenzione del diabete di tipo 2 fu il “**Finnish Diabetes Prevention Study**” (DPS, studio finlandese sulla prevenzione del diabete): in questa ricerca della durata di 3 anni sono stati assegnati ad un gruppo di intervento e ad uno di controllo 522 individui con IGT. Il gruppo di intervento, ricevendo un supporto specializzato in ambito nutrizionale e di allenamento, ha ridotto il rischio di diabete del doppio rispetto al gruppo di controllo: tutto ciò grazie al raggiungimento di un peso corporeo adeguato, un’attività fisica maggiore, un apporto di grassi maggiore e di fibre minore (Lindström et al., 2003).

Uno studio più inclusivo ed equilibrato fu il **Diabetes Prevention Program** (DPP, programma di prevenzione del diabete): comprendeva 3.234 adulti americani, di cui il 68% di donne e il 45% di gruppi etnici minoritari, con lo scopo di confrontare gli effetti del cambiamento allo stile di vita rispetto alla somministrazione di metformina (farmaco

orale utilizzato nel trattamento del diabete di tipo 2, agisce riducendo la glicemia e aiutando il corpo a rispondere meglio all'insulina). I risultati evidenziarono la maggior efficacia nelle modifiche dello stile di vita rispetto all'intervento farmacologico: ogni 100 persone l'incidenza di diabete era di 11, 7.8 e 4.8 nei rispettivi gruppi "placebo", "metformina" e "modifica dello stile di vita" (Knowler et al., 2002).

Un altro studio a lungo termine fu *l'Indian Diabetes Prevention Program* (IDPP, programma di prevenzione del diabete indiano), della durata di 30 mesi, con lo scopo di esaminare la progressione del diabete di tipo 2 nei nativi indiani rispetto a popolazioni multietniche come quella americana, cinese e finlandese: lo studio ha dimostrato che nonostante l'elevato rischio di sviluppare la malattia nella popolazione nativa indiana, modifiche dello stile di vita e l'utilizzo di metformina si sono rivelati efficaci (Ramachandran et al., 2006).

Con lo scopo di prevenire il diabete, la Federazione Internazionale del Diabete (IDF) ha delineato nove raccomandazioni generali per una dieta sana ed equilibrata, tra cui: scegliere bevande senza zuccheri, mangiare frutta e verdura ogni giorno, limitare l'assunzione di alcool e preferire tagli magri di carne. Consiglia, inoltre, di evitare grassi saturi a favore degli insaturi (31).

Infine, riscontrato il consumo di alimenti ad alto contenuto di zucchero come fattore di rischio per il diabete, in risposta alle raccomandazioni dell'OMS, l'IDF nel novembre del 2016 ha pubblicato un documento che fornisce le linee guida per ridurre il consumo di zuccheri per migliorare la salute generale: "*IDF Framework for Action on Sugar*" (IDF Framework for Action on Sugar – Novembre 2016).

# CAPITOLO 2

## INTRODUZIONE ALL'ESERCIZIO FISICO

### 2.1 LA STORIA DELL'ESERCIZIO FISICO

Fin dall'antichità, l'attività fisica è stata una componente fondamentale rivestendo parte integrante della quotidianità, basti pensare alle necessità dell'epoca: la sopravvivenza era dettata da attività quali la caccia, la raccolta e gli spostamenti, tanto che il corpo veniva considerato uno *strumento di superiorità*.

Insieme alla caccia, come istruzione dei suoi movimenti nacque già nella preistoria una pratica motoria ritualizzata, utilizzata in contesti legati alla celebrazione della vita e della morte come forma religiosa e sociale: la danza.

Con lo sviluppo di nuove tecnologie, l'attività fisica ha iniziato a venir meno, e man mano che la civiltà progrediva ha ricoperto i più svariati ruoli.

Grazie allo sviluppo che l'educazione fisica ha avuto nel corso di centinaia di anni oggi tutti siamo a conoscenza dei molteplici effetti benefici che il movimento comporta, per coloro che lo praticano adeguatamente. È possibile, per mezzo del contributo della ricerca storica, analizzare le costanti e quindi il delinearsi di modelli ma anche i cambiamenti di paradigma, cioè gli elementi che hanno significato una rottura: un ottimo testo che pone in luce queste caratteristiche, ed inoltre centrale nel corso di Pedagogia Generale al primo anno di Scienze Motorie, è quello scritto da *Paul Dietschy* e *Stefano Pivato*, dal nome **“Storia dello sport in Italia”**<sup>1</sup>.

Nella storia occidentale è stato possibile notare lo sviluppo di quattro modelli differenti: quello *militare*, preposto alla guerra, quello *sanitario*, per una salute del corpo in ottica preventiva e curativa, quello *educativo*, dove si evidenziano le qualità dell'esercizio fisico nelle prime scuole, ed infine, quello *sportivo*, con attività fisiche in ottica competitiva e ludica.

È nei poemi omerici (Iliade e Odissea, 850-750 a.C.) che si trovano le prime descrizioni di attività motorie “contestualizzate”: a quel tempo la società, distinta per essere arcaica e tribale, era dedita alla guerra e alla difesa delle proprie terre. Combattività, resistenza

---

<sup>1</sup> Dietschy P. e Pivato S. 2019. Storia dello sport in Italia. Bologna: Il Mulino

alla fatica, eroismo e coraggio erano i valori diffusi al tempo per raggiungere tali scopi: i *fedeli*, cioè i giovani guerrieri, avevano accesso alla cultura e venivano allenati al combattimento ed alla competizione, allo scopo di manifestare l'eccellenza. All'epoca, l'ideale di uomo era raffigurato dal cavaliere omerico, il quale eccelleva sul campo, ed inoltre, manifestava un grande intelletto: il suo modello, perseguibile da tutti, tendeva all'essere vittoriosi per il proprio Re, senza rimanere ancorati alla pura fisicità. Al fine di raggiungere la massima elevatezza interiore ed esteriore, la preparazione alla guerra veniva accompagnata a quella sportiva: numerosi erano gli "agòni" (gare) che potevano essere di natura ginnica, ippica e musicale. L'agonismo veniva ad essere espresso nei giochi Panellenici, tra i quali ritroviamo i giochi Olimpici, i giochi Pitici, i giochi Istmici, i giochi Nemei e le feste Panatenèe: insieme formano il "periòdos" (il circuito), il cui vincitore otteneva il più prestigioso dei titoli sportivi.

Protagonisti dei sopra citati giochi erano gli uomini; le donne, invece, non avevano nemmeno la possibilità di essere spettatrici, in quanto all'epoca osservare era considerato una sorte di emulazione. Nonostante ciò, partecipavano a diverse attività motorie: potevano essere protagoniste in alcune feste con il fine di insegnare le tradizioni matrimoniali e le attività domestiche, erano in grado di partecipare ai Giochi Erei ad Olimpia, dove si cimentavano in una corsa veloce, svolgevano esercizio fisico con lo scopo di migliorare la salute e la qualità della razza umana (funzione eugenetica ed igienica) ed infine sarebbero potute risultare vincitrici di gare ippiche, in quanto proprietarie dei cavalli.

La trasformazione da carattere sacro e bellico ad uno sportivo necessita tempo e determina la nascita del professionismo atletico: l'obiettivo di vincere il *periòdos* veniva raggiunto grazie ad un allenamento specializzato e tramite l'impiego di notevoli risorse economiche e di tempo. A tal fine vennero istituiti dei luoghi di preparazione, come il ginnasio e la palestra, seguiti da figure professionali, quali il *pedòtriba* e il ginnasta; quest'ultimo era l'allenatore degli sportivi con obiettivi agonistici. Fino a quel tempo il concetto di *aretè* (eccellenza, virtù) accompagnava lo sport e l'attività fisica per raggiungere la *gloria*, ma diversi cambiamenti fecero venire meno questo scopo, tra cui l'ascesa della città-stato e la formazione di nuove classi sociali.

La città che ha enfatizzato questo cambiamento, tra l'ottavo ed il settimo secolo a.C., è stata Sparta: si passa dall'educare in prospettiva del cavaliere omerico all'educazione del

soldato, a quel tempo chiamato *oplita*, il quale sottostava ad una severa disciplina e doveva essere dedito sino alla sua morte alla patria.

L'educazione corporea inizia ad essere disprezzata e sottovalutata ed ha come unico fine lo sviluppo della forza fisica per il soldato: è con Socrate<sup>2</sup> ed Aristotele<sup>3</sup> che si conia il termine *Paideia*, il quale indica la formazione dell'uomo in modo completo attraverso la cultura. Malgrado tutto, la cura del corpo e dell'esercizio trova il suo posto nella competizione sportiva: è qui che nasce l'atleta professionista, disprezzato dalle persone colte mentre ammirato dal popolo. Sempre nello stesso periodo nasce la "medicina ipocratica", insegnata dal medico greco Ippocrate<sup>4</sup>, la quale raccoglieva nozioni dietetiche e di allenamento: viene ad essere sottolineata un'attività fisica da inserire nella medicina preventiva e curativa.

Negli stessi anni, Roma vive la Repubblica (tra il 510 a.C. e il 31 a.C.): in questa società l'attività ginnica mirava al benessere della persona e alla difesa del territorio, senza la componente competitiva tipica della cultura greca. A scopo spettacolare sono nate svariate attività che hanno preso il nome di *ludi*: dalle corse di cavalli ai combattimenti tra uomini, queste occasioni iniziano ad assumere una connotazione politica, oltre che di spettacolo. Al termine della repubblica sorge l'età imperiale, la quale si caratterizza dall'intreccio con la cultura greca: i *ludi* vengono ad essere trasformati in giochi prevalentemente ginnici ed atletici. In questo periodo, seguendo la filosofia secondo la quale "il corpo è subordinato all'anima" (Seneca<sup>5</sup>), la ginnastica diventa una mera attività di svago e benessere, perdendo la valenza educativa tipica dei greci, ed assumendo una prospettiva di corpo sano.

A rivendicare l'eredità di Ippocrate è stato Galeno, i cui insegnamenti dureranno fino al sedicesimo secolo: per Galeno gli esercizi praticati in palestra hanno come unico obiettivo la salute e quindi appartengono alla medicina.

---

<sup>2</sup> Socrate (469-399 a.C.) fu un filosofo greco antico, considerato il fondatore della filosofia occidentale. Si occupò di etica, politica, logica e conoscenza.

<sup>3</sup> Aristotele (384-322 a.C.) fu un filosofo greco antico, allievo di Platone e maestro di Alessandro Magno. Si occupò di vari campi del sapere, tra cui metafisica, logica, fisica, biologia, etica, politica, retorica e poetica.

<sup>4</sup> Ippocrate (460-377 a.C.) padre della medicina scientifica. Scrisse molte opere e fondò una scuola medica

<sup>5</sup> Seneca (4 a.C.-65 d.C.) fu un filosofo, drammaturgo e politico romano, esponente dello stoicismo. Scrisse opere filosofiche, lettere morali, tragedie e satire.

Il concetto di attività fisica viene ad essere messo nuovamente in discussione con l'avvento del Cristianesimo, periodo in cui vengono abolite le Olimpiadi (393 d.C.) in quanto definite riti pagani. In questi anni, la concezione di attività fisica divenne contrastante: alcuni la definivano inutile (ad es. concepita come mero divertimento) in quanto deviava dalla fede (Tertulliano<sup>6</sup>), altri invece la trovano funzionale alla vita cristiana (Clemente Alessandrino<sup>7</sup>). La pratica della ginnastica, in quest'epoca, trova finalità nei monasteri dove l'unico scopo era la resistenza alla privazione.

È solamente con la cavalleria, nell'alto medioevo, che il ruolo dell'attività fisica si riavvicina ai valori della cultura greca: questa si compone dei cavalieri, uomini di fede cristiana addestrati all'uso delle armi per la difesa della propria credenza, della giustizia e degli oppressi. Con scopo dimostrativo e di allenamento alla battaglia, i cavalieri partecipavano a diversi giochi sportivi, tra cui i tornei, la giostra, il carosello, il passo d'arme, la quintana, la corsa dell'anello e la caccia. Ginnastica e giochi trovavano spazio solamente in certi momenti, come le feste.

La connotazione assunta dall'attività fisica nel contesto medievale viene ad essere sostituita dai valori intrinseci della società rinascimentale, caratterizzata dalla nascita della borghesia e di un nuovo ideale di uomo: il mondo non è più un luogo dove si scontano le pene o le colpe, ma diventa un contesto dover poter dimostrare la propria iniziativa e creatività. È in questo frangente che origina il fine educativo del movimento: viene posta grande enfasi sullo sviluppo corporeo dei giovani, in particolare il padre ha il compito di insegnare al figlio diverse abilità motorie utili alla vita civile, con il fine di renderlo abile e forte. L'ideale greco torna, ancora una volta, rafforzando la bellezza fisica e il buon carattere. Da questo momento in poi emerge la necessità di un modello educativo comprendente l'educazione corporea: numerose sono le scuole che vengono a crearsi, tra cui quella di Vittorino dei Rambaldi da Feltre<sup>8</sup>, a Mantova, e di Vittorino Guarini<sup>9</sup>, a

---

<sup>6</sup> Tertulliano (160-220) fu un teologo e scrittore cristiano, originario di Cartagine. Fu il primo autore cristiano a scrivere in latino e a usare il termine Trinità.

<sup>7</sup> Clemente Alessandrino (150-215) fu un teologo e scrittore cristiano, fondatore della scuola catechetica di Alessandria.

<sup>8</sup> Vittorino dei Rambaldi da Feltre (1373-1446) fu un'umanista e educatore italiano, fondatore della scuola di Ca' Giocosa a Mantova.

<sup>9</sup> Vittorino Guarini (1374-1460) fu un'umanista e educatore italiano, fondatore di una scuola-convitto a Ferrara, dove insegnava ai suoi alunni il latino, il greco, la filosofia e le scienze.

Ferrara. “*Gli uomini, solo con l’aiuto di regolari esercizi, acquistano la sanità e la conservano formando una robusta costituzione*” è quanto affermato nella prima opera moderna che prende in considerazione l’interconnessione tra la salute e l’esercizio fisico (*De arte Gymnastica*, 1569, Girolamo Mercuriale).

Con l’avvento delle più svariate correnti filosofiche dei secoli XVII e XVIII, la ginnastica assume svariate connotazioni: tra i protagonisti di questo periodo troviamo da una parte Cartesio<sup>10</sup>, che promuove l’immensa importanza del corpo da un punto di vista razionale, dall’altra, in Inghilterra, John Locke<sup>11</sup>, il quale compone il *Saggio sull’intelletto umano* (1690) e i *Pensieri sull’educazione* (1693). Nel *Saggio sull’intelletto umano*, Locke si propone di esaminare la conoscenza umana, arrivando alla conclusione che l’esperienza è sia la fonte che il confine dell’intelletto nel processo di formazione delle idee. Il testo *pensieri sull’educazione*, invece, pone in luce la formazione del *gentleman*: un uomo virtuoso in grado di dirigere la società, il cui raggiungimento è ottenuto grazie alla formazione del corpo, del carattere morale e della mente. Locke enfatizza la perfetta complementarità nel rapporto mente-corpo, in quanto un corpo sano influisce sulla salute mentale e viceversa, ed indica i detentori di entrambe queste qualità (salute fisica e mentale) come individui completi, senza altre necessità.

La ginnastica trova finalmente spazio nell’educazione scolastica a partire dal XVIII secolo. A segnare il contesto europeo è stata la scuola tedesca: Basedow<sup>12</sup>, a Dessau, fonda un istituto educativo comprendente esercizi fisici a scopo militare il cui fine era quello di acquisire agilità e autocontrollo corporeo. Sempre nel contesto tedesco, prima di piegarsi a fini militari, Muths<sup>13</sup> è stato promotore di un’educazione dove la formazione del corpo e dello spirito dovevano procedere parallelamente: nasce la ginnastica “che educa” (*Ginnastica per la gioventù*, 1793) e si differenziano le attività maschili da quelle femminili, caratterizzate da attività libere e leggere come la danza. L’attività fisica prende

---

<sup>10</sup> Cartesio (1596-1650) fu un filosofo e matematico francese, considerato il fondatore del razionalismo moderno.

<sup>11</sup> John Locke (1632-1704) fu un filosofo e medico inglese, considerato il padre del liberalismo, dell’empirismo moderno e uno dei più influenti anticipatori dell’illuminismo e del criticismo.

<sup>12</sup> Johann Bernhard Basedow (1724-1790) fu un pedagogista e riformatore tedesco che fondò il Philanthropinum, una scuola basata sui principi dell’illuminismo e dell’educazione naturale

<sup>13</sup> Christoph Friedrich Guts Muths (1759-1839) fu un pedagogista e ginnasta tedesco, considerato il padre della ginnastica pedagogica moderna.

pie in tutta Europa e la sua educazione è impartita con il fine di formare un cittadino pronto ad impegnarsi in guerra.

Con la scuola svedese, invece, si rivolge l'attenzione all'influenza dei movimenti sul corpo umano (Per Henrik Ling<sup>14</sup>, nasce la ginnastica razionale), nasce il concetto di progressione e si crea una documentazione grafica degli esercizi (grazie al figlio, Hjalmar Ling<sup>15</sup>). In Francia, Amoròs<sup>16</sup>, scrive il manuale di educazione fisica, ginnastica e morale (1830) dove si definisce la ginnastica medica e la si suddivide in: ginnastica igienica, volta alla conservazione della salute, ginnastica terapeutica, indirizzata al trattamento delle malattie, ginnastica riabilitativa, destinata alla convalescenza e ginnastica ortosomatica, pensata per correggere le malformazioni. È con Thomas Arnold<sup>17</sup> che ritornano i valori filosofici di Locke: la scuola inglese è sede della nascita della pedagogia sportiva, volta al raggiungimento dei risultati tramite la pratica delle attività sportive. L'educazione all'attività fisica, anche in Italia, inizialmente ha un'impostazione militare: si inizia ad assumere un punto di vista medico-scientifico con Alberto Gamba ed uno razionale-educativo con Felice Valletti. A partire da questo contesto, in Italia, l'attività fisica viene riconosciuta sempre di più fino ad essere introdotta come insegnamento obbligatorio in tutte le scuole (L. 4442 nel 1878 e L. 805 nel 1909).

In seguito all'industrializzazione, il livello di attività fisica medio è diminuito drasticamente (Bouchard et al. 2012): questo è allarmante, dal momento che innumerevoli studi hanno dimostrato la correlazione tra inattività fisica e rischio di malattie cardiovascolari (Dubbart et al. 2002). A tal proposito un gran numero di ricercatori si sono dedicati, e si dedicano tuttora, all'approfondimento degli effetti dell'attività fisica sulla salute: analizziamo, qui di seguito, le varie sfaccettature che ad oggi si sono comprese quando si parla di "esercizio fisico".

---

<sup>14</sup> Per Henrik Ling (1776-1839) fu un fisioterapista e insegnante di ginnastica svedese, considerato il padre della ginnastica pedagogica moderna.

<sup>15</sup> Hjalmar Ling (1820-1886) fu un pedagogo svedese, figlio di Per Henrik Ling. Fu insegnante e direttore del Reale Istituto Centrale di Ginnastica di Stoccolma.

<sup>16</sup> Pierre François Joseph Amoros (1770-1848) fu un militare e pedagogo francese del XIX secolo, considerato il fondatore della ginnastica moderna.

<sup>17</sup> Thomas Arnold (1795-1842) fu un pedagogista e teologo inglese, rettore della scuola di Rugby e padre dello sport moderno.

## 2.2 DIFFERENZA TRA ATTIVITA' FISICA ED ESERCIZIO FISICO

In primo luogo, è fondamentale distinguere i seguenti concetti: cosa si intende per “attività fisica” ed “esercizio fisico”?

Ogni movimento corporeo prodotto dal muscolo scheletrico, che si traduce in un dispendio energetico misurabile in kilocalorie, si definisce **attività fisica** (Caspersen et al. 1985). Caspersen classifica le attività fisiche svolte nella vita di tutti i giorni in diverse categorie, come ad esempio quelle legate allo sport, alle attività domestiche e al lavoro. Questo concetto generale ci consente di affermare che la quantità di massa muscolare coinvolta è proporzionale al dispendio energetico, il quale è costituito nel suo insieme di tre componenti principali: metabolismo basale, o RMR (*Resting Metabolic Rate*), termogenesi o DEE (*diet-induced energy expenditure*), ossia l'energia spesa dall'organismo per assimilare il cibo, ed infine proprio l'attività fisica. Questa rappresenta il 20-30% del dispendio energetico totale e per quantificarla si possono utilizzare diversi indicatori, come la frequenza, la durata e l'intensità (Vanhees et al. 2005). In un rapporto del 1992 dell'American Heart Association, l'inattività fisica è stata identificata come il quarto fattore di rischio modificabile per una patologia caratterizzata dall'accumulo di placche di colesterolo ed altri materiali nelle arterie deputate al rifornimento di ossigeno al cuore: la malattia coronarica (Fletcher et al. 1996).

Quando l'attività fisica viene ad essere svolta con lo scopo di migliorare la salute o la forma fisica, tramite un'attenta programmazione ed in modo ripetitivo, parliamo di **esercizio fisico**. Spesso questi due termini vengono utilizzati interscambiabilmente, d'altronde tutti gli esercizi comprendono attività fisica, ma non tutte le attività fisiche possono essere considerate esercizio. La pubblicazione “*Physical Activity Guidelines for Americans*” (Piercy et al. 2018) mette in luce diversi studi riguardanti i benefici per la salute dell'attività fisica: si afferma un minor rischio di incorrere in esiti negativi per la salute anche con un piccolo quantitativo di attività fisica (poco meglio di nulla). D'altra parte, maggiori sono le componenti dell'attività fisica (intensità, frequenza e durata), maggiori saranno i benefici, sia che si parli di attività aerobica sia di rafforzamento muscolare. In conclusione, la pubblicazione afferma come gli effetti benefici apportati dall'esercizio fisico siano superiori ai potenziali rischi avversi.

## 2.3 FITNESS, WELLNESS E SALUTE

Il testo “Principi di metodologia del fitness” (Paoli et al. 2013) pone l’attenzione sull’origine biologica del termine *fitness*, definito come il successo riproduttivo di un individuo dato dalla sua capacità di modificare il proprio comportamento e le proprie azioni per adattarsi alle condizioni dell’ambiente circostante, e sulla sua evoluzione.

È il 1921 quando Sargent propone il salto verticale come test per misurare la forza espressa dagli arti inferiori (Sargent, 1921): da questo momento, le metodiche di valutazione della forma fisica hanno subito enormi cambiamenti. L’*American Academy of Physical Education* definisce la *physical fitness* (forma fisica) come la capacità di eseguire le normali attività quotidiane con energia e rapidità, senza affaticarsi eccessivamente, avendo le forze necessarie per svolgere attività ricreative e per affrontare emergenze che richiedono uno sforzo fisico improvviso (Clarke, 1979). Tutto ciò, negli anni, è diventato oggetto di un dibattito che si è concluso in un’importante distinzione tra una componente “organica” ed una “motoria”: quest’ultima si riferisce allo sviluppo delle capacità motorie “grossolane” per la performance, mentre la componente organica è indicata come una capacità di adattamento, riferita quindi al modello biologico e nello specifico alla capacità di recuperare le forze dopo uno sforzo strenuo. Queste due componenti ci permettono di distinguere una *fitness* maggiormente legata al concetto di salute ed una a quello di performance. La *fitness* correlata alla salute (*health-related fitness*) è considerata l’abilità di portare a termine le attività di ogni giorno in modo energico e vitale tale da ridurre il rischio di sviluppare precocemente malattie legate alla sedentarietà. Secondo la classificazione proposta da Caspersen (Caspersen et al., 1985) le componenti della *fitness* legata alla salute sono: l’endurance cardiorespiratoria, l’endurance muscolare, la forza muscolare, la composizione corporea e la flessibilità. Le componenti della *fitness* legate alle performance motoria, invece, comprendono quelle componenti volte allo sviluppo e/o miglioramento della prestazione motorio-sportiva ottimale: le capacità proprie di questa *fitness* sono la forza isometrica, la potenza, la velocità, l’agilità, l’equilibrio e la coordinazione occhio-mano (Vanhees et al., 2005) (Vedere Figura 5 per schema varie componenti).

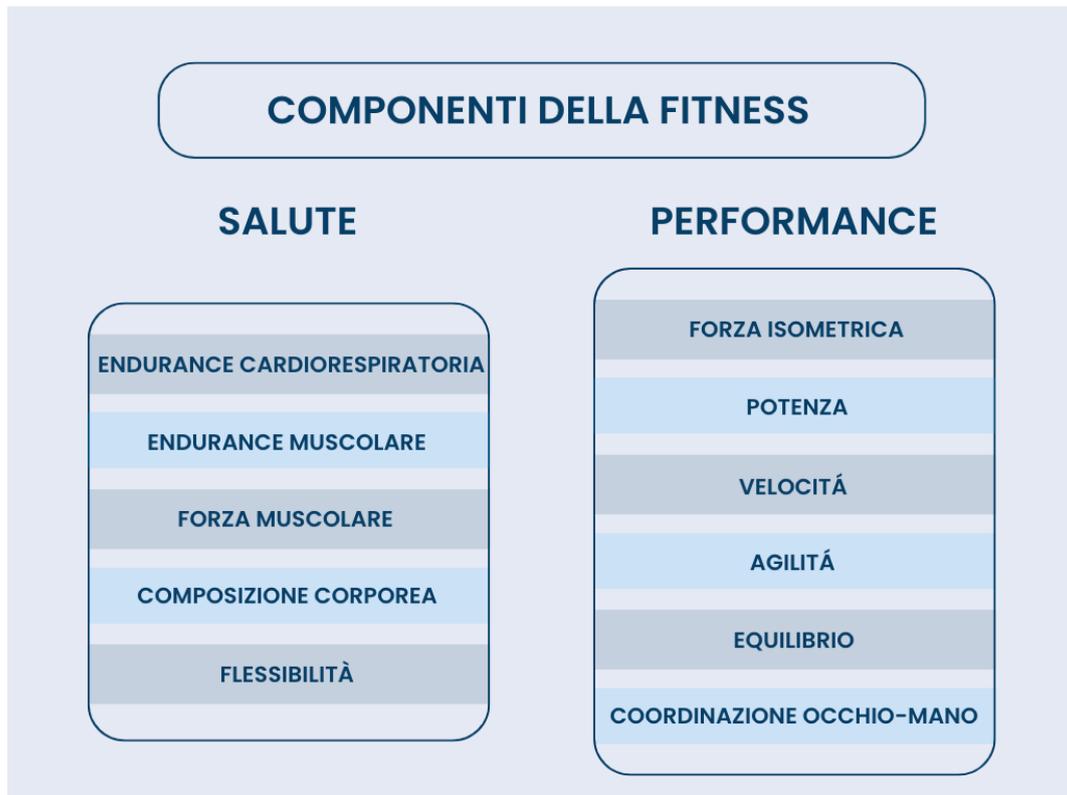


Figura 5. Componenti della Fitness suddivise tra Salute (Caspersen) e Performance (Vanhees).

Avere una forma fisica migliore, in tutte le componenti della *fitness* correlata alla salute, come sottolineato dal “*Physical Activity Guidelines for Americans*”, è associato ad un minor rischio di mortalità da tutte le cause, soprattutto per malattie cardiovascolari e croniche, come il diabete di tipo 2 e l’ipertensione: a tal proposito è utile definire adeguatamente ogni costituente (Piercy et al., 2018).

**Endurance cardiorespiratoria (*Cardiorespiratory endurance*):** L’endurance cardiorespiratoria, nota anche come resistenza cardiorespiratoria o resistenza aerobica, indica la capacità del sistema cardiovascolare e respiratorio di lavorare in modo efficiente durante l’esercizio fisico prolungato. Durante attività come la corsa, il nuoto o il ciclismo, i muscoli richiedono un costante apporto di ossigeno per produrre energia. L’endurance cardiorespiratoria si riferisce alla capacità del corpo di fornire ossigeno ai muscoli e di eliminare l’anidride carbonica e altri sottoprodotti attraverso i sistemi cardiovascolare e respiratorio (32). Diversi studi (Blair et al., 1996; Carnethon et al., 2005) hanno provato come una fitness cardiorespiratoria ridotta sia associata allo sviluppo di malattie cardiovascolari ed in generale a tutte le cause di mortalità; al contrario, lavorare sulla fitness cardiorespiratoria permette un miglioramento dello stato di salute globale. Questa

capacità si può misurare tramite la valutazione del massimo consumo di ossigeno ( $VO_2max$ ), il quale rappresenta la quantità massima di ossigeno utilizzabile in un dato periodo di tempo per eseguire un determinato sforzo (Vincent et al., 2002).

**Endurance muscolare (*Muscular endurance*):** Questa capacità, definibile anche come resistenza muscolare, si viene a riconoscere per l'abilità del muscolo, o di un gruppo di questi, di resistere a forze esterne il più a lungo possibile (Vaara et al., 2012). Questo viene reso possibile grazie ad un efficace utilizzo del glicogeno come fonte di energia, a fronte di una minima produzione di sostanze di scarto, tale da permettere nel tempo la continua contrazione del muscolo senza andare incontro ad esaurimento o fatica. Il meccanismo responsabile dell'endurance muscolare agisce a livello locale, differenziandosi dalla capacità aerobica (comprendente l'organismo in toto): una quantità maggiore di mitocondri e sangue a livello del muscolo saranno fondamentali per lo sviluppo di uno sforzo muscolare duraturo (32).

**Forza muscolare (*Muscular strength*):** l'esecuzione di una singola contrazione volontaria che porti alla massima espressione di forza, contro una resistenza, definisce la forza massimale (Vaara et al., 2012). A seconda del tipo di contrazione, se concentrica, eccentrica o isometrica, è possibile misurare questa qualità in diversi modi: comunemente si parla di forza massimale concentrica e si può valutare eseguendo una massima ripetizione (1 RM o *one repetition maximum*). La forza massimale accompagna lo sviluppo della potenza e si va a ritrovare in diversi gesti sportivi quali il salto, la corsa ed il cambio di direzione (Williams et al., 2017).

**Composizione corporea (*Body composition*):** La descrizione qualitativa e quantitativa dei costituenti della massa corporea, come l'acqua, il grasso ed il muscolo, è definita composizione corporea. Nel 1992, Wang, descrive la composizione corporea in 5 livelli: atomico, molecolare, cellulare, tissutale e sistemico ed infine l'intero sistema fisiologico (Wang et al., 1992). Un'importante suddivisione è quella definita dalla massa grassa (FM o *fat mass*) e dalla massa libera da grasso (FFM o *fat free mass*): a seconda dei modelli compartimentali delineati da Wang è possibile dividere ulteriormente questa partizione. La composizione corporea è un fattore di grande importanza per la salute e lo sport. Ad

esempio, dalla ginnastica artistica al sollevamento pesi viene richiesto il mantenimento di un peso specifico: grazie ad una precisa valutazione della composizione corporea ed all'affiancamento di una dieta adeguata sarà possibile raggiungere gli obiettivi prefissati, che siano rivolti allo sport o al benessere (Campa et al., 2021).

**Flessibilità (*Flexibility*):** Altra componente fondamentale della *physical fitness*, oggetto di numerosi studi, spesso contrastanti tra loro, è la flessibilità. Questa qualità, specifica per ogni articolazione, comprende numerose sfaccettature e per comprenderla al meglio è bene introdurre il concetto di mobilità, ovvero la capacità di un'articolazione (o di un gruppo di esse) di consentire il movimento attraverso l'intero arco di movimento (ROM o *range of motion*) tale da raggiungere la massima ampiezza possibile. Lavorare sul ROM richiede l'intervento di fattori muscolari, tendinei e legamentosi, nonché della loro elasticità e flessibilità: l'elasticità è la proprietà del muscolo di ritornare alla sua lunghezza originale dopo aver subito un allungamento, mentre la flessibilità è l'abilità del muscolo di lasciarsi allungare e va ad influenzare direttamente il ROM e quindi la mobilità. Quando ci si muove attraverso il ROM di un'articolazione senza enfasi sulla velocità parliamo di flessibilità statica o passiva, al contrario, quando il movimento viene ad essere eseguito ad una specifica velocità si parla di flessibilità dinamica, più rilevante negli sport in quanto rappresenta libertà di movimento (Corlin e Noble, 1984).

Negli ultimi anni, il concetto di "*fitness*" si è evoluto e si è integrato nell'idea più ampia di "*wellness*", che rappresenta un approccio globale al benessere. In passato, la salute era spesso vista semplicemente come l'assenza di malattie o disturbi, ma oggi viene considerata come uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale. (OMS, 1978). La visione più moderna di salute e benessere è rappresentata da un modello a sei dimensioni capace di indirizzare le persone verso uno stile di vita sano che le possa portare al successo nella propria vita personale e professionale. Questo modello, il quale viene talvolta utilizzato da soggetti con responsabilità al fine di creare un ambiente di lavoro efficiente e che favorisce una società migliore, è articolato in una componente *fisica*, composta dalla cura della persona e da uno stile di vita corretto, un aspetto *emotivo*, ovvero la gestione dei propri sentimenti, una parte *spirituale*, composta da valori e volontà, un fattore *sociale*, dove si diventa protagonisti del proprio contributo alla

comunità, un concetto *occupazionale*, volto alla crescita personale per mezzo della professione ed infine una dimensione *ambientale* (Wickramarathne et al., 2020). Il soggetto in salute che è in grado di dare valore alle proprie risorse, che siano personali, sociali o fisiche, sarà quello capace di cambiare il proprio stile di vita rendendolo equilibrato dal punto di vista funzionale, fisico e psicologico.

## 2.4 IL PRINCIPIO F.I.T.T.

Nel momento in cui vi è la necessità di stilare un programma di allenamento o di prescrivere esercizio fisico, qualsiasi sia l'obiettivo, non si può fare a meno del cosiddetto *F.I.T.T. principle*: onde evitare il sovrallenamento o più in generale un esercizio non efficace ci si serve dei parametri principali dell'allenamento, i quali sono mutuamente dipendenti l'uno dall'altro. Come ottenere allora un adattamento dell'organismo ottimale? Attraverso la modulazione delle seguenti variabili: frequenza, intensità, tempo e tipologia di esercizio (Garber et al., 2011). Il principio F.I.T.T., utile alle persone che vogliono migliorare la loro fitness e prezioso sia per i professionisti, sia per coloro che gestiscono pazienti con gravi patologie, fornisce gli elementi necessari per rendere l'esercizio fisico uno strumento atto a migliorare la salute, come se ci si sottoponesse ad una cura farmacologica per ottenere lo stesso beneficio (Billinger et al., 2015). Analizziamo qui di seguito ogni variabile:

Quante volte ci si allena? La risposta a questa domanda è definita dalla **frequenza**. A seconda dello scopo per il quale un soggetto si allena va a definirsi il numero di sedute settimanali, volte a creare uno stimolo che provochi un adattamento dell'organismo senza però andare incontro ad un carico di lavoro eccessivo. Le raccomandazioni basate sulle evidenze vanno a delineare una frequenza ideale a seconda del tipo di esercizio fisico. Quando si parla di esercizio aerobico vengono ad essere consigliate almeno cinque sedute settimanali di esercizio ad intensità moderata, mentre tre o più se l'esercizio è di intensità vigorosa: per comprendere al meglio l'intensità dell'allenamento citiamo le definizioni del sistema PASSI, dove indica l'attività moderata come responsabile di un leggero aumento della respirazione e del battito cardiaco, mentre l'attività vigorosa provoca un grande aumento di questi parametri o un abbondante sudorazione (33). Per l'allenamento

contro resistenza, invece, si incoraggia l'allenamento di due o tre volte settimanali per ogni grande gruppo muscolare (Garber et al., 2011). È fondamentale tenere conto, durante la programmazione dell'allenamento, delle giornate di riposo: queste renderanno possibile il recupero e l'adattamento da parte dell'organismo.

Se il volume definisce l'aspetto quantitativo dell'allenamento, la misura qualitativa è data dall'**intensità**. Questa variabile, come suggerito dal significato della parola stessa, indica la quantità di sforzo fisico che viene espressa dal soggetto mentre si svolge una specifica attività (Paoli et al., 2019). Il grado di impegno espresso dal soggetto identifica quindi l'intensità, la quale può essere: *riferita al carico*, ad esempio in sala pesi si misura il peso sollevato in chilogrammi (valore assoluto) o in percentuale del carico massimale (valore relativo), oppure *soggettiva*, quando rappresenta la fatica che la persona avverte durante l'attività indipendentemente dal carico utilizzato (ad es. *Rate of Perceived Exertion, Borg Scale*).

Da queste definizioni emergono immediatamente due possibili approcci per valutare e misurare l'intensità dell'allenamento: uno oggettivo ed uno soggettivo. Il primo analizza misure fisiche per ricavarne l'intensità dell'allenamento, come la frequenza cardiaca, il consumo di ossigeno, l'equivalente metabolico del lavoro, il carico sollevato e la velocità espressa. Il secondo invece si basa sulla percezione soggettiva di difficoltà dell'esercizio tramite, ad esempio, la scala di Borg e il respiro affannoso con il Talk Test.

Riassumiamo ora brevemente le caratteristiche delle principali variabili più comunemente utilizzate per la definizione dell'intensità di esercizio:

- *Frequenza Cardiaca*: una delle variabili più facilmente misurabili/quantificabili è proprio la frequenza cardiaca, la quale è in grado di fornire informazioni sull'intensità e sul tipo di metabolismo utilizzato. Calcolare la frequenza cardiaca di lavoro sarà uno strumento molto utile che permetterà di allenarsi secondo i propri obiettivi, e per farlo è necessario conoscere la frequenza cardiaca massima teorica, ottenibile dalla formula:

$$FC \text{ MAX} = 208 - (0.7 * \text{età})$$

Kenneth Cooper attribuisce direttamente alla frequenza massima la percentuale di lavoro desiderato, mentre Karvonen (1957) tiene conto della soggettività tramite la misurazione della frequenza cardiaca a riposo (FC<sub>rip</sub>), calcolando la frequenza cardiaca di lavoro (FCT) con la seguente formula:

$$FCT = (FC_{max} - FC_{rip}) * \% \text{ desiderata} + FC_{rip}$$

In base agli adattamenti fisiologici desiderati andrà scelta una determinata percentuale di lavoro, inoltre all'aumentare dell'intensità varierà il substrato energetico (Paoli et al., 2019).

- *Consumo di Ossigeno*. La frequenza cardiaca mira a stimare, anche se non del tutto in maniera precisa, il consumo di ossigeno, il quale può altrimenti essere misurato direttamente grazie all'ausilio del metabolimetro. Quando si parla di massimo consumo di ossigeno (VO<sub>2</sub>max) si intende la massima quantità di O<sub>2</sub> captabile, trasportabile ed utilizzabile dall'organismo principalmente grazie al sistema aerobico, raffigurando quindi la capacità di generare ed utilizzare energia. L'unità di misura varia a seconda della distinzione tra VO<sub>2</sub>max assoluto e relativo: quest'ultimo risulta preferibile per la popolazione generale e si esprime in riferimento al peso corporeo [ml/kg/min]. Il VO<sub>2</sub>max, quando espresso in % rispetto al suo utilizzo, è un ottimo indicatore dell'intensità a cui si è sottoposti in una data attività.
- *Equivalente Metabolico del lavoro*. Indice efficace per la prescrizione di attività motoria ed utile per monitorare l'intensità dell'esercizio è il MET (*Metabolic Equivalent of Task*), ovvero l'equivalente metabolico di una qualsiasi attività che comporti un consumo di energia. Questa metrica ampiamente utilizzata si basa la quantità di energia utilizzata a riposo, equivalente a 3,5 ml di ossigeno per kg di peso corporeo al minuto, per stimare la spesa energetica in altre attività. Le linee guida raccomandano l'utilizzo del MET per determinare le diverse intensità di esercizio: leggera < 3 METs, moderata da 3 a 5.9 METs, vigorosa > 6 METs (Mendes M.D.A et al. 2018). Vedere Figura 6 per i carichi di lavoro in MET rispetto all'attività (Paoli et al., 2019).

Carichi di lavoro caratteristici	
ATTIVITA'	MET
Sdraiato, a riposo	0.8
Seduto, a riposo	1
Attività sedentaria (ufficio, abitazione, laboratorio, a scuola)	1.2
In piedi, a riposo	1.2
Attività leggera in piedi (laboratorio, industria leggera)	1.6
Attività media, in piedi (vendita, lavoro domestico, lavoro su macchinari)	2
Attività pesante (lavoro pesante su macchinari, garage)	3

Figura 6. Carichi di lavoro caratteristici (Paoli et al. 2019. *Principi di metodologia del fitness*. Forlì: Erika editrice).

- IRM:** quando si parla di intensità relativa al carico, conoscere la % di lavoro rispetto all'1RM è funzionale e permette una corretta programmazione dell'allenamento contro resistenza. La prova di ripetizione massimale è un test da campo molto conveniente che consente inoltre di valutare la forza muscolare negli esercizi multi-articolari. È fondamentale seguire una corretta progressione nel giungere al massimo peso sollevato in una ripetizione ma soprattutto va mantenuta una corretta esecuzione. È considerato il test *gold standard* per la misurazione della forza dinamica ed eventualmente, a seconda dei soggetti coinvolti, può essere misurato tramite un protocollo indiretto, il quale andrà a stimare l'1RM in base ad uno sforzo submassimale. Per giunta, questo test rispecchia maggiormente le azioni intraprese nella vita quotidiana: si compone infatti di azioni dinamiche, comprensive delle fasi concentrica ed eccentrica, ossia movimenti naturali (Grgic et al., 2020).

- *Scala di Borg*, “Vedere Figura 7”. Gunnar Borg, ricercatore svedese, ha ideato uno strumento per misurare lo sforzo percepito (RPE, *Rate of Perceived Exertion*): la scala di Borg. Questa misurazione si affida all’esperienza vissuta dall’individuo praticante una determinata attività fisica, il quale può sperimentare un aumento di diversi parametri, tra cui la frequenza cardiaca, la respirazione e la sudorazione (Williams, 2017). Il punteggio è indice della sensazione individuale di sforzo e può essere utilizzato da solo come parametro per la prescrizione di attività fisica (Paoli et al., 2019)

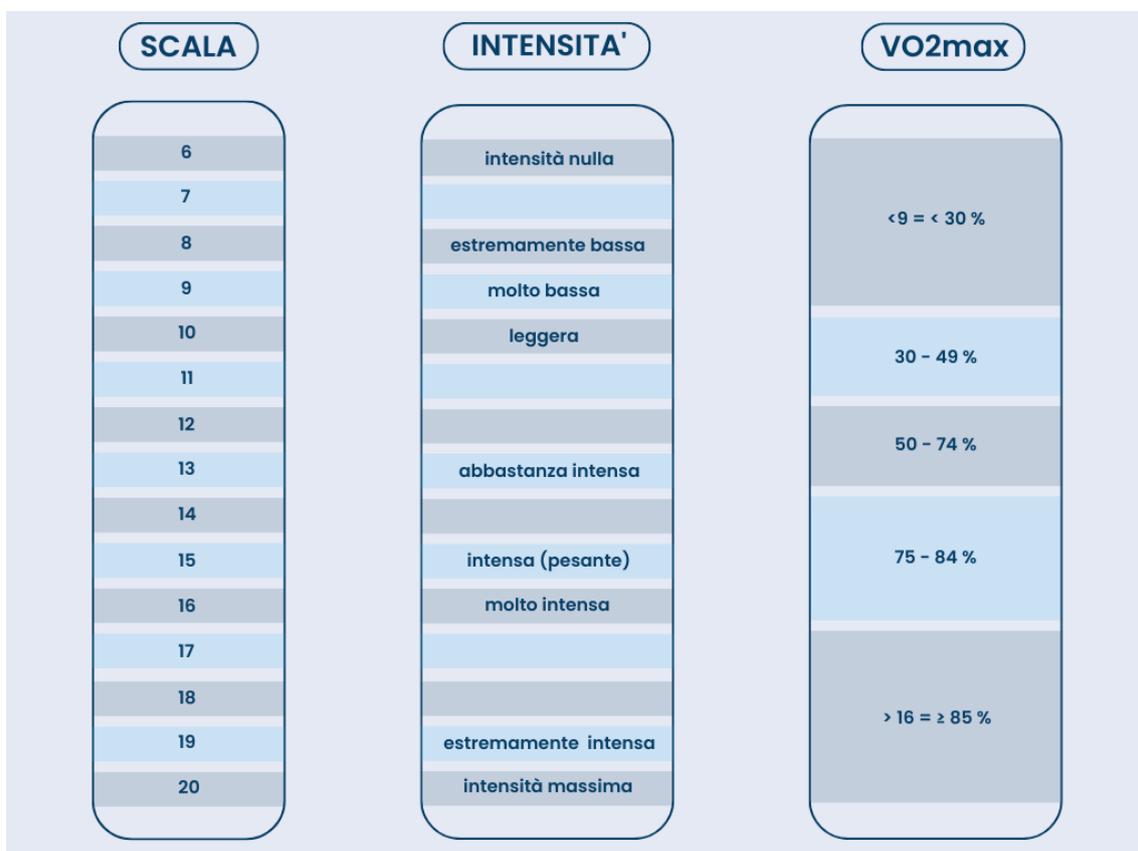


Figura 7. Scala di RPE o di Borg per la valutazione dello sforzo percepito (Paoli et al. 2019. Principi di metodologia del fitness. Forlì: Erika editrice).

- *Talk test*: anch’esso metodo di valutazione dell’intensità soggettivo, si basa sulla difficoltà riscontrata nel parlare durante l’esecuzione di un esercizio. La conversazione non è impegnativa? Allora l’intensità sarà bassa. Con l’aumento della difficoltà a mantenere una conversazione si andrà a considerare sempre più

elevata l'intensità: questo rende il test valido, affidabile, fruibile e soprattutto non costoso, tale da renderlo utilizzabile da pazienti ad atleti (Reed e Pipe, 2014).

Misurare l'intensità dell'esercizio è fondamentale per combinare le capacità degli individui alle richieste metaboliche associate all'attività in oggetto (Williams, 2017). Per facilitare questa valutazione, sono stati sviluppati dei metodi di misurazione che sono stati appena menzionati. Questi metodi offrono un modo semplice, comodo ed accessibile per determinare questo importante parametro. Di seguito le linee guida, a seconda dell'attività svolta (Garber et al., 2011).

Si raccomanda, per un'attività aerobica, un'intensità da moderata a vigorosa per la maggior parte degli adulti, ad esclusione dei soggetti decondizionati, i quali possono trovare beneficio anche da un'attività meno intensa. Per un'attività contro resistenza si consiglia invece l'utilizzo di diversi carichi riferiti al proprio massimale a seconda dei soggetti:

- 60-70% 1RM per l'aumento della forza in novizi ed intermedi
- 80% 1RM per migliorare la forza in esperti
- 40-50% 1RM per gli adulti più anziani che approcciano a tali esercizi e per individui sedentari
- <50% 1RM per migliorare l'endurance muscolare
- 20-50% 1RM negli anziani per aumentare la potenza

Quanto dura la sessione di attività fisica? Una determinata quantità di **tempo**, la quale contribuirà al totale dell'energia spesa e sarà quindi oggetto di pianificazione per creare un allenamento il più adatto possibile all'individuo ed alle sue esigenze. I suggerimenti per l'attività aerobica propongono un minimo di 30-60 minuti al giorno di esercizio moderato (150 minuti a settimana), 20-60 minuti al giorno per l'esercizio vigoroso (75 minuti a settimana) oppure, per la maggioranza della popolazione adulta, una combinazione di essi. In realtà, anche un tempo inferiore a 20 minuti al giorno può risultare con molti benefici alla salute per tutte le persone sedentarie. Parlando di esercizio contro resistenza non si definisce un tempo ideale per l'allenamento: mediamente una seduta dura dai 45 minuti all'ora di tempo (Garber et al., 2011). La durata

dell'allenamento è un parametro da gestire in base all'esperienza e agli obiettivi, tiene conto di diversi fattori, come l'età, e dipende soprattutto dal tipo di esercizio svolto: una camminata veloce sarà diversamente impegnativa da una corsa e da un giro in bicicletta.

In che attività andiamo a spendere le nostre energie? Quali aspetti del nostro organismo puntiamo a migliorare? Per scegliere al meglio l'attività più congrua alle richieste esposte si sceglie una **tipologia** di esercizio specifica:

- *Esercizio Aerobico (Cardiorespiratory exercise)*. Quando l'obiettivo è il miglioramento della funzione cardiorespiratoria e dell'endurance si praticano attività comprendenti molti gruppi muscolari portando all'aumento della frequenza cardiaca, della pressione sanguigna, del consumo di ossigeno e quindi di energia (Howley, 2001). Attraverso la partecipazione a tale forma di esercizio nel tempo, il corpo umano si adeguerà alle richieste tramite un miglioramento della funzionalità di cuore e polmoni: in questo modo i muscoli saranno maggiormente ossigenati e capaci quindi di sostenere l'esercizio per più tempo. Le attività tipiche sfruttate nell'esercizio cardiovascolare variano dalla camminata, alla corsa, al nuoto e al ballo (Campanino, M. Allenarsi alla salute).
- *Esercizio Anaerobico*. Se l'attività richiede l'utilizzo di riserve energetiche che coinvolgono principalmente processi biologici che convertono il glucosio (glicolisi) e producono acido lattico per consentire intensità elevate, si parla di esercizio anaerobico. Attività tipiche di questa tipologia di esercizio sono l'allenamento contro resistenza e l'allenamento intervallato (Howley, 2001).
  - *Resistance training*. Questa tipologia di esercizio è specifica per aumentare la forza, la potenza e la resistenza muscolare: attraverso la variazione del carico, delle ripetizioni, delle serie e del recupero sarà possibile dosare accuratamente questo allenamento (Howley, 2001). La forza muscolare si esprime generando tensione contro una resistenza esterna, la resistenza, invece, è la produzione di forza da parte del sistema muscolo-scheletrico protratta nel tempo. Allenare la muscolatura e la forza è essenziale e si riflette nella vita di tutti i giorni tramite attività di spinta,

di tirata, di sollevamento e di trasporto. Inoltre, è noto come quest'attività favorisca un aumento della densità ossea, con i molteplici benefici che ne conseguono. I classici metodi per eseguire un allenamento contro resistenza (*Resistance Training*) sono costituiti da esercizi con l'ausilio di attrezzi o macchinari, oppure, direttamente l'utilizzo del proprio peso corporeo (Campanino, M. Allenarsi alla salute).

- *HIIT*. Una tipologia di allenamento, spesso utilizzata a fini dimagranti e allo scopo di aumentare l'efficienza fisica, consiste nell'alternare lavori a bassa intensità, dove la frequenza cardiaca si aggirerà intorno al 60-70% della FCmax per pochi minuti, a stazioni ad elevata intensità per un breve periodo di tempo, con frequenze cardiache prossime alla massima teorica, ovvero tra l'80 e il 90% della FCmax (Paoli et al., 2019) Viene chiamato allenamento intervallato ad alta intensità, o più comunemente HIIT (*High Intensity Interval Training*), e se dosato adeguatamente, studiando il programma e adattandolo alle condizioni del soggetto, porta a numerosi benefici che incrementano la qualità della vita: molti studi sottolineano una maggiore efficacia rispetto all'allenamento continuo a intensità moderata (MICT, o *Moderate Intensity Continuous Training*), il quale per molti anni è stato il Gold Standard per i pazienti affetti da malattie cardiovascolari (Ito, 2019).
  
- *Flessibilità (Flexibility exercise)*. Quando si mira a migliorare o mantenere l'ampiezza dei movimenti di muscoli e articolazioni, l'esercizio più adatto è l'allenamento alla flessibilità: attraverso posizioni statiche o azioni dinamiche si andrà a migliorare la capacità di svolgere le attività più comuni, questo grazie al potenziamento della mobilità articolare. È sempre bene dosare questo tipo di esercizio, in quanto da un lato allenare la flessibilità permette la correzione di posture errate e la prevenzione di danni alla muscolatura e alle articolazioni, d'altra parte un'eccessiva flessibilità rischia di essere la causa di infortuni, soprattutto se non viene ad essere bilanciata con forza e stabilità muscolare (Kim et al., 1996). La flessibilità risulta inoltre fondamentale nell'allenamento della

forza allo scopo di sfruttare l'intero range articolare negli esercizi: viene infatti solitamente posta all'inizio o alla fine della sessione allenante con lo scopo di preparare muscoli, tendini e legamenti alle attività che li attendono, oppure, per favorire il *cool down*, o defaticamento (Campanino, M. Allenarsi alla salute).

- *Allenamento neuromotorio (Neuromotor exercise training)*: L'*American College of Sport Medicine* definisce l'allenamento neuromotorio con l'obiettivo di migliorare le capacità motorie di base come equilibrio, coordinazione, andatura e agilità, con lo scopo di sviluppare una buona consapevolezza del proprio corpo. Questo allenamento, che può essere praticato insieme a metodiche di resistenza e flessibilità, viene svolto in quelle pratiche come il *tai chi*, il *gigong* e lo *yoga* (34). Non ci sono limiti alla varietà di esercizi e attività che possono incorporare i diversi elementi dell'allenamento neuromotorio, al quale è importante dedicare almeno 2-3 giorni alla settimana, per 20 o 30 minuti a sessione (Bushman e Robinett, 2022).

Il *F.I.T.T. principle* consente un'adeguata programmazione, ma allo scopo di orientarsi al risultato si possono prendere in considerazione molti altri fattori: noti sono quelli del *sovraccarico* e della *progressione*. Per produrre un adattamento risulta necessario andare oltre le capacità di un individuo, nello specifico il termine sovraccarico punta a scalare la soglia definita, andando a variare carichi ed intensità nelle attività proposte. Nella pratica, attraverso l'aumento dei parametri del principio F.I.T.T. sarà possibile indurre un sovraccarico e quindi una progressione, la quale dovrà sempre essere calibrata, pena il rischio di infortuni (Campanino, M. Allenarsi alla salute).

## **CAPITOLO 3**

# **DIABETE DI TIPO 1 ED ESERCIZIO**

Data la sempre maggiore prevalenza del diabete a livello globale, la necessità di linee guida affidabili riguardo alla sua prevenzione e trattamento è impellente più che mai. Sono numerosi i ricercatori impegnati tutt'oggi allo studio di questa patologia, rivelatasi ormai da tempo strettamente correlata nello stile di vita: avere indicazioni chiare ed aggiornate rende possibile una convivenza serena con la malattia, evitando o gestendo quanto più possibile le complicazioni ad essa associate.

Per quanto riguarda il diabete mellito di tipo 1 (T1D, o *type one diabetes*), ad oggi non esistono metodi che ne possano prevenire la comparsa; infatti, in questa casistica l'attenzione si rivolge quasi esclusivamente alle modalità di intervento deputate al trattamento: è sempre bene ricordare come diversi studi suggeriscano un possibile legame tra la manifestazione della malattia, il patrimonio genetico e la composizione corporea (Bakay et al., 2019; Zajec et al., 2022).

Dopo l'iniezione di insulina, sempre di vitale importanza, il “*game changer*” che permette al paziente diabetico di tipo 1 una vita nettamente migliore è l'esercizio fisico: quali sono le sue implicazioni? Cosa vuol dire per un paziente approcciarsi all'esercizio e qual è il modo migliore per farlo? Per rispondere a queste domande la ricerca scientifica ci offre, grazie anche alle tecnologie odierne, gli studi più recenti e accurati in merito.

Le persone sane, mentre si allenano, mettono il proprio organismo sotto stress al fine di creare un adattamento, e a seconda dell'esercizio e dell'intensità scelta intervengono diversi meccanismi atti a sostenere il metabolismo del carburante preferenziale: tra questi vi sono processi deputati al controllo del livello di glucosio ematico (glicemia), principalmente di natura ormonale, fortemente compromessi nei pazienti con T1D.

Questi, quando svolgono attività fisica, possono incorrere in molteplici problematiche che si traducono in una rottura dell'equilibrio glicemico: soprattutto in esercizi protratti nel tempo, un'eccessiva quantità di insulina in circolo, spesso causata da un'errata somministrazione, può persino bloccare il rilascio di glucosio nel sangue portando ad ipoglicemia; d'altra parte, se l'insulina presente a livello plasmatico è scarsa, verranno

scatenate una serie di risposte ormonali che porteranno ad iperglicemia, soprattutto in esercizi intensi (Zinman et al., 2003).

Il timore di non riuscire a gestire la glicemia durante l'allenamento allontana le i pazienti affetti da T1D dalla possibilità di migliorare la propria salute, tanto che una percentuale significativa si trova in uno stato di sovrappeso o eccesso ponderale (BMI > 25), soffre di pressione alta (ipertensione) e riscontra livelli anormali di lipidi nel sangue (Riddell et al., 2017).

L'esercizio fisico regolare in questa popolazione fu introdotto, con effetti particolarmente benefici, come terapia per il T1D centinaia di anni fa; già Areteo di Cappadocia (II secolo) aveva notato che i malati di diabete avevano una caratteristica in comune: mostravano una diminuzione della forza muscolare e dell'efficienza fisica. La mancata produzione di insulina ed un aumento dei livelli di glucagone inducono un innalzamento della spesa energetica, favoriscono una diminuita sintesi proteica e provocano un aumento della velocità di degradazione delle proteine: nei casi in cui la malattia non venga trattata adeguatamente, a lungo andare ne consegue una perdita o riduzione della massa muscolare con tutte le problematiche ad essa associate. Diversi studi hanno dimostrato l'efficacia dell'attività fisica, se accompagnata da una corretta gestione della glicemia, nel prevenire l'atrofia muscolare con l'obiettivo di favorire la produzione di nuove proteine atte a sostenere l'organismo (Galassetti e Riddell, 2013).

Vi sono innumerevoli evidenze che supportano il ruolo benefico dell'esercizio fisico regolare nel paziente con T1D (Paragrafo 3.3), ma quali sono i rischi ai quali va incontro?

### 3.1 RISCHI, PRECAUZIONI E BENEFICI

Prima delle scoperte scientifiche che hanno illustrato i meccanismi fisiologici dell'organismo in risposta all'esercizio fisico, si pensava, erroneamente, che i pazienti diabetici non dovessero fare alcuna attività fisica. Infatti, si era convinti che l'esercizio fisico potesse provocare uno sbilanciamento della glicemia con conseguenti complicanze per la salute. Grazie alle più recenti scoperte (Lu e Zhao, 2020; Colberg et al., 2016), è possibile somministrare la dose e la quantità più adeguata di esercizio a seconda delle necessità individuali, tanto da permettere un netto miglioramento nella gestione della malattia. Il primo medico, tra l'altro diabetico, ad associare la propria patologia all'attività fisica scrisse nel 1830 il libro "*Memoires d'un diabetique*", dove riferiva essere solito a dedicarsi alla corsa dopo un pasto abbondante. Nel 1926 Lawrence, anch'esso medico affetto da diabete mellito, affermò una maggiore efficienza nella risposta della glicemia all'iniezione di insulina se veniva praticata attività fisica (Corigliano et al., 2016). Da qui l'esercizio fisico si è dimostrato un valido mezzo per migliorare il trattamento in coloro affetti da T1D: nel caso di T1D è essenziale effettuare un'attenta anamnesi del soggetto, in modo tale da adottare le corrette misure di precauzione e di massimizzare gli effetti benefici. L'attenzione va posta soprattutto in quei pazienti che convivono con il diabete da molti anni, in quanto soggetti a maggior rischio di sviluppare tutte le complicanze croniche della malattia. Il pericolo, per questa popolazione di soggetti, è che non venga diagnosticata la presenza di malattie cardiovascolari: in questo caso aumenta il rischio di morte improvvisa durante esercizio, anche se la sua incidenza rimane relativamente ridotta per gli individui dove la malattia è sotto controllo (Orchard e Costacou, 2010).

Prima di addentrarsi nella prescrizione di esercizio fisico potrebbe essere necessario dunque avvalersi di specifici test da sforzo nel caso in cui il paziente abbia avuto precedentemente complicanze cardiovascolari.

Esistono dei casi in cui si nega assolutamente l'esercizio fisico ad alta intensità, come nel caso di dolore al petto, e situazioni dove risulta la necessità di ulteriori accertamenti medici, ad esempio con la presenza di dispnea da sforzo o anche di problemi intestinali. Il rischio di andare incontro a complicanze durante l'attività fisica vigorosa rispetto a quella leggera è stato valutato superiore di circa 3,5 volte: tuttavia il rischio globale è

inferiore nei pazienti con T1D fisicamente attivi rispetto ai sedentari (Mittleman et al., 1993).

Altre controindicazioni si riferiscono agli stati avanzati della malattia, ove lo sviluppo di disfunzioni all'apparato renale, retinopatie, neuropatie e di altre difficoltà necessitano di un'approfondita analisi medica che possa definire i parametri entro i quali l'allenamento deve sottostare per risultare benefico: ad esempio, per i soggetti che hanno sviluppato un certo grado di retinopatia diabetica si consiglia un allenamento che mantenga la pressione sistolica entro determinati valori o persino l'astensione nel caso di un peggioramento della condizione (Burr et al., 2010).

Quando è giunto il momento di iniziare l'attività fisica ma risulta uno stato di elevato glucosio nel sangue (iperglicemia) va valutata la possibilità di astenersi dall'esercizio in quanto questo potrebbe innalzare ulteriormente la glicemia: da una parte l'iperglicemia può essere gestita con un'iniezione di insulina e quindi non essere una controindicazione. Esiste comunque una condizione in cui l'attività fisica intensa va evitata o almeno ritardata: è il caso dell'aumento dei livelli di chetoni, i quali possono causare chetoacidosi (Galassetti e Riddel, 2013).

Data l'incapacità di mantenere un buon controllo dei livelli ematici di glucosio, il rischio di andare incontro ad ipoglicemia durante l'esercizio fisico nei pazienti con T1D è notevole. Numerosi studi hanno identificato le precauzioni necessarie per far fronte a tale situazione, tra cui una minor dose di insulina in previsione dell'allenamento, l'assunzione di carboidrati a rapido assorbimento e l'utilizzo della terapia insulinica sottocutanea continua con microinfusore (*Continuous subcutaneous insulin infusion*, o *CSII*). Questa tecnologia permette ai pazienti con T1D un miglior controllo della glicemia e soprattutto permette una maggior prevenzione di episodi ipoglicemici, i più frequenti durante e dopo l'esercizio (Buczkowska et al., 2005).

Salvo casi eccezionali, è importante incoraggiare le persone che vivono con il T1D, come quelle sane, alla pratica di ogni tipo di attività fisica poiché i benefici per la salute sono gli stessi per entrambi: oltre al miglioramento nella gestione della patologia, l'esercizio fisico svolto regolarmente aumenta l'aspettativa di vita e diminuisce la possibilità di andare incontro a patologie di qualsiasi natura (Codella et al., 2017).

Per riassumere, è importante evidenziare il rapporto tra rischi e benefici per i pazienti con T1D. Nonostante la malattia possa influire sulle risposte dell'organismo all'esercizio

fisico, è fondamentale sottolineare che può al massimo limitare gli aspetti benefici apportati dall'esercizio, ma non eliminarli completamente (Galassetti e Riddel, 2013).

### 3.2 T1D, GLICEMIA ED ESERCIZIO

Quali sono le implicazioni del T1D sul controllo glicemico durante l'esercizio?

La Figura 8 schematizza le varie risposte della glicemia in seguito all'esercizio:

1. Euglicemia: Si verifica una diminuzione del rapporto tra insulina e ormoni controregolatori (glucagone, catecolamine, ecc.) che permette un aumento della produzione di glucosio e del suo utilizzo da parte del muscolo scheletrico.
2. Iperglicemia: Si verifica quando l'intensità dell'esercizio è superiore all'80% del VO<sub>2</sub>max, se viene sospesa l'amministrazione di insulina o se è presente uno stress derivante dalla competizione. Per prevenire questa condizione, è possibile aumentare le dosi di insulina prima dell'esercizio o ridurre l'assunzione di carboidrati durante e dopo l'attività fisica (35).
3. Ipoglicemia: si verifica quando il consumo di glucosio da parte dei muscoli supera la produzione di glucosio da parte del fegato, e l'insulina è troppo elevata rispettivamente al tipo e all'intensità dell'esercizio. Questa situazione può essere evitata riducendo le dosi di insulina prima e aumentando l'assunzione di carboidrati durante e dopo l'esercizio fisico (Cockcroft et al., 2020).

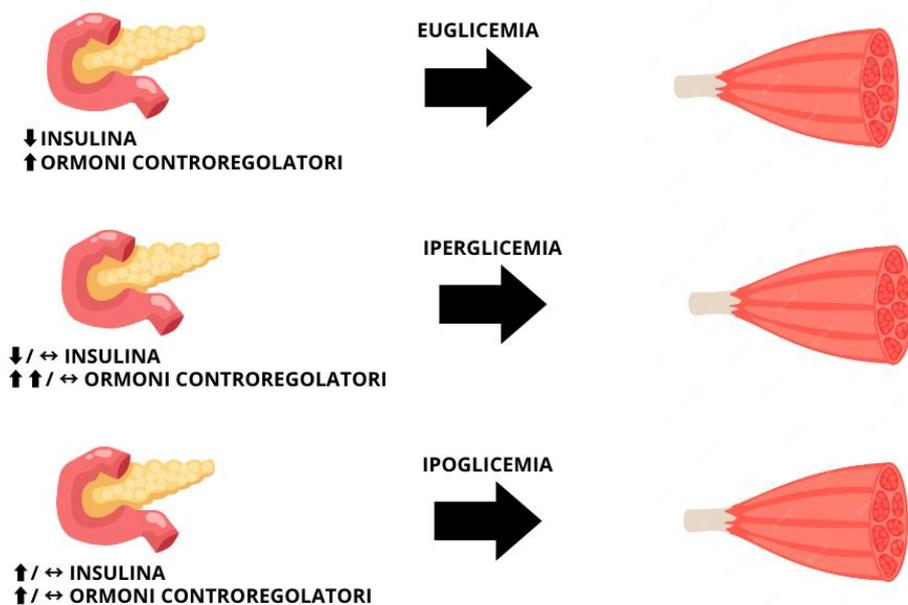


Figura 8. Variazioni della glicemia in risposta all'esercizio (Galassetti e Riddel, 2013).

È essenziale monitorare i livelli di glicemia prima, durante e dopo l'esercizio al fine di prevenire sia l'ipoglicemia che l'iperglicemia da esercizio. In base ai valori misurati, si possono adattare le dosi di insulina e l'assunzione di carboidrati (Riddel e Perkins, 2009).

Analizziamo subito la situazione caratteristica e determinante **l'iperglicemia**: la mancanza di insulina (ipoinsulinemia) non permette ai muscoli di captare e utilizzare glucosio. Di conseguenza, essi utilizzeranno gli acidi grassi a scopo energetico (lipolisi), causando da un lato un aumento dei livelli di glucosio ematico (iperglicemia) e un possibile stato di chetoacidosi (chetogenesi).

Un'attività fisica vigorosa, in seguito alla produzione di glucosio nel fegato e alla limitazione nello smaltimento del glucosio ematico, porta alla produzione di catecolamine e cortisolo: i pazienti con T1D non hanno la capacità di bilanciare l'aumento di queste sostanze con una maggior produzione di insulina andando quindi incontro all'iperglicemia (Codella et al., 2017).

Questa si accompagna ad uno stato di disidratazione e può contribuire ad un aumentato livello di corpi chetonici e di acidi grassi liberi nel sangue rendendo il muscolo sempre meno efficace nell'utilizzare il glucosio. Tale condizione è ancora più evidente per l'esercizio ad alta intensità, dove anche i soggetti sottoposti ad elevate dosi di insulina sono incapaci di evitare l'iperglicemia.

Ogni soggetto risponde a questo stato in modo diverso: il rischio di ipoglicemia nelle ore successive all'allenamento rende diffidenti alcuni pazienti all'utilizzo di insulina, soprattutto rapida.

Dalla definizione di stato iperglicemico possiamo dedurre che l'esercizio fisico può provocare un aumento del glucosio ematico: la presenza di fattori stressanti va a favorire la produzione di catecolamine, le quali giocano un ruolo fondamentale per la suddetta fluttuazione glicemica. Nonostante questo, esistono diverse strategie per praticare esercizio anche in presenza di T1D: a prova di ciò vi sono numerosi atleti che hanno dimostrato la possibilità di proseguire in una carriera con le medesime possibilità dei propri avversari sani.

Tra questi il nuotatore *Gary Hall Jr.* ed il canottiere *Sir Steven Redgrave*, che sono stati premiati con la medaglia d'oro alle Olimpiadi per ben cinque volte, Jason Johnson che ha

avuto una carriera di successo nel baseball professionistico e il triatleta Bill Carlson, che ha completato con successo numerose gare Ironman (36).

Ad ogni modo l'iperglicemia, causando un'inflammazione, può diminuire gli effetti benefici dell'esercizio fisico: per questo motivo sono oggetto di studio le strategie atte a prevenire l'insorgenza di tale condizione. Nonostante questo, l'iperglicemia non è considerata una controindicazione all'esercizio, tale per cui al suo verificarsi è comune proseguire ugualmente con l'allenamento, adottando se necessarie diverse soluzioni (Galassetti e Riddel, 2013).

Se la concentrazione di glucosio ematico scende al di sotto di 60 mg/dL, a causa di una produzione eccessiva di insulina e/o di un utilizzo repentino di glucosio per sostenere una spesa energetica, l'organismo di una persona sana attua dei meccanismi con l'obiettivo di compensare la condizione di **ipoglicemia**.

Normalmente, il glucagone è responsabile del ripristino a valori normali di glucosio ematico: con il passare del tempo i pazienti affetti da T1D perdono totalmente la capacità di riequilibrare la glicemia attraverso il rilascio di glucagone (Caprio et al., 1992). Per il soggetto con T1D è difficile regolare la dose di insulina in previsione dell'allenamento, tanto che molti privilegiano una minor quantità di insulina esogena per evitare l'ipoglicemia a favore dell'iperglicemia, meno sintomatica.

Un'altra causa plausibile di ipoglicemia può verificarsi quando il luogo di iniezione dell'insulina si trova in concomitanza ad un gruppo muscolare particolarmente coinvolto nell'esercizio fisico, tale da comportare un assorbimento rapido e un conseguente abbassamento della glicemia (Berger et al., 1978).

Anche se lentamente, il corpo di una persona con T1D riesce comunque a produrre delle risposte compensatorie all'ipoglicemia: un altro ormone che accompagna il glucagone nella risposta contro regolatoria è l'adrenalina, capace di promuovere l'innalzamento della glicemia. Purtroppo, anche tale meccanismo non è del tutto efficace, infatti, rispetto alle persone sane, i livelli di adrenalina sono molto inferiori (Popp et al., 1982).

Una grande sfida che vede protagonista il paziente con T1D è il circolo vizioso per il quale gli episodi ipoglicemici avvengono con frequenza sempre maggiore: la causa è imputabile sia all'eccesso di insulina esogena che all'attività fisica (Powers et al., 2015).

In seguito ad un allenamento lungo e intenso, il corpo acquisisce una maggior sensibilità all'insulina e aumenta il consumo delle riserve muscolari di glicogeno: questa situazione può portare a eventi ipoglicemici, soprattutto durante il sonno (Reddy et al., 2018). Diverse ricerche (Sane et al., 1988; Riddell et al., 1999) hanno proposto delle strategie con lo scopo di attenuare l'ipoglicemia notturna: un'ottima soluzione consiste nella regolazione della somministrazione di insulina, oppure nell'assimilare dei carboidrati in concomitanza dell'allenamento (Galassetti e Riddell, 2013) (Vedere Figura 9).

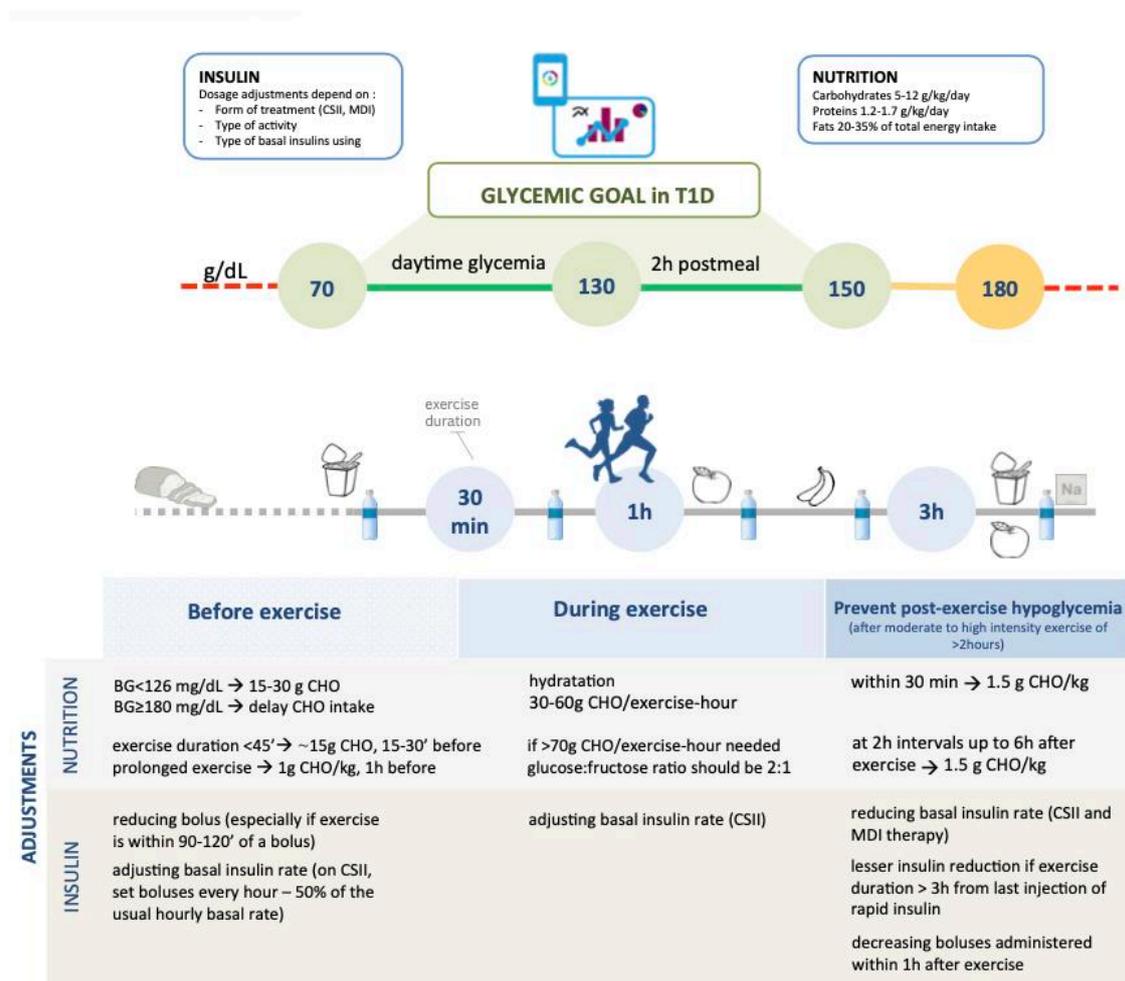


Figura 9. Linee guida per il mantenimento di un buon controllo glicemico in vista dell'esercizio. Codella et al., 2017

Visto che il T1D è rappresentato da una popolazione di giovane età possono essere utili degli spunti pratici da seguire al fine di permettere una pratica serena dell'esercizio fisico (37):

- Informare l'insegnante di educazione fisica o l'allenatore della situazione in modo tale da personalizzare le varie attività e sensibilizzare il giovane per un corretto riconoscimento della sintomatologia di ipo- ed iper-glicemia in modo tale da intervenire adeguatamente.
- Prima di praticare l'esercizio è bene controllare la glicemia, consumando uno spuntino se necessario ed assicurandosi di avere a portata di mano carboidrati a lento e rapido rilascio.
- Durante l'esercizio controllare la glicemia ogni 30 minuti o meno per attività intense ed assumere carboidrati a lento rilascio se la glicemia scende al di sotto dei 100 mg/dL
- Una volta terminato l'allenamento e controllata la glicemia potrà essere necessario assumere dei carboidrati a lento rilascio per prevenire l'insorgenza di ipoglicemia ritardata.

L'attenta valutazione di ogni caso consentirà una gestione migliore possibile delle fluttuazioni glicemiche, alterate dalla presenza della patologia, con lo scopo di mantenere più elevati possibili i benefici della pratica regolare di esercizio fisico.

### **3.3 BENEFICI DELL'ESERCIZIO FISICO NEL T1D**

In passato, gli studi condotti sugli effetti dell'esercizio fisico nel T1D erano limitati, spesso di durata breve e mancavano di dettagli riguardanti i parametri dell'esercizio, i dosaggi di insulina e l'alimentazione sostenuta (Chimen et al., 2012).

Tuttavia, negli ultimi anni, sono stati condotti numerosi studi (Ostman et al., 2018; Wu et al., 2019) che hanno approfondito molti aspetti inesplorati in precedenza.

Grazie a tali studi, sono emerse nuove informazioni che hanno contribuito a migliorare la comprensione dei benefici dell'esercizio nel T1D, sottolineando l'importanza di continuare a sostenere l'investimento di risorse nella ricerca per ampliare ulteriormente le nostre conoscenze su questo argomento.

I dati raccolti sino ad oggi permettono la pratica sicura di esercizio fisico per i soggetti con T1D come parte integrante del trattamento della patologia.

Le revisioni condotte da Ostman (2018) e Yardley (2014) analizzano i principali benefici indotti dall'esercizio fisico in questa popolazione, ponendo l'attenzione alla variazione dei livelli del massimo consumo di ossigeno (VO<sub>2</sub>max), dell'emoglobina glicata (HbA1C%), dei dosaggi di insulina giornalieri (IU/kg), del profilo lipidico (LDL, HDL e trigliceridi), del peso corporeo (e associazione con BMI) e della massa muscolare.

- **VO<sub>2</sub>max**: questo valore, riferito alla capacità del corpo di captare, trasportare ed utilizzare ossigeno per produrre energia, indica la “*cardiorespiratory fitness*” (CRF) ed è relativamente basso nei pazienti con T1D rispetto alle persone sane, molto probabilmente per le conseguenze della malattia sull'organismo. Molti studi hanno riportato un miglioramento di questo parametro successivamente ad un programma di allenamento mirato, tra cui quello condotto da Mosher et al (1998): un gruppo di 20 adolescenti, 10 con T1D e 10 non diabetici, sono stati sottoposti per 12 settimane ad un lavoro di resistenza ed endurance misto. Il gruppo dei ragazzi diabetici, con una VO<sub>2</sub>max iniziale mediamente inferiore di 1.1 mL/kg/min rispetto al gruppo di controllo (rispettivamente  $40.5 \pm 5.8$  contro  $41.6 \pm 6.7$ ), ha avuto un incremento medio di 4.3 mL/kg/min ( $44.8 \pm 5.2$  contro  $46.6 \pm 7.2$ ). Un altro studio (Brazeau et al., 2014) si è concentrato nel proporre un protocollo di allenamento di una seduta a settimana per 12 settimane ad un gruppo di 48 soggetti dai 18 ai 65 anni con T1D e precedentemente sedentari. La seduta, di intensità non specificata, prevedeva 1 ora di esercizi misti (flessibilità, endurance e resistenza) seguita a mezz'ora di educazione teorica sull'importanza del movimento. Dopo 12 settimane, tra i vari effetti benefici, il VO<sub>2</sub>max è incrementato mediamente del 14% ( $p= 0.003$ ), suggerendo così che il paziente con T1D può rispondere in modo positivo all'esercizio andando a migliorare la propria CRF.
- **HbA1c**: la misura dell'emoglobina glicata permette la valutazione del controllo glicemico. Per questo è stata oggetto di numerosi studi allo scopo di valutarne una sua variazione indotta dall'esercizio fisico: purtroppo, a differenza del diabete di tipo 2, dove l'esercizio migliora questo parametro, la maggior parte degli studi non ha dimostrato un cambiamento significativo nei pazienti con T1D (Ostman et al., 2018)

- **Insulina esogena:** molte ricerche che hanno analizzato l'effetto di diversi tipi di allenamento nel T1D mostrano una diminuzione della necessità di insulina. Tra queste, Ramalho et al. (2006), in seguito ad un programma di allenamento della durata di dodici settimane, hanno riscontrato un minor fabbisogno insulinico a seconda delle risposte individuali prodotte dall'allenamento. Lo studio suggerisce che l'allenamento nel T1D può influenzare positivamente la gestione del diabete, potenzialmente riducendo la dipendenza dalla terapia insulinica. Tuttavia, è fondamentale tenere conto delle specificità individuali e lavorare in stretta collaborazione con il proprio medico per regolare l'insulina in modo appropriato. Anche lo studio condotto da D'hooge et al. (2011) ha ottenuto risultati simili: 16 adolescenti con T1D sono stati divisi in un gruppo di intervento (n=8) ed uno di controllo (n=8). Il gruppo di intervento ha praticato esercizio fisico combinato (aerobico e di resistenza), due volte alla settimana per 20 settimane, con la seguente progressione:

- *Aerobic training:* dal 60% (Week1) al 75% (Week 12) della FCmax
- *Resistance training:* 20 RM (Week1) fino a 12 RM (Week 12). Al diminuire del numero di RM (ripetizioni massimali) aumenta il carico, e quindi l'intensità.

Rispetto al gruppo di controllo, quello di intervento ha diminuito significativamente la quantità di insulina esogena giornaliera: si è passati da 0.96 IU/kg/giorno prima a 0.90 IU/kg/giorno dopo.

- **Lipidi:** la valutazione a livello ematico delle quantità di acidi grassi liberi, LDL e HDL permette uno screening corretto nella valutazione del rischio di malattie cardiovascolari, alle quali il paziente con T1D è particolarmente soggetto. L'esercizio fisico, come dimostrato da molti studi, tra cui quello di Lehmann et al., (1997), permette anche nel soggetto con T1D un miglioramento dei seguenti valori:
- LDL (lipoproteine a bassa densità, il cosiddetto colesterolo "cattivo"): una diminuzione del 14%
- HDL (lipoproteine ad alta densità, il colesterolo "buono"): un aumento del 10%

Lo studio di Lehmann ha compreso 20 partecipanti, divisi in un gruppo di controllo ed uno sottoposto ad un programma di allenamento di tre mesi, comprendente attività di resistenza, come ciclismo e corsa, per un minimo di 135 minuti settimanali (sessioni da 45 minuti), ad un'intensità media del 70% FCmax. Anche lo studio condotto da Laaksonen et al. (2000) ha rilevato un miglioramento del profilo lipidico con un programma di esercizio aerobico di 12/16 settimane: sono stati divisi 42 uomini con T1D in un gruppo di controllo (22) ed uno di intervento (20), con una progressione nell'intensità e nel volume di allenamento partendo dalla W1 con 20-30 minuti al 50-60% FCmax per 3 volte a settimana fino ad arrivare ad un tempo di 30-60 minuti con un'intensità del 60-80% FCmax per 4-5 volte a settimana. I livelli di LDL nel gruppo di intervento sono mediamente diminuiti, passando da  $3.15 \pm 0.81$  mmol/L a  $2.88 \pm 0.75$  mmol/L ( $p=0.048$ ), mentre quelli di HDL sono mediamente aumentati, passando da  $1.21 \pm 0.28$  mmol/L a  $1.32 \pm 0.28$  mmol/L ( $p=0.012$ ).

- **BMI e Massa Corporea:** sono parametri fondamentali da considerare per la gestione del T1D. Il mantenimento di un peso corporeo e di un BMI entro valori salutari può contribuire al miglioramento del controllo glicemico e alla riduzione delle complicanze associate al diabete. Una recente analisi dei vari studi disponibili (Ostman et al., 2018) ha evidenziato che, mentre negli adulti il peso corporeo ha subito una diminuzione significativa, nei ragazzi si è riscontrato un aumento: questo è stato causato da un incremento della massa muscolare, soprattutto in bambini con un BMI > 30 allenati con esercizi di resistenza (Van Der Heijden et al., 2010). È fondamentale evidenziare che negli adulti, una diminuzione della massa corporea, favorita da una corretta somministrazione di esercizio e un piano alimentare bilanciato, porterà a notevoli benefici anche sotto l'aspetto psicologico.
- **Muscolo scheletrico:** il paziente con T1D è soggetto ad un invecchiamento prematuro del muscolo scheletrico, associato ad una perdita di forza e ad alterazioni morfologiche delle fibre muscolari, come il raggruppamento delle fibre di tipo 1 (Dial et al., 2021). Lo studio condotto da Dotzert ed altri (2016) ha valutato l'effetto di un programma di esercizio fisico aerobico su 20 ratti con T1D ottenendo ottimi risultati: l'esercizio ha migliorato la forza muscolare ed ha modulato l'espressione genica di alcuni fattori coinvolti nella crescita e nel rimodellamento muscolare.

Come descritto nel *Capitolo 1* del presente elaborato, una possibile causa dell'insorgenza di T1D può derivare da un'inflammatione e uno stress ossidativo eccessivi tali da danneggiare le cellule deputate alla produzione di insulina: la reazione autoimmune responsabile della loro distruzione può essere favorita ulteriormente da stati ponderali eccessivi, infezioni ed altri fattori. Alcuni studi, anche se non del tutto certi, dimostrano come l'esercizio fisico possa rivestire una funzione protettiva diminuendo lo stress delle molecole ossidanti e regolando le sostanze che causano inflammatione. Secondo profonde analisi è emersa, grazie all'effetto antiinflammatorio dato dall'esercizio, la possibilità di allungare la "luna di miele". Questo è il periodo in cui esordisce il diabete ed il pancreas continua a produrre una certa dose di insulina: è temporaneo e grazie allo sport è possibile renderlo più duraturo (Codella et al., 2015).

Un altro importante aspetto positivo legato all'esercizio è il miglioramento sotto l'aspetto psicologico: le persone che si allenano, infatti, sembrerebbero avere una cognizione migliore della qualità della propria vita (Gillison et al., 2009). Spesso la motivazione che porta le persone ad allenarsi è la sensazione di benessere mentale: una volta che l'esercizio fisico diventa parte integrante della quotidianità si vanno ad instaurare abitudini sane, un maggiore autocontrollo e disciplina che saranno di notevole aiuto per le persone affette da T1D anche per gestire la propria patologia. Una volta iniziati gli allenamenti, i pazienti noteranno inoltre cambiamenti favorevoli nella composizione corporea, i quali saranno un ulteriore spunto e incoraggiamento per continuare ad impegnarsi. Nella realtà dei fatti, è molto difficile far seguire il programma di allenamento ai pazienti diabetici, soprattutto se nuovi alla malattia: il dover approcciarsi a nuove abitudini, come il controllo della glicemia e le iniezioni di insulina, potrebbe scoraggiare le persone, già in difficoltà, ad impegnarsi ulteriormente. Una strategia per indirizzare i pazienti nel modo più corretto è renderli consapevoli dei rischi a cui vanno incontro e dei potenziali benefici che l'attività fisica riserva loro (Jenkins e Jenks, 2017).

Interessante è notare come l'allenamento per i bambini e ragazzi con T1D sia essenziale in quanto favorisce la produzione dell'ormone della crescita, il GH: quest'ultimo è responsabile di una crescita lineare e di una maturazione ossea adeguata. La sua

produzione, nel soggetto con T1D, viene ad essere compromessa soprattutto al verificarsi di eventi ipoglicemici prima dell'allenamento. È essenziale spronare i giovani a praticare sport e attività fisica, soprattutto se con T1D, per sostenere quanto più possibile la produzione di questo ormone, evitando in futuro una muscolatura debole e una densità ossea ridotta (Galassetti e Riddel, 2013).

La figura 10 mette in luce gli effetti benefici dell'allenamento per i diabetici di tipo 1: nonostante siano molteplici, più della metà dei pazienti non pratica abbastanza attività fisica. Lo studio condotto da Brugnara ed altri (2023) ha confrontato, tramite l'utilizzo del questionario IPAQ-SF (*International Physical Activity Questionnaire-short form*) i livelli di esercizio fisico in 100 soggetti con T1D nel 2008 e nel 2018: solo il 46% nel 2008 ed il 42% nel 2018 delle persone raggiungevano i livelli raccomandati di esercizio. I motivi possono essere i più disparati; è certo che la confusione sulle raccomandazioni di esercizio fisico non aiuta: per questo motivo è importante raccogliere i principali tipi di allenamento consigliati e gli strumenti per massimizzare i benefici.

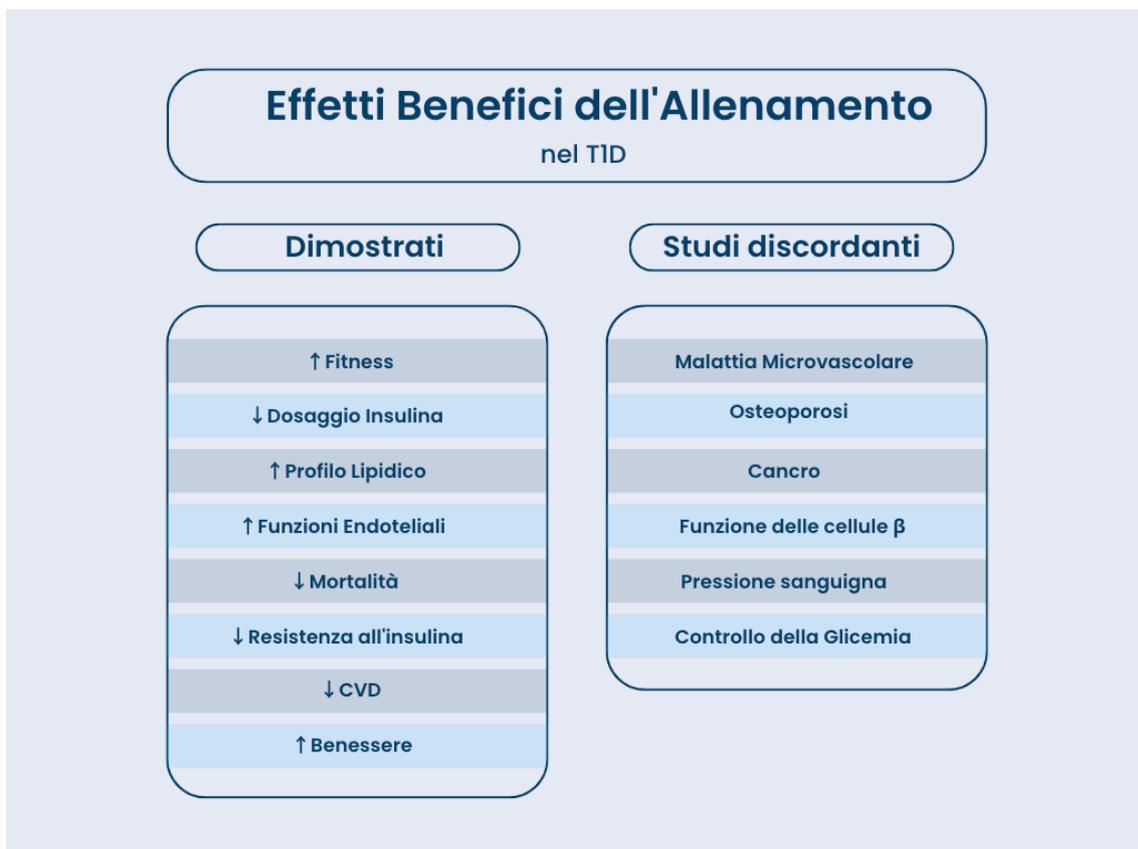


Figura 10. Effetti benefici dell'attività fisica nei diabetici di tipo 1. (Chimen et al., 2012)

### 3.4 ESERCIZIO FISICO NEL T1D

Definiamo finalmente, in base agli studi più recenti, i parametri dell'allenamento più efficaci al fine di esaltare i benefici dell'attività fisica nel T1D.

L'*American Diabetes Association (ADA)* consiglia ad ogni individuo con T1D di praticare esercizi sia di tipo aerobico, sia di resistenza che misto. Il focus principale nell'allenamento per il diabetico è l'omeostasi glicemica: se un'attività di tipo aerobico prolungata nel tempo abbassa la glicemia, un esercizio ad alta intensità e di breve durata la innalza, tanto da favorire attività miste (Colberg et al., 2016).

La programmazione dovrà tenere conto delle specificità individuali, soprattutto se intercorre la presenza di complicanze dovute alla malattia.

**Allenamento aerobico:** La raccomandazione fornita dall'ADA sprona sia gli adulti che i più giovani ad allenarsi ogni giorno per almeno un'ora ad intensità medio-alta, con una FC di lavoro compresa tra il 50 e il 70% della massima. Alla medesima intensità gli adulti dovrebbero svolgere delle sessioni allenanti per un minimo di 3 giorni a settimana (minimo 2 ore e 30/ a settimana) fino ad ogni giorno: l'importante è non eccedere i due giorni consecutivi di riposo. Nel caso della corsa, il tempo può essere ridotto al minimo di 1 ora e un quarto, suddividendo gli allenamenti in sessioni da poco meno di mezz'ora percorsa ad alta intensità (Colberg et al., 2016). Quando la gestione della glicemia nel paziente con T1D è buona, l'allenamento aerobico provoca i medesimi benefici indotte nella popolazione in salute. Se il controllo glicemico non è ottimale i benefici, anche se inferiori, favoriscono la vitalità e la durata della vita (Codella et al., 2017).

- **Allenamento contro-resistenza:** Anche in questo caso l'ADA fornisce le raccomandazioni per lo svolgimento di quest'attività, indicando un minimo di 2 o 3 giorni a settimana, ad intensità moderata (10-15 RM) o intensa(6-10RM). Deve intercorrere almeno un giorno di riposo tra una seduta allenante e l'altra, ed ognuna avrà le seguenti caratteristiche: vanno suddivisi tra i vari gruppi muscolari un minimo

di 8 esercizi composti da 1 a 3 serie, ognuna con almeno 10 ripetizioni ed un massimo di 15. Ogni serie ha l'obiettivo di portare il gruppo muscolare interessato vicino all'esaurimento (Colberg et al., 2016). Inoltre, nella popolazione più giovane, queste attività atte al potenziamento muscolare dovrebbero essere incluse nel loro contesto tramite l'ausilio dei giochi. Oltre ai benefici che offre il *resistance training*, il paziente con T1D trae diversi vantaggi da questa tipologia di allenamento: in primo luogo diminuisce la possibilità di andare incontro ad eventi ipoglicemici, inoltre, può contrastare la sua predisposizione a perdere massa muscolare (Codella et al., 2017).

- **HIIT:** l'allenamento intervallato ad alta intensità dovrebbe attirare l'attenzione dei soggetti con T1D e potrebbe addirittura essere preferito dalle due tipologie sopra citate in quanto richiede una quantità di tempo minore, spesso la principale ragione che allontana le persone dall'esercizio. Ad oggi, vi sono ancora pochi studi che hanno analizzato l'effetto dell'HIIT in una popolazione con T1D. A questo proposito, la mia attenzione è caduta sul recente studio di Alarcón-Gómez et al., (2021). Si sono analizzati gli effetti dell'allenamento HIIT, in questo caso utilizzando il cicloergometro, su 19 adulti con T1D precedentemente sedentari. I partecipanti sono stati sottoposti ad un programma di esercizio supervisionato per 3 volte a settimana per 6 settimane: il protocollo (2:1, dove gli intervalli ad alta intensità durano la metà di quelli di recupero) prevedeva, dopo un riscaldamento di 5 minuti, set da 30 secondi ad alta intensità (85% *Peak Power Output*, o PPO, parametro per valutare l'intensità) seguiti da un minuto di recupero (al 40% PPO). Il numero di set per allenamento è incrementato ogni due settimane (Vedere Figura 11).

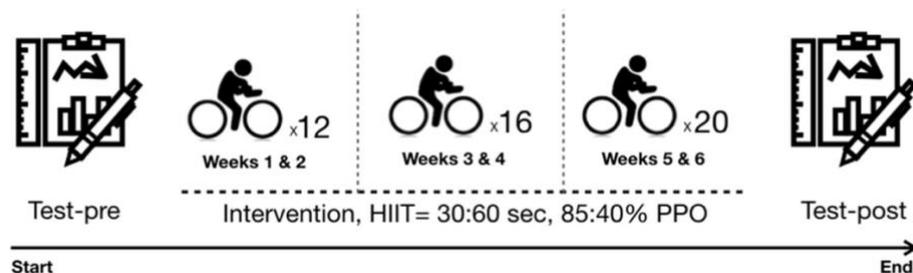


Figura 11. Struttura dell'allenamento nello studio condotto da Alarcón-Gómez ed altri 2021

I risultati sono stati eloquenti: appena 6 settimane di esercizio hanno portato a miglioramenti significativi nella salute, nella qualità del sonno e nel livello di piacere e motivazione nell'allenarsi. È stato utilizzato l'SF-36 (*Short Form-36*), questionario

ampiamente utilizzato per valutare l'effetto di un trattamento sulla salute generale, per misurare qualitativamente la qualità della vita prima e dopo l'intervento, mentre il PSQI (*Pittsburgh sleep quality index*), questionario validato per l'utilizzo a livello clinico e per la popolazione generale, al fine di rilevare la qualità del sonno.

Durante lo studio i soggetti non hanno variato l'assunzione di carboidrati o insulina rispetto al solito e non sono andati incontro a gravi episodi ipoglicemici, tanto da rendere questo allenamento sicuro per le persone con questa patologia.

Per esaltare al meglio i benefici dell'esercizio fisico diversi studi scientifici hanno chiarito il corretto utilizzo delle tecnologie più moderne: l'obiettivo è il mantenimento della glicemia all'interno dei valori normali. Per farlo è importante misurare frequentemente il livello di zucchero nel sangue tramite l'ausilio di strumenti appositi, in modo tale da regolare l'assunzione di insulina e carboidrati: a tal proposito la figura 9, basata sulle linee guida più recenti, propone le indicazioni utili per un controllo glicemico ottimale durante l'esercizio. Nel prepararsi all'attività fisica si consigliano più misurazioni della glicemia, mentre la si pratica, invece, è bene misurarla regolarmente, meglio se ogni mezz'ora. Anche una volta concluso l'allenamento continuare a monitorare la glicemia sarà importante in quanto il corpo avrà una migliore sensibilità all'insulina (McMahon et al., 2017). Lo strumento più utilizzato per la lettura della glicemia è un piccolo sensore sottocutaneo che legge i valori di glucosio dell'interstizio: questa soluzione è ottima nonostante i valori di glucosio ematico siano riscontrabili con un ritardo dai dieci ai venti minuti. La tecnologia continua ad evolversi ed un altro strumento utile a migliorare la qualità della vita nei diabetici di tipo 1 e di conseguenza i benefici dell'allenamento è l'utilizzo del CSII, il quale risulta più comodo e preciso rispetto alle classiche iniezioni e può essere regolato in funzione dell'allenamento. A tal proposito diversi studi hanno indagato l'utilizzo del CSII in associazione all'esercizio fisico: di particolare interesse è quello condotto da Taplin ed altri (2010), dove si è associata una minore incidenza di episodi ipoglicemici tramite l'utilizzo del microinfusore, in occasione di allenamenti in adolescenti con T1D. Questo sistema, in affiancamento alla supervisione di un professionista, è utilizzato in larga misura per gli atleti d'élite con diabete di tipo 1: una glicemia stabile gli permette l'espressione della massima performance sportiva (Galassetti e Riddel, 2013).

# CAPITOLO 4

## DIABETE DI TIPO 2 ED ESERCIZIO

### 4.1 PREVENZIONE

Il diabete di tipo 2 (T2D), che al giorno d'oggi rappresenta la maggior parte dei pazienti diabetici, non è solo un problema di salute: dato l'aumento incontrollato della sua incidenza ci sono anche ripercussioni economiche molto importanti. Un tempo la sua diagnosi interessava prevalentemente gli adulti, mentre ad oggi, a causa dello stile di vita per lo più sedentario, questa malattia viene sempre più spesso diagnosticata anche nei più giovani. Oltre al fattore genetico, derivante dall'etnia, il fattore che si è constatato essere il più impattante nell'insorgenza del T2D è lo stile di vita. A questo proposito, uno studio ha riportato una forte correlazione tra l'aumento del BMI, al di fuori di range salutari, ed il rischio di sviluppare questa patologia (Gray et al., 2015). Anche se la malattia si può sviluppare in assenza di uno stato ponderale eccessivo, l'elevata presenza di tessuto adiposo ha conseguenze negative sulla funzionalità dell'organismo: nello specifico, avvicinarsi al valore limite prestabilito dall'indice di massa corporea per l'obesità comporta un rischio di morte raddoppiato rispetto all'essere normopeso (*Prospective Studies Collaboration*, 2009). Ad oggi i fatti parlano chiaro: la maggior parte delle persone con T2D sono in sovrappeso od obese (Magkos et al., 2020). Viene da sé l'importanza di applicare strategie mirate al mantenimento di un peso corporeo ideale sia nei diabetici, al fine di ottenere numerosi benefici, tra cui un controllo glicemico ottimale, che per le persone in salute: l'insorgenza del T2D, infatti, a differenza della tipologia precedentemente trattata, si può prevenire in parte prevenire, andando tenendo sotto controllo o lavorando sui suoi potenziali fattori di rischio.

Già negli anni '80 cadde l'attenzione sulla prevenzione di questa patologia grazie all'Organizzazione Mondiale della Sanità (*Diabetes Mellitus, Report of a WHO Study Group*, 1985) e ad approfondire la correlazione tra i cambiamenti nello stile di vita e la prevalenza di T2D furono Mann ed altri (2004). A partire da questi studi i ricercatori hanno scavato ulteriormente fornendo la possibilità, ad oggi, di stilare delle linee guida per prevenire lo sviluppo del T2D e delle sue complicanze.

Ciò che è emerso significativamente dalle indagini è il pericolo a cui siamo sottoposti: la nostra società ci immerge sempre di più in attività sedentarie, le quali aumentano la possibilità di sviluppare problemi di salute. Nonostante la scienza ci fornisca le istruzioni più all'avanguardia per prendersi cura del proprio benessere, la tendenza mondiale si dirige verso l'aumento delle problematiche sanitarie, tra queste il diabete. Risulta necessario divulgare in modo ampio e deciso i rischi che si corrono assumendo uno stile di vita inattivo e allo stesso tempo le opportunità di cui siamo circondati.

Le barriere più comuni che ostacolano la pratica di attività fisica sono le più svariate: dalla mancanza di tempo, di motivazione, di strutture adeguate fino ai problemi di salute. Con l'impegno e il sostegno adeguato tutti questi ostacoli possono essere sormontati; infatti, ad oggi esistono programmi di allenamento efficaci e brevi, *coach* disposti a seguire il singolo o un gruppo nella pratica di attività fisica (per non menzionare le app sullo smartphone, alla portata di tutti e spesso gratis!) ed infine persone abilitate alla valutazione delle problematiche salutari per delineare un programma di allenamento sicuro e fruibile. Molti studi hanno inoltre dimostrato un'efficacia maggiore nella prevenzione e nel trattamento del T2D se l'esercizio fisico era svolto con la presenza di istruttori qualificati e attenti al loro gruppo (Colberg et al., 2010).

La ricerca ha dimostrato come la prevenzione del diabete di tipo 2 sia possibile attraverso modifiche allo stile di vita di persone a rischio: quali sono gli studi più importanti a riguardo? Abbiamo già analizzato alla fine del primo capitolo il *Da Qing Study*, il *Finnish Diabetes Prevention Study (DPS)*, l'*Indian Diabetes Prevention Program (IDPP)* ed il *Diabetes Prevention Program (DPP)* appurando che la prevenzione, inclusiva di modifiche allo stile di vita sotto forma di esercizio, dieta e talvolta soluzioni farmaceutiche, sia una soluzione reale e possibile. Gli studi appena citati furono eseguiti su campioni di popolazione non irrilevanti, contando diverse migliaia di persone, e i risultati vennero mantenuti per diversi anni a seguire (a patto di mantenere costanti le modifiche allo stile di vita). In letteratura vi sono numerosi altri studi condotti in questo ambito con ottimi risultati, tra questi lo studio giapponese di Kosaka et al. (2005) selezionò 458 uomini con intolleranza al glucosio dividendoli in un gruppo di controllo e uno di modifiche intensive allo stile di vita. Durante lo studio il gruppo d'intervento aveva come obiettivo il mantenimento di un BMI entro valori salutari (< 24 kg/m<sup>2</sup>), l'aumento di un apporto nutrizionale derivante da verdure e la rispettiva riduzione di alimenti grassi, del

consumo di bevande alcoliche, il tutto accompagnato da una dose maggiore di esercizio fisico (almeno mezz'ora al giorno ad intensità moderata, come una camminata). I risultati, con un abbassamento medio di 2.2kg di peso corporeo per il gruppo intervento e 0.4 kg per quello di controllo (già dopo un anno), hanno dimostrato una riduzione dello sviluppo di T2D nei 4 anni successivi del 67% rispetto al gruppo di controllo (Vedere Figura 12)

Cumulative incidence

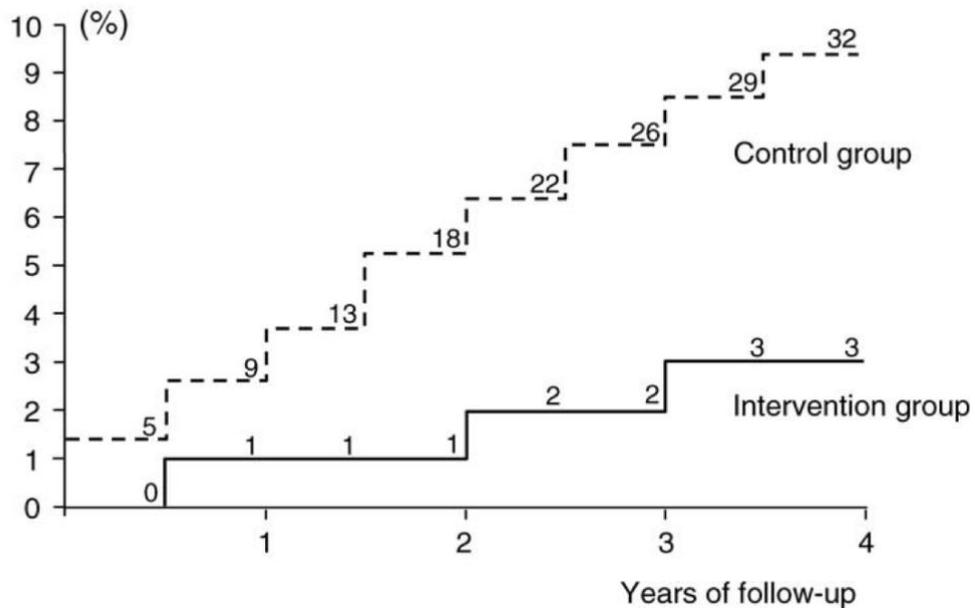


Figura 12. L'incidenza cumulativa del diabete nei gruppi di controllo e di intervento durante un periodo di follow-up di 4 anni. I numeri rappresentano la somma cumulativa delle persone con diabete nei gruppi di controllo e di intervento (Kosaka et al. 2005).

Uno dei primi studi a dimostrare l'efficacia dell'attività fisica nella prevenzione e gestione del T2D fu il *Malmö feasibility study* (Eriksson et al., 1991): 41 persone con uno stile di vita prevalentemente sedentario, un BMI > 25 kg/m<sup>2</sup> e con diabete di tipo 2 si sottoposero per 5 anni ad allenamenti settimanali progressivi sotto la supervisione di persone qualificate, oltre a ricevere dei consigli alimentari. I risultati dello studio rivelarono un miglioramento della salute dei partecipanti, un calo medio di 3kg di peso corporeo e per la metà delle persone l'assenza dei criteri diagnostici per il T2D: quest'importante traguardo pone l'esercizio fisico come strumento efficace anche nel lungo termine per la gestione del diabete di tipo 2.

Lo studio "ODES", *Oslo Diet and Exercise Study* (Torjesen et al., 1997), si è occupato di verificare l'effetto apportato da miglioramenti allo stile di vita su 219 persone insulino-resistenti per la durata di un anno: la strategia rivelatasi vantaggiosa per il miglioramento

della sensibilità all'insulina è stata la combinazione di un'alimentazione salutare e un adeguato esercizio fisico, suggerendo così l'importanza di condurre uno stile di vita sano per prevenire o migliorare uno stato di iperglicemia protratto nel tempo, evitando quindi danni all'organismo e lo sviluppo di patologie tra cui il diabete.

A concentrarsi sulla prevenzione del T2D in individui ad alto rischio e con diverse problematiche metaboliche sono stati Bo et al., (2007): hanno selezionato più di 300 italiani confrontando gli effetti derivanti dall'applicazione di raccomandazioni fornite da professionisti contro quelle date dai medici di famiglia. Il gruppo di intervento, con linee guida mirate ad un'alimentazione più adeguata e ad un'aumentata attività fisica ha riportato una minore incidenza di T2D e un miglioramento di diversi profili metabolici rispetto al gruppo di controllo.

Riprendendo invece il *Finnish Diabetes Prevention Study* (DPS), Penn et al., (2009) hanno riportato lo stesso modello ma in altre popolazioni europee, ottenendo, dopo più di 3 anni, una riduzione nell'incidenza di T2D del 55% in confronto al gruppo di riferimento: questo studio evidenzia ancora di più la possibilità di prevenire lo sviluppo di diabete in individui ad alto rischio, che in questo caso avevano un'alterata tolleranza al glucosio, tramite cambiamenti nelle abitudini quotidiane.

Il recupero dalla malattia stessa, inteso come una glicemia al di sotto dei valori patologici tale da non necessitare di farmaci per farne fronte, è stato associato in una moltitudine di studi alla perdita di peso. Tra questi lo studio DiRECT (*Diabetes Remission Clinical Trial*, 2019) si è occupato di fornire una possibile associazione dose-risposta tra la perdita di peso e il recupero dal diabete di tipo 2 in soggetti sovrappeso od obesi: i pazienti sono stati sottoposti ad una dieta ipocalorica (circa 6000 kcal alla settimana) per meno di 5 mesi per poi reintrodurre progressivamente una quota calorica adeguata. I risultati hanno dimostrato in modo evidente l'importanza della perdita di peso, prevalentemente di massa grassa, per far fronte alla patologia: tuttavia, mantenere per un lungo periodo di tempo una dieta ipocalorica senza altri interventi nello stile di vita è una grande sfida.

Ecco che la corretta pratica di attività fisica rende possibile avvicinarsi maggiormente alla perdita di peso desiderata, senza contare tutti gli altri effetti benefici che ha in serbo per le persone che la praticano: affiancare l'esercizio alla dieta risulta la scelta più sostenibile

nel tempo per permettere alle persone sane di continuare a giovare della propria salute ed ai soggetti con T2D di migliorare notevolmente lo stato della propria patologia.

A dimostrazione di ciò lo studio AHEAD (*Action for Health in Diabetes*), iniziato nel 2001, ha associato ad una restrizione calorica per mezzo della dieta l'attività fisica: i pazienti con una condizione fisica migliore hanno ottenuto gli esiti migliori, ovvero un tasso di recupero maggiore dal T2D (Magkos et al., 2020).

Accertato che l'esercizio fisico è un potente strumento per la prevenzione di molte patologie, se fino a poco tempo fa si considerava quasi unicamente l'allenamento di tipo aerobico, recenti studi hanno dimostrato l'efficacia del *resistance training* nella prevenzione del T2D: Dai et al. (2019) hanno riportato i medesimi risultati, in termini di riduzione nell'incidenza di T2D in persone con sindrome metabolica, sia per allenamenti aerobici che di resistenza e misti. Questa recente scoperta abbatte le barriere di tempo, spesso necessarie per una sessione aerobica, permettendo a più persone di poter praticare esercizio fisico nei contesti più vari.

## **4.2 DIFFICOLTÀ, RISCHI E PRECAUZIONI**

Korkiakangas et al. (2009) hanno realizzato per primi una raccolta sistematica ed approfondita delle difficoltà che incontrano le persone ad alto rischio di T2D o già affette da questa patologia a praticare attività fisica regolarmente: da una parte vi sono barriere esterne quali la scarsa conoscenza della propria patologia, l'indisponibilità di strutture sanitarie deputate alla gestione della malattia, la difficoltà a reperire risorse alimentari salutari e a disporre di soluzioni atte a promuovere il movimento, d'altra parte sono presenti delle barriere interne come la mancanza di disciplina e motivazione per modificare le proprie abitudini, la paura di effetti avversi derivanti dall'allenamento, dalle complicanze e da soluzioni farmaceutiche. Il fatto stesso di essere sovrappeso od obesi scatena molte reazioni diverse: vi è chi trova incoraggiamento dalla propria situazione per spronarsi a migliorare e chi è frenato da diverse paure, come il rischio di infortuni a causa della propria massa. A sostegno di ciò molti studi hanno rilevato un differente approccio all'attività fisica in base al proprio stato ponderale, ad esempio Deforche et al. (2006) hanno analizzato l'interesse per l'attività fisica in adolescenti con BMI > 25 kg/m<sup>2</sup> e hanno scoperto una motivazione inferiore per condizioni di peso più alte.

Analizzare individualmente la situazione ed il percepito di ogni persona risulta di grande importanza: sia a scopo preventivo che terapeutico, scoprire i possibili freni all'attività fisica per ogni persona permetterà di trovare le soluzioni migliori. Il miglior approccio risulta sempre nell'accompagnamento passo per passo del soggetto nel suo percorso verso un maggior benessere, spostando l'attenzione dai possibili rischi ai notevoli benefici dell'attività fisica.

A differenza del T1D, è raro che avvengano episodi ipoglicemici nei diabetici di tipo 2: il funzionamento delle cellule  $\beta$  del pancreas e la resistenza all'insulina provocano piuttosto livelli di insulina e glucosio ematici elevati. Se nel T1D l'assorbimento di glucosio a livello periferico dato dall'esercizio rischia di tramutarsi in episodi ipoglicemici, nel T2D questo rischio non sussiste per via della produzione di zucchero a livello epatico ridotta e soprattutto grazie all'aumentata assimilazione di glucosio da parte dei muscoli, visto un miglior metabolismo dei carboidrati (Pierce, 1999).

Il diabetico di tipo 2, che non riporta complicanze, può praticare attività fisica in tutta tranquillità e sono necessari test per valutare l'idoneità del paziente all'esercizio solo in alcuni casi (Vedere Figura 13). In generale si raccomanda una visita specializzata per valutare la possibilità di partecipare ad attività ad alto impegno metabolico nel caso di persone inattive.

**Indicazioni per i Test da Sforzo**

In generale, potrebbe essere indicato uno *stress test* per gli adulti che soddisfano uno o più dei seguenti requisiti:

<b>Età &gt; 40 anni, con o senza fattori di rischio per malattie cardiovascolari diverse dal diabete</b>	
<b>Età &gt; 30 anni e:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• TD1 o TD2 da più di 10 anni</li><li>• Ipertensione</li><li>• Fumatore</li><li>• Dislipidemia</li><li>• Retinopatia</li><li>• Nefropatia (microalbuminuria inculsa)</li></ul>
<b>Indipendentemente dall'età:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Malattia cardiovascolare, coronarica o delle arterie periferiche nota o sospettata</li><li>• Neuropatia autonoma</li><li>• Nefropatia avanzata con insufficienza renale</li></ul>

Figura 13. Indicazioni per i test da sforzo (tratto da: Kanaley et al., 2022).

Nell'approcciarsi all'attività fisica i diabetici di tipo 2 possono scontrarsi con delle difficoltà a causa della propria malattia: anche se l'ipoglicemia è un evento raro, può verificarsi qualora l'avanzamento della patologia necessiti di terapie farmacologiche. Con l'aggravarsi del T2D le cellule  $\beta$  del pancreas vanno incontro a degenerazione, causando perciò la necessità di insulina esogena, spesso causa di ipoglicemia correlata all'esercizio: come per il T1D sarà necessario adeguarsi, comprendere la risposta soggettiva dell'organismo all'esercizio in modo da somministrare la giusta dose di insulina in vista delle attività che seguono. Nonostante il rischio di ipoglicemia sia relativamente basso nei diabetici di tipo 2, per coloro che necessitano di insulina esogena è consigliabile tenere a portata di mano dei carboidrati, preferibilmente zuccheri a rapido assorbimento, ed è raccomandato evitare allenamenti intensi o che durino molto tempo per non andare incontro ad un abbassamento della glicemia finita la sessione allenante (Larsen et al., 1999; Kanaley et al., 2022).

D'altra parte, è doveroso preoccuparsi anche della situazione opposta, ovvero dell'iperglicemia: come per il T1D, se la glicemia fosse elevata prima di iniziare l'attività fisica sarebbe opportuno accertarsi che il livello ematico di chetoni non sia troppo alto. Tuttavia, le attuali linee guida danno il via libera all'esercizio se la persona con T2D si sente bene ed è idratata, ma solo di leggera intensità. Nello studio condotto da Gordon et al. (2016) si è visto come l'esercizio ad alta intensità, come l'allenamento HIIT, provochi un innalzamento della glicemia che perdura nel tempo: nella maggior parte dei casi non è un problema rilevante, ma se si necessita di un abbassamento della glicemia è possibile implementare una dose di esercizio a bassa intensità alla fine dell'allenamento, ovvero una fase di defaticamento, per diminuire la precedente elevazione glicemica. Il rischio di iperglicemia nel T2D durante l'esercizio è dovuto in parte all'incapacità dell'organismo di provvedere ad una corretta regolazione della temperatura soprattutto in ambienti caldi. Come per gli anziani, i diabetici di tipo 2, mentre praticano attività fisica fanno difficoltà a dissipare il calore attraverso la pelle e questo provoca un aumento del battito cardiaco e della temperatura, inoltre, alcuni farmaci possono peggiorare la situazione. Questa situazione, che non sussiste a riposo, dev'essere considerata dai pazienti, i quali possono sempre adattare il loro organismo anche a temperature più alte attraverso l'esercizio

regolare e adottare programmi di allenamento specifici che li aiutino ad eliminare il calore in eccesso, come quelli indagati da *de Lemos Muller* ed altri (2018) (Kanaley et al., 2022).

L'esercizio può essere praticato serenamente nella maggiorparte dei casi ed anche per quei soggetti con complicanze croniche, se pur con delle attenzioni particolari (Vedere Figura 14)

Precauzioni per le Complicanze Croniche	
<b>Neuropatia autonómica:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Essere consapevoli di una maggiore probabilità di ipoglicemia, risposte anomale della pressione sanguigna e compromissione della termoregolazione, nonché di un aumento del ritmo cardiaco a riposo e di un'attenuazione del ritmo cardiaco massimo</li> <li>• Si consiglia di utilizzare valutazioni della percezione dello sforzo (RPE) per monitorare l'intensità dell'esercizio</li> <li>• Prendere misure per prevenire disidratazione, ipertermia o ipotermia</li> </ul>
<b>Neuropatia periferica:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitare la partecipazione a esercizi che possono causare traumi ai piedi, come escursioni prolungate, jogging o camminata su superfici irregolari</li> <li>• Gli esercizi senza sovraccarico (ad esempio, ciclismo, esercizi sulla sedia, nuoto) possono essere più appropriati; Meglio evitare l'esercizio in acqua con ulcere non guarite sulla pianta del piede</li> <li>• Controllare quotidianamente i piedi per segni di traumi e rossore</li> <li>• Scegliere con cura scarpe e calze per una calzatura corretta e indossare calze che mantengano i piedi asciutti</li> <li>• Evitare attività che richiedono un'eccessiva abilità di equilibrio.</li> </ul>
<b>Retinopatia diabetica:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con la retinopatia proliferativa instabile e grave, evitare attività vigorose ad alta intensità che comportino la trattenuta del respiro (ad esempio, sollevamento pesi e isometria) o sollevamenti sopra la testa.</li> <li>• Evitare attività che abbassano la testa (ad esempio, yoga, ginnastica) o che la fanno sobbalzare</li> <li>• In assenza di un test da sforzo per misurare il ritmo cardiaco massimo, utilizzare la scala della percezione dello sforzo (RPE) per monitorare l'intensità dell'esercizio (10-12 su una scala da 6 a 20)</li> <li>• L'esercizio è controindicato per chiunque abbia una retinopatia proliferativa instabile o non trattata, una fotocoagulazione panretinica recente o altri trattamenti chirurgici recenti agli occhi</li> <li>• Consultare un oftalmologo per restrizioni e limitazioni specifiche</li> </ul>
<b>Nefropatia diabetica:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitare l'esercizio che provoca aumenti eccessivi della pressione sanguigna (ad esempio, sollevamento pesi, esercizio aerobico ad alta intensità) e astenersi dal trattenere il respiro durante le attività</li> <li>• L'ipertensione è comune e potrebbe essere necessario eseguire esercizi a bassa intensità per gestire le risposte della pressione sanguigna e la fatica</li> <li>• È possibile praticare esercizi leggeri o moderati durante le sedute di dialisi se gli elettroliti sono gestiti adeguatamente.</li> </ul>
<b>Iipertensione:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitare sollevamenti pesanti o trattenere il respiro</li> <li>• Eseguire esercizi dinamici che coinvolgano gruppi muscolari ampi, come camminare e pedalare a intensità bassa o moderata</li> <li>• Seguire le linee guida sulla pressione sanguigna per i livelli di attività</li> <li>• In assenza di un ritmo cardiaco massimo misurato, si consiglia di utilizzare la scala della percezione dello sforzo (RPE) (10-12 su una scala da 6 a 20)</li> </ul>

Figura 14. Precauzioni per le complicanze croniche (tratto da: Kanaley et al., 2022).

### **4.3 BENEFICI DELL'ESERCIZIO FISICO NEI DIABETICI DI TIPO 2**

Nella maggior parte dei casi la causa del diabete di tipo 2 è dovuta a fattori ambientali, come ad esempio uno stile di vita non adeguato, il che rende facile comprendere come l'introduzione dell'esercizio fisico porti numerosi effetti benefici sull'organismo. Nathan et al. (2008) definiscono l'esercizio come una delle tre componenti essenziali al trattamento del diabete, insieme ad uno specifico regime alimentare e all'utilizzo di medicinali. L'unico limite dell'esercizio nel provvedere effetti benefici nel lungo periodo sta nella regolarità del suo impiego: è evidente più che mai l'importanza di figure professionali dedite ad un'attenzione selettiva per coloro che convivono con questa patologia, al fine di motivarli e responsabilizzarli nel dosare con cura il potente medicinale costituito dall'attività fisica.

Per comprendere al meglio gli effetti dell'esercizio fisico è bene approfondire le modifiche che vengono attuate a livello metabolico in risposta ad esso: a seconda dell'intensità e della durata dell'allenamento vari sistemi cooperano al fine di mobilitare ed utilizzare il carburante più adeguato, garantendo quindi un equilibrio glicemico. Gli acidi grassi liberi, protagonisti nella produzione di energia in situazioni a riposo, si uniscono al glucosio e al glicogeno muscolare per basse intensità di allenamento, mentre per allenamenti vigorosi la fonte di energia preferita per il nostro organismo diventano i carboidrati. Man mano che l'esercizio prosegue, se le scorte di glicogeno scarseggiano, i muscoli prelevano glucosio ematico e, se l'attività dura a lungo, anche acidi grassi dal tessuto adiposo. Questo meccanismo, soprattutto all'aumentare della durata dell'attività, viene compensato dalla produzione di glucosio a livello epatico (Colberg et al., 2010). Anche se l'organismo del soggetto con T2D è resistente all'insulina, che permette l'ingresso di glucosio ematico nelle cellule a riposo o dopo un pasto, quando pratica esercizio fisico sfrutta un meccanismo non insulino-dipendente che rende possibile l'uptake di glucosio: molti studi, tra cui quello di Ivy e Holloszy (1981), hanno dimostrato che questo rimane elevato anche molte ore dopo l'esercizio. La proteina responsabile del trasporto di glucosio dal sangue alla cellula muscolare si chiama GLUT-4 e la sua funzione, nell'organismo di un diabetico di tipo 2, è spesso inibita: è stato dimostrato che l'esercizio fisico, nel T2D, aumenta i livelli di quest'importante proteina e di conseguenza

l'assorbimento di glucosio (Colberg et al., 2010). Diversi studi hanno cercato di analizzare gli effetti determinati da specifiche tipologie di allenamento al fine di individuare la soluzione migliore per una corretta gestione della glicemia: già nel 2005, con lo studio condotto da Boulé et al. si è dimostrato come l'allenamento aerobico provochi un aumento della sensibilità all'insulina, importante per coloro con T2D per mantenere un'omeostasi glicemica, fino a 3 giorni dopo l'esercizio. È proprio grazie a tale miglioramento che è possibile prevenire l'insorgenza del T2D o gestirlo al meglio: gli effetti positivi sull'azione dell'insulina, oltre che dai parametri dell'allenamento, dipenderanno dalle caratteristiche soggettive di chi lo pratica, come l'età ed il livello di fitness. Se è vero che l'esercizio aerobico pone questo grande beneficio a coloro affetti da T2D, non si può dire lo stesso quando questi si trovano in condizioni di peso eccessive, tali da comportare un accumulo di grassi nel fegato: l'allenamento aerobico, infatti, migliora l'azione dell'insulina nei muscoli ma non nel fegato. Tuttavia, l'esercizio aerobico è comunque in grado di porre beneficio anche in tale condizione in quanto influenza il metabolismo dei grassi a livello epatico e quindi la loro rimozione (Johnson et al., 2009). L'importanza di tale effetto benefico è enfatizzata dal ruolo che la resistenza all'insulina ha nella fisiopatologia della malattia: oltre a ridurre la capacità di captare ed immagazzinare glucosio dal sangue alle cellule, inibisce la produzione epatica di glucosio e provoca diverse disfunzioni fino allo sviluppo di malattie cardiovascolari. Le ricerche più recenti hanno continuato a dimostrare che l'esercizio regolare migliora il controllo glicemico, che rimane sempre l'obiettivo principale del trattamento della malattia, anche grazie alla maggiore sensibilità all'insulina (Kumar et al., 2019).

A contribuire al mantenimento dell'omeostasi glicemica nel diabetico di tipo 2 che pratica esercizio regolare è la riduzione dei valori di emoglobina glicata, e per capire al meglio la rilevanza della sua diminuzione è bene analizzare lo studio condotto da Stratton (2000): l'interpretazione avvenuta in questa ricerca ha riportato come l'aumento dell'1% del valore di HbA1C porta a numerosi effetti negativi, quali un aumento del 21% del rischio di morte e del 37% del rischio di complicanze a livello vascolare. In assenza di valori soglia per i quali possano esistere delle condizioni avverse, tale studio ha suggerito quanto sia importante una qualsiasi diminuzione nei livelli di emoglobina glicata tale da diminuire qualsiasi rischio, rientrando possibilmente in range normali, ovvero al di sotto del 6%. La riduzione nei livelli di HbA1c riscontrata in chi ha praticato esercizio fisico

regolare negli studi analizzati da Thomas et al. (2006) è stata, in media, dello 0.6%: per una persona diagnosticata con livelli di HbA1C vicini al 9%, tale diminuzione rappresenta un miglioramento del 20% rispetto alla condizione ideale (valori al di sotto del 6%). Nella stessa review (Thomas et al., 2006) hanno riscontrato, oltre alla diminuzione dell'emoglobina glicata, anche la riduzione della massa grassa a livello viscerale: questa comporta un grande rischio per lo sviluppo della sindrome metabolica.

Tutti questi effetti benefici sono stati ottenuti con diverse tipologie di allenamento, diverse durate ed intensità: sia con un'ora di sessione aerobica a settimana (Tsujiuchi et al., 2002) che con un allenamento contro resistenza progressivo (Loimaala et al., 2003) si è dimostrato possibile raggiungere un miglior controllo glicemico.

Molti studi hanno dimostrato che è possibile ottenere una riduzione dei livelli di emoglobina glicata già dopo sole 8 settimane di impegno, e che tale miglioramento della condizione di diabete persiste anche a distanza di mesi, specialmente per coloro che mantengono una disciplina costante nel mantenere le modifiche apportate allo stile di vita (Thomas et al., 2006).

Lo studio condotto da Ibañez et al. (2005) si è posto l'obiettivo di analizzare l'effetto di un allenamento di resistenza progressivo svolto due volte a settimana, su persone adulte con T2D, ma senza introdurre diete ipocaloriche: i risultati hanno riportato una diminuzione nel grasso viscerale, un aumento dell'azione insulinica e quindi un miglioramento nella glicemia, mettendo quindi in luce il ruolo di questa tipologia di esercizio.

Anche il livello dei lipidi nel sangue subisce delle variazioni importanti per la salute grazie all'esercizio: tra i vari studi, quello condotto da Tiainen et al. (2018) ha dimostrato una riduzione nei livelli di LDL, a patto che il volume di allenamento fosse elevato, mentre non sono state notate differenze per i livelli di HDL. Un innalzamento nei livelli del cosiddetto "colesterolo buono" è stato riportato in quegli studi che hanno proposto un programma di allenamento accompagnato da una dieta ipocalorica, come nello studio AHEAD, suggerendo così che la combinazione di allenamento e dieta sia la soluzione ideale (*Look AHEAD Research Group*, 2014). Sempre lo studio AHEAD suggerisce che tale accostamento sia vincente anche nella riduzione del rischio di ipertensione, problema che colpisce più del 60% delle persone con T2D. In generale, sia nella popolazione sana

che per i diabetici di tipo 2, uno stile di vita sano porta sempre alla riduzione di ogni rischio, tanto più quanto i livelli di fitness sono elevati (Colberg et al., 2010).

Gli effetti benefici dell'esercizio fisico sono stati più elevati in tutti quegli studi ove era presente una figura professionale pronta ad accompagnare i soggetti nel loro percorso: a dimostrazione di ciò, la review di Gordon et al. (2009), dopo aver ottenuto dei risultati positivi in termini di controllo glicemico con delle sessioni di allenamento personalizzate e seguite da persone di competenza, ha successivamente eliminato la figura di controllo ottenendo però la perdita di parte dei risultati positivi ottenuti.

Se ad ostacolare la costanza è spesso la mancanza di motivazione, uno dei principali effetti dell'attività fisica è proprio quello di stimolare determinati ormoni che stimolano il cervello provocando la diminuzione dei sintomi depressivi, dell'ansia e promuovendo uno stato di benessere (Bettio et al., 2020). Inoltre, se è vero che la fisiopatologia del diabete mellito di tipo 2 porta ad una diminuzione delle componenti cognitive, diversi ricercatori stanno cercando di indagare sulla correlazione tra attività fisica e tali componenti: Cooke et al. (2020) hanno riportato un piccolo miglioramento grazie all'esercizio, ma secondo loro sono necessari più studi a riguardo.

Quando si parla di benefici a lungo termine, si parla di quegli effetti, apportati dall'esercizio fisico, che riguardano specifici tessuti metabolici e dell'interazione tra loro. È proprio nel tessuto muscolare che si possono identificare i primi segni di insulino-resistenza, denotando così l'inizio e lo svilupparsi della patologia, ma grazie all'esercizio si possono aumentare notevolmente sia la risposta a livello locale che organico all'insulina (Holloszy, 2005). A permettere l'assorbimento di glucosio nel tessuto muscolare indipendentemente dalla presenza dell'insulina è l'enzima AMPK: questo, attivato soprattutto con sessioni aerobiche, contribuisce alla creazione di nuovi mitocondri, risultando in una miglior capacità ossidativa di glucosio e di acidi grassi (Ruderman, 2013).

Un fattore di rischio per le malattie cardiovascolari è correlato alla quantità di grasso corporeo e all'infiammazione che ne deriva: anche in questo contesto l'esercizio fisico regolare permette la riduzione del tessuto adiposo, sopprimendo la produzione di citochine pro-infiammatorie (Kirwan et al., 2017). Nel diabetico di tipo 2 praticare esercizio fisico contro resistenza permette, oltre all'aumentata sensibilità all'insulina, di

ridurre la quantità di tessuto adiposo viscerale, dannoso per la salute se in eccesso (Ibañez, 2005).

L'eccesso di grasso può presentare problematiche anche quando viene ad essere accumulato nel fegato, condizione tipica nei diabetici di tipo 2, così da rendere l'esercizio fondamentale anche per la corretta funzionalità di quest'organo. Una delle cause di iperglicemia nel T2D è la produzione epatica di glucosio incontrollata derivante da una resistenza all'insulina locale: come dimostrato da svariati studi, grazie all'esercizio questa situazione può essere nettamente migliorata (Kirwan et al., 2017).

Quando questi tessuti iniziano a rispondere in modo inefficiente all'insulina, il pancreas deve caricarsi di lavoro per fare fronte ad un'aumentata produzione di quest'ormone, portando alla comparsa della malattia stessa. È stato dimostrato come le più diverse modalità di allenamento, che siano aerobiche o miste (Nieuwoudt, 2017; Curran, 2020), siano state fondamentali per migliorare la funzionalità del pancreas attraverso l'aumentata sensibilità all'insulina.

Analizzati attentamente gli effetti acuti, a lungo termine e nello specifico ai tessuti (Vedere Figura 15) che l'esercizio fisico produce nei soggetti con T2D che lo praticano, introduciamo ora, grazie agli studi più recenti, le migliori linee guida per delineare nel dettaglio gli allenamenti.



Figura 15. Effetti acuti dell'esercizio fisico rispetto ai tessuti di soggetti con T2D (tratto da: Kirwan et al. 2017).

## 4.4 ESERCIZIO FISICO NEI DIABETICI DI TIPO 2

Abbiamo accertato come l'esercizio fisico sia in grado di apportare numerosi benefici, tale da poterlo raccomandare per la gestione del diabete di tipo 2, portando ad un miglioramento della condizione. Talvolta l'esercizio può indurre benefici tali da permettere ai soggetti una diminuzione, ed in alcuni casi eliminazione, dei farmaci utilizzati per controllare la patologia (Thomas et al., 2006). A differenza dei diabetici di tipo 1, negli studi condotti sui pazienti con T2D il rischio di incorrere in episodi pericolosi per la salute è minimo, ponendo l'esercizio come ottima soluzione. Indipendentemente dalla tipologia adottata l'obiettivo principale è quello di rendere l'attività fisica piacevole e praticabile: più sarà semplice allenarsi, più le persone continueranno a farlo.

Analizziamo di seguito, secondo le linee guida più recenti, le varie tipologie di esercizio fisico che può praticare un soggetto a rischio o con T2D e i loro specifici benefici:

**Aerobico:** è nota la bio-genesi di nuovi mitocondri in seguito a questa tipologia di allenamento, la quale, portando ad una maggior capacità ossidativa, apporterà benefici anche in termini di sensibilità all'insulina. Kadoglou et al. (2007) hanno dimostrato che mantenendo nel tempo quest'attività fisica, anche senza una perdita di peso, si otterrà una miglior gestione glucidica e lipidica, una *physical fitness* maggiore ed allo stesso tempo una riduzione dei fattori antinfiammatori, della pressione cardiaca e della resistenza all'insulina.

Le raccomandazioni includono qualsiasi attività che coinvolga l'utilizzo di molti gruppi muscolari per un periodo prolungato e a ritmo costante, come la corsa, il nuoto, l'uscita in bicicletta ed altre a intensità che vadano dal 40% della propria FCmax fino al 60/90%, a seconda del proprio grado di allenamento. Gli allenamenti possono essere svolti per un minimo di 3 volte a settimana fino a 7, mentre le giornate di riposo non devono superare i 2 giorni consecutivi. Alla fine della settimana, se l'impegno fisico è stato moderato, dovranno essere state svolte dalle 2 ore e mezza alle 5 ore di allenamento, mentre da 1 ora e un quarto alle 2 ore e mezza se lo sforzo è stato intenso. È fondamentale svolgere qualsiasi attività scelta con impegno, dedizione e l'obiettivo di migliorarsi di volta in volta: nel tempo sarà possibile aumentare l'intensità ed il volume (Kanaley et al., 2022).

**Resistenza:** vista la fisiopatologia del diabete, allenarsi contro resistenza permette di contrastare il declino della massa muscolare, portando l'organismo invece ad acquisirne, ad aumentare la forza e a ridurre la massa grassa permettendo una miglior funzionalità dell'insulina e, quindi, una gestione della glicemia sempre migliore (Colberg et al., 2016). I consigli in merito a questa tipologia di allenamento sono comprensivi sia di esercizi dove si sfrutta il peso del proprio corpo, sia dei classici esercizi che si eseguono in palestra con pesi, macchine o altri strumenti: una volta scelti almeno 8 esercizi che coinvolgano i principali gruppi muscolari, si svolgeranno da 1 a 3 serie per almeno 10 ripetizioni fino ad un massimo di 15. Ogni settimana gli allenamenti dovranno essere almeno 2 o 3 svolti a giorni alterni. L'intensità scelta influenzerà il volume, per cui con un'intensità più elevata sarà preferibile svolgere 10 ripetizioni e, al contrario, con un carico che provochi uno sforzo minore le ripetizioni dovranno essere superiori, fino a 15 appunto. La progressione dovrà essere impostata anzitutto sul carico, dopodiché sul volume allenante, aumentando il numero di serie per esercizio, fino all'incrementare i giorni di allenamento, sempre in base alle capacità individuali della persona interessata (Kanaley et al., 2022).

Diversi studi hanno evidenziato risultati maggiori con una combinazione di queste due tipologie di allenamento: negli ultimi anni la società in cui viviamo ci priva di una grande disponibilità in termini di tempo, allenarsi combinando diverse strategie può portare al risultato migliore.

Le attuali linee guida dell'ADA (38), basate sulle ricerche più recenti, sottolineano l'importanza di un allenamento combinato: oltre al miglioramento nella gestione della glicemia apportato da attività per lo più aerobiche come la camminata, la corsa ed altre, sostenere degli allenamenti volti al miglioramento dell'equilibrio e delle sessioni contro resistenza permette all'organismo di adattarsi in modo più efficace alle situazioni attraverso una maggiore forza e stabilità. Con l'avanzare dell'età la massa muscolare tende a diminuire, di conseguenza la forza, aumentando di gran lunga il rischio di cadute, le quali in età avanzata sono spesso causa di traumi più o meno gravi. Allenare i muscoli del tronco, i quali definiscono il termine "core", permette un miglioramento della postura, della stabilità ed una diminuzione del rischio di infortuni (Akuthota et al., 2008). È importante inoltre inserire nelle sessioni di allenamento, o meglio nella quotidianità, esercizi volti al rafforzamento del piede, della fascia plantare e dell'anca (39). Oltre a tali

esercizi, essenziali per ottenere una funzionalità corporea armonica, le classiche sessioni aerobiche e di resistenza andrebbero performate per almeno 150 minuti a settimana, ad intensità moderata: per assicurarsi che lo sforzo effettivo sia quello desiderato il modo più semplice ed efficace è l'utilizzo del *talk test*; L'obiettivo risiede nel permettere alla persona che si sta allenando di riuscire a conversare, senza quindi né affaticarsi eccessivamente, né riuscire a cantare (40).

Gli studi che vanno a supportare l'idea di inserire diverse tipologie di allenamento nel trattamento del T2D sono molti: le review di Schwingshack et al. (2014) ha dimostrato come l'unione dell'esercizio aerobico e di resistenza è stato in grado di apportare i risultati migliori in termini di riduzione dell'emoglobina glicata. Anche Oliveira et al. (2012) hanno condotto una *review* con lo stesso obiettivo, ottenendo le stesse conclusioni; tuttavia, gli studi analizzati differivano nei vari parametri dell'allenamento. Per ottenere i medesimi risultati sarà importante adeguare gli allenamenti in base alle esigenze individuali e, se possibile, supervisionare le sessioni di esercizio.

A favore di questi risultati, Jorge et al. (2011) hanno analizzato gli effetti di 3 diverse tipologie di allenamento su diversi parametri in pazienti con T2D in 3 mesi: la presenza della proteina IRS-1 (*Insulin Receptor Substrate 1*), fondamentale per captare l'insulina nei vari tessuti, era maggiore in coloro che hanno svolto un allenamento combinato rispetto alle singole modalità di allenamento.

Sempre Oliveira (2012) consiglia di separare in sessioni distinte le attività aerobiche da quelle di resistenza, ma quali sarebbero la differenza se un allenamento comprendesse entrambe queste due modalità? L'allenamento di tipo HIIT, il quale può comprendere sia esercizi aerobici che contro resistenza, si sta espandendo sempre di più, ed infatti gli studi sulla sua efficacia per il soggetto con T2D non sono tardati ad arrivare: si è dimostrato il potenziale ruolo dell'allenamento HIIT in quanto capace di migliorare la sensibilità all'insulina, il controllo della glicemia e la capacità ossidativa dei muscoli in misura maggiore rispetto all'allenamento aerobico (Jelleyman et al., 2015).

Nel momento in cui il soggetto diabetico di tipo 2, o a rischio, ha la capacità fisica di sostenere un allenamento tale, può migliorare ulteriormente la sua salute metabolica, impiegando una quantità di tempo minore rispetto ad altre tipologie di esercizio (Kirwan et al. 2017). Se la situazione individuale non rende possibile adottare questo approccio nel lungo periodo, esercizi ad intensità media e prolungati nel tempo risulteranno

ugualmente in un miglioramento netto della propria condizione di salute (Thomas et al., 2006). Oltre ad un programma di allenamento, a fare la differenza nell'aumentare notevolmente il proprio stato di benessere è l'adozione di azioni quotidiane volte alla limitazione di attività sedentarie, come andare al lavoro in bici o a piedi piuttosto che con un veicolo, aumentando così il NEAT e quindi la spesa energetica. Yanai et al. (2018) hanno somministrato un questionario riguardante il NEAT ad un gruppo di pazienti diabetici: i risultati hanno evidenziato come il NEAT sia correlato a diversi parametri metabolici quali i livelli in insulina, di colesterolo, la pressione arteriosa ed altri, indicando un basso livello di NEAT come segnale di rischio per complicanze quali la nefropatia e la neuropatia. La loro *review* suggerisce l'importanza dell'attività fisica in generale: l'allenamento in sé può rappresentare solo una piccola parte dell'energia spesa durante la giornata, e vista l'importanza che ricopre un deficit calorico, investire tempo per eseguire attività quotidiane in modo differente rispetto alle solite abitudini può fare una grande differenza, oltre a chi è sano, per tutti coloro che si trovano in una condizione di rischio per lo sviluppo di T2D o per chi l'ha già sviluppato.

Al fine di perseguire il miglior controllo glicemico possibile, obiettivo del trattamento del T2D tramite l'esercizio, diversi studi si sono concentrati nell'identificare il momento migliore nella giornata per allenarsi. La scelta tra mattina o pomeriggio è stata indagata tramite lo studio condotto da Teo et al., (2020) su 40 adulti sovrappeso, sedentari con e senza diabete: entrambi i gruppi, che si sono allenati la mattina e il pomeriggio per 12 settimane, hanno ottenuti gli stessi risultati in termini di miglioramento nella gestione glicemica. Altri studi invece hanno sottolineato l'importanza di sostenere l'esercizio fisico dopo i pasti in quanto porta ad un miglioramento della glicemia tramite una riduzione dei picchi glicemici acuti: i benefici più elevati si sono ottenuti con una durata di almeno 45 minuti, mentre la glicemia è risultata ridotta indipendentemente dall'intensità o dal tipo di esercizio per via di una maggiore spesa energetica post-prandiale (Kanaley et al., 2022).

#### **4.4.1 Esercizio fisico in caso di complicanze**

L'aterosclerosi, l'ipertensione e la cardiomiopatia sono complicanze cardiovascolari molto comuni nei soggetti affetti da diabete, tanto che al momento della diagnosi di T2D, una persona su due presenta la cardiopatia ischemica, ossia una condizione a carico delle

coronarie tale per cui il sangue fluisce con difficoltà a causa di un restringimento (Pierce, 1999).

A seconda della gravità della condizione, andrebbe considerata la possibilità di condurre attività fisica presso un centro di riabilitazione specializzato. L'attività fisica, infatti, tra i numerosi benefici apporta un miglioramento nelle funzioni endoteliali e di conseguenza una migliore condizione cardiovascolare (Cohen et al., 2008). Oltre al diabete, anche la composizione corporea e la dieta influiscono molto su questa classe di complicanze, esaltando quindi l'esercizio in quanto in grado di limitare i fattori di rischio come l'ipertensione e l'ipercolesterolemia, spesso co-responsabili della presenza di problemi cardiaci.

Volgendo invece l'attenzione alle complicanze del sistema nervoso l'attività fisica svolge un ruolo di prevenzione: la neuropatia periferica, causata principalmente dal diabete, può essere prevenuta grazie alla pratica regolare di esercizio aerobico (Balducci et al., 2006). Per i diabetici rimane fondamentale curare la salute del proprio piede, e nel caso in cui la malattia abbia già preso il sopravvento attività aerobiche come la camminata possono essere somministrate senza alcun problema in quanto non aumentano il rischio di ulcerazione (Colberg et al., 2010). Le persone che hanno sviluppato la neuropatia periferica hanno un grande rischio di sviluppare anche complicanze a livello del sistema nervoso autonomo (Pierce, 1999). La condizione di neuropatia autonoma può essere migliorata dall'esercizio fisico, soprattutto se aerobico e ad intensità moderata, ma la possibilità di praticarlo dev'essere valutata attentamente da un medico attraverso dei test da sforzo, come nel caso di retinopatia. Se si è di fronte ad una malattia proliferativa non controllata le raccomandazioni consigliano di evitare attività ad alta intensità, sia aerobiche che contro resistenza, posizioni che pongano il capo verso il basso, salti e movimenti bruschi. Anche nel caso di nefropatia l'esercizio fisico, di qualsiasi tipologia, è in grado di migliorare la condizione del paziente: questo a patto che non venga praticata la manovra di Valsalva e che siano evitate alte intensità, al fine di non innalzare eccessivamente la pressione sanguigna (Colberg et al., 2010).

Yaribegi et al. (2019) hanno indagato la correlazione tra esercizio aerobico e le complicanze diabetiche, concludendo che l'allenamento riduce lo stress ossidativo, le risposte infiammatorie ed i livelli di HbA1c tramite diversi meccanismi molecolari (Vedere Figura 15). L'esercizio aerobico può quindi migliorare la salute cardiovascolare,

la funzione del sistema nervoso e ridurre il rischio di neuropatie; Tuttavia, al fine di evitare rischi derivanti dall'allenamento, è fondamentale creare una tabella di allenamento precisa e monitorare i soggetti con diabete da vicino.

Secondo gli studi più recenti, la Figura 14 fornisce le indicazioni da seguire durante l'attività fisica per le condizioni mediche ricorrenti.



Figura 15. Effetti molecolari dell'esercizio aerobico (tratto da: Yaribegi et al., 2019).

#### 4.4.2 Esercizio nell'anziano affetto da T2D

Il T2D è ampiamente diffuso nella popolazione anziana (> 65 anni), la quale spesso convive con altre patologie, trovandosi quindi in una situazione instabile e spesso supportata in modo inadeguato. Il diabete, nelle persone anziane, presenta caratteristiche metaboliche specifiche e comporta un rischio maggiore di complicanze rispetto ai più giovani. I cambiamenti legati all'invecchiamento portano l'anziano ad uno stile di vita maggiormente sedentario, incrementando spesso la necessità di sostegno a causa della mancata autosufficienza: l'esercizio fisico, oltre ad apportare gli stessi benefici cui beneficiano le fasce d'età più giovani, permette loro una maggiore autonomia nella quotidianità. L'attività fisica rende possibile trasformare le modifiche legate

all'invecchiamento, quali la resistenza all'insulina ed i livelli di grassi nel sangue, permettendo un incremento del benessere ed una riduzione dei rischi di comorbidità (Ferriolli et al., 2014).

L'allenamento aerobico è una valida scelta fin tanto che la salute mentale e fisica lo permettono, mentre l'allenamento di resistenza permette notevoli vantaggi nell'anziano in quanto va a migliorare la forza, essenziale per la condizione precaria di equilibrio: la *review* condotta da Hovanec et al. (2012) ha sottolineato il ruolo dell'allenamento contro resistenza per il mantenimento e nel migliore dei casi per l'aumento della massa muscolare, di solito in grave declino negli anziani. Di fatto, numerosi studi hanno ottenuto i risultati migliori con la combinazione di allenamenti aerobici e di resistenza (Schwingshackl et al., 2014). Morrison et al. (2010), hanno studiato l'effetto di un allenamento combinato di resistenza ed equilibrio in 16 persone affette da T2D tra i 50 ed i 75 anni: inizialmente, rispetto a persone sane della loro età, questo gruppo presentava problemi di equilibrio e latenza nei tempi di reazione tali da comportare un rischio di cadute molto più elevato. Grazie al programma di allenamento proposto dai ricercatori questi problemi sono migliorati, ponendo quindi grande enfasi anche sull'allenamento della stabilità. Allenare l'equilibrio può apportare grandi benefici anche nel caso di complicanze tipiche del diabete, come la neuropatia: Song et al. (2011) hanno valutato l'efficacia nella somministrazione di esercizi per l'equilibrio in anziani con neuropatia diabetica. I partecipanti hanno mostrato miglioramenti significativi, dimostrando che questa tipologia di allenamento può essere utile anche per le persone con questa complicanza.

Per gli anziani andrà poi stilato un programma di allenamento con volumi ed intensità specifiche in base alla soggettività di ognuno: adottare un approccio olistico e personalizzato per la cura di questa popolazione fornirà gli esiti migliori.

La Figura 16 contiene le linee guida per gli anziani con T2D che desiderano impegnarsi nell'esercizio fisico.

## Raccomandazioni AF

Da parte di pazienti anziani affetti da diabete

<b>Modalità:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gli esercizi aerobici e di resistenza sono efficaci</li><li>• Tuttavia, la combinazione di entrambe le modalità sembra essere l'opzione migliore</li></ul>
<b>Intensità:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Moderato: 50-70% della FCmax o 40-60% del IRM</li><li>• Intenso: &gt;70% della FCmax o &gt;60% del IRM</li><li>• Preferire, se possibile, un'intensità elevata</li></ul>
<b>Durata:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Almeno 2H e 30m alla settimana, se possibile 5H alla settimana.</li></ul>
<b>Frequenza:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• AT: almeno 3 giorni alla settimana, senza più di 2 giorni consecutivi senza allenarsi</li><li>• RT: almeno 2 giorni alla settimana</li></ul>
<b>Gruppi muscolari:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Allenare i grandi gruppi muscolari</li></ul>
<b>Attenzioni particolari:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• È importante considerare come il T2D interagisca con altre condizioni tipiche dell'età avanzata, come fragilità, deficit cognitivi e compromissione funzionale, tra le altre</li><li>• È consigliabile progredire lentamente, adattando la modalità di esercizio alle capacità e alle preferenze del paziente</li><li>• Si dovrebbe incoraggiare l'assunzione di liquidi durante l'attività fisica e fornire indicazioni per una dieta adeguata, oltre a creare un ambiente sicuro per evitare ipotensione ortostatica e ipoglicemia durante l'esercizio</li><li>• La neuropatia periferica diabetica può influire sulla capacità di camminare e sull'equilibrio, pertanto si dovrebbe fare attenzione a evitare cadute durante l'allenamento</li><li>• Considerare le possibili interazioni tra i farmaci assunti dal paziente e la pratica di esercizio fisico</li><li>• Prima di iniziare l'attività fisica, è consigliabile valutare il paziente clinicamente e monitorarlo attentamente prima, durante e dopo l'esercizio, in quanto c'è un maggior rischio di ipoglicemia dopo l'attività</li></ul>

Figura 16. Raccomandazioni per l'attività fisica in soggetti anziani con diabete (tratto da; Ferrioli et al. 2014).

# CAPITOLO 5

## DALLA TEORIA ALLA PRATICA

Considerando quanto analizzato fino a questo punto, esamineremo il ruolo ipotetico di un chinesologo nella pratica ipotizzando un caso con diagnosi di T2D.

Per iniziare un percorso di allenamento che apporti il miglior beneficio possibile è fondamentale ricavare del tempo per stilare una chiara anamnesi del soggetto. In questo caso, ipotizzeremo un individuo con caratteristiche simili a quelle riscontrabili nella popolazione generale diabetica

### 5.1 ANAMNESI

DATI PERSONALI					
Data	19/07/2023	Istruttore	Lantero Mattia		
Cognome	Gobbo	Nome	Aurora	Sesso	F
Data Nascita	28/02/1975	Altezza	158 cm	Peso	72 kg

ANAMNESI			
Professione:	Addetta alla vendita		
Sport praticati in passato: Pallavolo	Sport praticati attualmente:	Pilates	
Esperienza in palestra:	NO	Per quanto tempo:	1 anno
Tempo di inattività fisica:	9 anni		

PATOLOGIE			
Problemi metabolici	SI	<input type="checkbox"/> Diabete T1 <input type="checkbox"/> Asma	<input checked="" type="checkbox"/> Diabete T2 (da 6 mesi)
Problemi articolari	SI	<input checked="" type="checkbox"/> Spalla <input type="checkbox"/> Caviglia	<input type="checkbox"/> Ginocchio <input type="checkbox"/> Anca

ALLENAMENTO	
OBIETTIVI	
Benessere	SI
Dimagrimento	SI
Tonificazione	SI

TEMPO A DISPOSIZIONE	
N° allenamenti settimanali:	3   Tempo max a disposizione: 70/80 minuti

Le informazioni essenziali che possiamo estrapolare dalla suddetta analisi da tenere in conto per la programmazione dell'esercizio fisico sono: l'età, 48 anni; il genere, femminile; il BMI di 28.84 kg/m<sup>2</sup>, che indica una situazione di sovrappeso; il prolungato

stato di inattività fisica, seguito dalla ripresa con un'attività a basso impatto; un dolore alla spalla, causa della rinuncia alla pallavolo, che esacerba con movimenti balistici ripetuti; la diagnosi di T2D, accompagnata dall'introduzione di un piano nutrizionale adeguato che ha permesso di evitare l'uso di farmaci.

L'**obiettivo** principale dell'allenamento sarà quello di favorire un miglior controllo glicemico aumentando la sensibilità all'insulina, di migliorare lo stato di salute cardiovascolare, di aumentare la forza muscolare, la flessibilità e di massa grassa (soprattutto compito dell'alimentazione e dello stile di vita). Quest'obiettivo sarà raggiunto attraverso tre allenamenti settimanali di un'ora ciascuno e la programmazione sarà valida per un periodo di dodici settimane.

## **5.2 PROGRAMMA DI ALLENAMENTO**

Di seguito il programma di allenamento studiato in base alle esigenze e gli obiettivi del soggetto

### **Warm-Up (5-10 minuti)**

Il *Warm-Up*, o fase di riscaldamento, contiene attività atte a preparare il fisico a sostenere la seduta di esercizio fisico quali: camminata, esercizi di mobilità articolare, esercizi di riscaldamento specifici, stretching dinamico.

### **Parte centrale (circa 60 minuti)**

La parte centrale si divide in due: inizialmente si svolge un circuito a tappeto, caratterizzato da 4 esercizi, dove si predilige un lavoro sulle componenti di forza e resistenza muscolare, per poi dedicare gran parte dell'allenamento al lavoro cardiovascolare con lo scopo di consentire gradualmente al soggetto di raggiungere la quantità minima di attività aerobica settimanale.

→ Circuito sul tappeto (Figura 17; ~20 minuti)



Figura 17. Circuito su tappeto da eseguire per un totale di 3 volte

Il recupero può essere gestito in autonomia: al termine del completamento dei quattro esercizi, prima di intraprendere il giro seguente, se il soggetto ne sente la necessità può decidere di recuperare le energie, sfruttando l'occasione anche per idratarsi.

Il T.U.T. (*Time Under Tension*) prevede rispettivamente un movimento che dura 3s per le fasi concentrica ed eccentrica, mentre 1s per le pause tra un movimento e l'altro:

- Fase concentrica: il primo numero "3" indica la durata (s) della fase concentrica; nel caso degli slanci posteriori è la fase in cui si estende la gamba posteriormente;
- Pausa: il secondo numero "1" rappresenta la durata della pausa tra le fasi concentrica ed eccentrica; sempre nel caso degli slanci posteriori, in questa fase si mantiene per un breve periodo di tempo la fase di estensione.

**Progressione:** con l'avanzare delle settimane è possibile aumentare l'intensità andando ad applicare dei sovraccarichi in tutti gli esercizi (tranne nell'esercizio di *plank*). Negli slanci si possono utilizzare delle cavigliere più o meno pesanti, mentre nel ponte in isometria, si può posizionare un peso a livello della zona pelvica.

→ **Lavoro aerobico ad intensità crescente** (circa 40 minuti)

L'obiettivo è quello di condizionare il fisico del soggetto in modo graduale al fine di sostenere un'attività aerobica continuativa a bassa intensità (40 minuti di corsa al 60% FCmax).

Di seguito un programma di allenamento aerobico basato sulla corsa e la camminata con le relative progressioni settimanali (Vedere Figura 18):

	<b>CORSA</b>	<b>INTENSITÀ (%FCMAX)</b>	<b>CAMMINATA</b>	<b>RIPETIZIONI</b>
<b>W1</b>	 5'	<b>60%</b>	 5'	<b>x4</b>
<b>W2</b>	5'	<b>65%</b>	 4'	<b>x4</b>
<b>W3</b>	 7'	<b>60%</b>	 3'	<b>x4</b>
<b>W4</b>	7'	<b>65%</b>	 3'	<b>x4</b>
<b>W5</b>	 10'	<b>60%</b>	 2'	<b>x4</b>
<b>W6</b>	10'	<b>65%</b>	 1'	<b>x4</b>
<b>W7</b>	 15'	<b>60%</b>	 1'	<b>x3</b>
<b>W8</b>	20'	<b>60%</b>	 1'	<b>x2</b>
<b>W9</b>	 10'	<b>70%</b>	 1'	<b>x4</b>
<b>W10</b>	25'	<b>60%</b>	1'	<b>x2</b>
<b>W11</b>	<b>30' CORSA 60% + 1' CAMMINATA + 10' CORSA 60%</b>			
<b>W12</b>	40'	<b>60%</b>		<b>x1</b>

Figura 18. Allenamento aerobico corsa/camminata con progressioni settimanali.

Di seguito le frequenze cardiache utili per gestire le intensità, misurabili tramite un cardiofrequenzimetro (preferibilmente una fascia toracica):

$$\text{FCmax Teorica (Tanaka)} = 208 - (0,7 \times \text{età}) = 208 - (0,7 \times 48) = \mathbf{174,4 \text{ bpm}}$$

- 60% della FCmax  $\approx 104.64 \text{ bpm}$
- 65% di FCmax  $\approx 113,36 \text{ bpm}$
- 70% della FCmax  $\approx 122.08 \text{ bpm}$

### **Cool-Down (5-10 minuti)**

La fase di *Cool-Down*, o defaticamento, contiene 5 minuti di ginnastica respiratoria ed esercizi di stretching con lo scopo di tornare gradualmente al normale stato di riposo.

È fondamentale idratarsi ed attuare un attento controllo della glicemia in tutte le fasi dell'allenamento: dell'esercizio, durante il riscaldamento e nella parte centrale.

## **5.3 BENEFICI ATTESI IN ACUTO E IN CRONICO**

Chi si rivolge a un chinesiologo con l'obiettivo di migliorare la propria salute riceve un'informazione dettagliata sui risultati misurabili che è possibile ottenere sia immediatamente dopo l'allenamento (in acuto), sia nel lungo periodo (in cronico).

### **Effetti a breve termine**

- Durante tutto il periodo che intercorre tra le 2 e le 72 ore dopo l'esercizio vi è un miglioramento della sensibilità all'insulina, con possibile abbassamento della glicemia dipendente dalla tipologia di esercizio (Colberg et al., 2010).
  - ❖ Nello specifico, questo beneficio può essere ottenuto attraverso l'impiego di un'intensità moderata ( $\geq 70\%$  FCmax) nell'esercizio aerobico. Un possibile *side effect* (effetto collaterale), soprattutto nel caso il soggetto assuma insulina esogena, riguarda la possibilità di incorrere in episodi ipoglicemici (Colberg et al., 2010);
  - ❖ Quando la sessione comprende diverse tipologie di esercizio, come l'allenamento aerobico combinato con esercizi di resistenza, gli effetti positivi sul miglioramento della sensibilità all'insulina diventano ancora più evidenti (Colberg et al., 2010).

## **Effetti a lungo termine**

Nel momento in cui si intraprende un percorso basato sul regolare coinvolgimento in esercizio fisico (programmato con criterio) all'interno della routine di un soggetto con T2D, nel lungo periodo, sarà possibile notare:

- Un miglioramento nell'azione regolatoria dell'insulina (Boulé et al., 2005; Holloszy, 2005; Nieuwoudt, 2017; Curran, 2020);
- Il mantenimento della glicemia entro valori ottimali (Kumar et al., 2019);
- L'ottimizzazione dell'ossidazione e dell'accumulo di grassi nel tessuto muscolare (Johnson et al., 2009; Ruderman, 2013; Kirwan et al., 2017);
- La riduzione dei livelli di emoglobina glicata (HbA1c) già dopo 8 settimane di lavoro (Thomas et al., 2006);
- La riduzione dei livelli di LDL (colesterolo "cattivo"), se presente un volume di allenamento elevato (Tiainen et al., 2018);
- L'aumento dei livelli di HDL (colesterolo "buono"), se viene ad essere associato all'esercizio un regime alimentare corretto (dieta ipocalorica, Look AHEAD Research Group, 2014);

Nello specifico:

- L'esercizio aerobico (AE): riduce la pressione sistolica (Colberg et al., 2010);
- L'esercizio contro resistenza (RT): aumenta la massa muscolare scheletrica, l'azione dell'insulina e riduce la quantità di tessuto adiposo viscerale (Ibañez, 2005).

In ogni caso, è bene ricordare che, sia per i sani che per i soggetti diabetici, livelli più elevati di esercizio fisico riducono il rischio di mortalità da tutte le cause e contribuiscono a migliorare lo stato di salute psicologica (Colberg et al., 2010).

## 5.4 RACCOLTA DATI FOLLOW-UP

Su autorizzazione dell'interessato, al fine di valutare in modo oggettivo gli effetti dell'esercizio fisico, è possibile registrare i seguenti valori prima e dopo (3 mesi) la programmazione (Vedere Tabella 1):

<i>Dati comunicati dal soggetto</i>	Cosa mi aspetto dopo 12 settimane?
Emoglobina glicata (%)	↓
Tessuto adiposo viscerale (cm <sup>2</sup> )	↓↓
Tessuto adiposo sottocutaneo (cm <sup>2</sup> )	↓↓
Peso corporeo (kg)	↓
Trigliceridi (mmol/l)	↓
Massima capacità aerobica (VO <sub>2</sub> max) (ml/(kg*min))	↑↑
Pressione sanguigna sistolica (mmHg)	↓
Pressione sanguigna diastolica (mmHg)	↔
Concentrazioni glucosio ematico a digiuno (mmol/l)	↓
Insulina (pmol/l)	↓
Indice di massa corporea (BMI, kg/m <sup>2</sup> )	↓
Colesterolo totale (mmol/l)	↓
HDL (mmol/l)	↔
LDL (mmol/l)	↓

*Tabella 1. Legenda: ↑/↓=poco, ↑↑/↓↓=abbastanza, ↔=indifferente*

## 5.5 CONSIDERAZIONI FINALI

Appurato che l'esercizio fisico, se praticato regolarmente, comporti notevoli benefici in coloro affetti da diabete, è possibile migliorare ulteriormente la propria salute modificando le proprie abitudini: ove possibile preferire il movimento rispetto alla sedentarietà (spostamenti per lavoro, svago e vita privata) in modo da aumentare il NEAT, fondamentale se si vuole ricercare una restrizione calorica. Inoltre, una quantità maggiore di movimento influenzerà positivamente la salute globale dell'organismo. Oltre a ciò, affidarsi ad un professionista che sia in grado di stilare un piano alimentare adeguato e personalizzato permetterà di raggiungere in modo ancora più efficace i propri obiettivi.

# IDENTIKIT

## CHI È IL PAZIENTE CON T1D?

Il paziente affetto da T1D è caratterizzato dalla mancanza di produzione di insulina nel pancreas, causata da una condizione autoimmune (Primavera M et al., 2020). Questa condizione richiede il monitoraggio costante della glicemia e un'attenta gestione. Il T1D, che si riscontra comunemente nei giovani ma può verificarsi a qualsiasi età, richiede l'assunzione quotidiana di insulina esogena (Triolo, 1996). Adottare un piano alimentare equilibrato, praticare esercizio fisico regolare e ricevere supporto da professionisti sanitari specializzati può contribuire a migliorare la salute delle persone con T1D (Jenkins et al., 2017).

Quali sono le differenze nelle componenti della *physical fitness* rispetto alla popolazione sana?

1. **CRF (Cardiorespiratory fitness)**: il soggetto con T1D riporta una CRF inferiore rispetto alla popolazione sana, molto probabilmente per l'influenza della patologia sull'organismo. Questo parametro può essere migliorato efficacemente grazie alla pratica regolare di esercizio fisico (Brazeau et al., 2014; Mosher et al., 1998);
2. **Muscular & Endurance Strength**: la forza muscolare non è direttamente influenzata dalla patologia. Nonostante ciò, la presenza di complicanze quali la neuropatia periferica può compromettere questa componente, influenzando negativamente la massa e la forza muscolare (Cashman e Höke, 2015);
3. **Body Composition**: generalmente i soggetti con T1D presentano, rispetto alla popolazione sana, una % di grasso corporeo superiore ed una % di massa magra inferiore. Ciò può essere dettato da fattori quali lo sviluppo di resistenza all'insulina (Calella et al., 2020);
4. **Flexibility**: come la coordinazione motoria e l'equilibrio, la flessibilità può essere influenzata negativamente con la presenza di complicanze che vadano ad intaccare il corretto funzionamento del sistema muscolo-scheletrico, ad esempio nel caso vi sia la presenza della neuropatia periferica.

## CHI È IL PAZIENTE CON T2D?

Il paziente affetto da T2D, la forma più comune di diabete, si distingue per la ridotta risposta delle cellule all'azione dell'insulina (Triolo, 1996). Il T2D si riscontra maggiormente negli adulti, in particolare in coloro che sono in sovrappeso o sedentari. Spesso, attraverso modifiche allo stile di vita, come l'adozione di una dieta equilibrata e l'esercizio regolare, queste persone hanno la possibilità di evitare una terapia farmacologica e gestire la malattia in modo più efficace (Nathan et al., 2008).

Quali sono le differenze nelle componenti della *physical fitness* rispetto alla popolazione sana?

1. **CRF** (*Cardiorespiratory fitness*): la resistenza all'insulina può interferire con il corretto utilizzo del glucosio da parte delle cellule muscolari durante l'esercizio fisico, diminuendo la capacità aerobica. Numerosi studi affermano che l'esercizio fisico regolare migliora notevolmente questo parametro (Colberg et al., 2010);
2. **Muscular & Endurance Strength**: come per il T1D, complicanze come la neuropatia diabetica possono influenzare negativamente questa componente. L'esercizio contro resistenza è essenziale per evitare il declino della massa muscolare e favorire un aumento della forza (Colberg et al., 2016);
3. **Body Composition**: la composizione corporea in un soggetto con T2D è spesso una causa della patologia. Tanto più è elevato il BMI, tanto più è alto il rischio di sviluppare il T2D (Gray et al., 2015);
4. **Flexibility**: la flessibilità nei pazienti con T2D è simile a quella della popolazione sana, tranne nel caso della presenza di complicanze che vadano a limitare la gamma di movimento.

**Disclaimer:** È opportuno sottolineare che queste variazioni possono differire da persona a persona e sono influenzate dalla gestione individuale della patologia e dalla presenza di complicanze correlate.

# CONCLUSIONE

Già dal primo capitolo si evidenzia la sfida che le persone affette da questa patologia devono affrontare, ma grazie alle scoperte più recenti è possibile migliorare significativamente la loro condizione di salute apportando semplici, ma fondamentali, modifiche allo stile di vita: praticare regolarmente esercizio fisico, seguire una dieta adeguata e impegnarsi a mantenere uno stile di vita attivo il più possibile.

Nel caso del T2D, è stato dimostrato come uno stile di vita sano ed equilibrato, che comprende l'esercizio fisico, possa effettivamente prevenire l'insorgenza di questa malattia.

Per quanto riguarda i diabetici di tipo 1, l'esercizio fisico regolare comporta un miglioramento della *physical fitness* in tutte le sue componenti, una riduzione dei livelli di emoglobina glicata e dell'assunzione di insulina esogena, nonché un miglioramento del profilo lipidico e della composizione corporea.

Per quanto riguarda i diabetici di tipo 2, numerose evidenze supportano il ruolo benefico dell'esercizio fisico sulla *physical fitness*, in aggiunta a contribuire a un migliore controllo glicemico e apportare benefici a gran parte dei sistemi dell'organismo.

In entrambe le tipologie di diabete, la presenza di complicanze correlate richiede l'esecuzione di esami e test specifici per valutare la capacità (idoneità) di svolgere l'esercizio fisico.

Mentre ci sono diverse tipologie di esercizio che possono essere consigliate, una programmazione che combini varie tipologie, come l'esercizio aerobico e quello contro resistenza, offre i maggiori benefici.

Attraverso studi recenti e indicazioni pratiche, il presente elaborato ha lo scopo di supportare e affiancare i professionisti nella creazione di piani di allenamento personalizzati, considerando le esigenze e le condizioni di salute dei pazienti diabetici. Ciò permette di massimizzare i benefici dell'esercizio fisico, migliorando la fitness, il controllo glicemico, la sensibilità insulinica e la composizione corporea.

In conclusione, credo che il presente elaborato possa rappresentare uno strumento prezioso per i professionisti dell'esercizio fisico, offrendo una guida approfondita e pratica per considerare e integrare l'esercizio fisico come parte fondamentale del trattamento per i pazienti diabetici.

Attraverso questo percorso, ho sviluppato la convinzione che sia urgente promuovere a livello globale uno stile di vita attivo e sano, al fine di consentire alle persone di godere appieno della propria vita e, nel caso di coloro che sono già affetti da diabete, di beneficiare appieno degli effetti positivi che l'esercizio fisico può apportare all'organismo.

## BIBLIOGRAFIA

Alarcón-Gómez, J., Chulvi-Medrano, I., Martín-Rivera, F., & Calatayud, J. (2021). Effect of high-intensity interval training on quality of life, sleep quality, exercise motivation and enjoyment in sedentary people with type 1 diabetes mellitus. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), 12612.

Alberti, K. G. M. M., & Zimmet, P. Z. (1998). Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications. Part 1: diagnosis and classification of diabetes mellitus. Provisional report of a WHO consultation. *Diabetic medicine*, 15(7), 539-553.

Alemu, H., Hailu, W., & Adane, A. (2020). Prevalence of chronic kidney disease and associated factors among patients with diabetes in northwest Ethiopia: a hospital-based cross-sectional study. *Current Therapeutic Research*, 92, 100578.

Anderson, P. J., Critchley, J. A. J. H., Chan, J. C. N., Cockram, C. S., Lee, Z. S. K., Thomas, G. N., & Tomlinson, B. (2001). Factor analysis of the metabolic syndrome: obesity vs insulin resistance as the central abnormality. *International journal of obesity*, 25(12), 1782-1788.

Aronne, L. J., & Segal, K. R. (2003). Weight gain in the treatment of mood disorders. *The Journal of clinical psychiatry*, 64 Suppl 8, 22-29.

Bakay, M., Pandey, R., Grant, S. F., & Hakonarson, H. (2019). The genetic contribution to type 1 diabetes. *Current diabetes reports*, 19, 1-14.

Berger, M. P. W. R. A. M., Halban, P. A., Muller, W. A., Offord, R. E., Renold, A. E., & Vranic, M. (1978). Mobilization of subcutaneously injected tritiated insulin in rats: effects of muscular exercise. *Diabetologia*, 15, 133-140.

Billinger, S. A., Boyne, P., Coughenour, E., Dunning, K., & Mattlage, A. (2015). Does aerobic exercise and the FITT principle fit into stroke recovery?. *Current neurology and neuroscience reports*, 15, 1-8.

Blair, S. N., Kampert, J. B., Kohl, H. W., Barlow, C. E., Macera, C. A., Paffenbarger, R. S., & Gibbons, L. W. (1996). Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *Jama*, 276(3), 205-210.

Bo, S., Ciccone, G., Baldi, C., Benini, L., Dusio, F., Forastiere, G., ... & Pagano, G. (2007). Effectiveness of a lifestyle intervention on metabolic syndrome. A randomized controlled trial. *Journal of general internal medicine*, 22, 1695-1703.

Bonora, E. (2022). La pandemia diabete in Italia. *L'Endocrinologo*, 23(4), 337-344.

Bouchard, C., Blair, S. N., & Haskell, W. L. (2012). *Physical activity and health*. Human Kinetics.

Boulé, Normand G., S. John Weisnagel, Timo A. Lakka, Angelo Tremblay, Richard N. Bergman, Tuomo Rankinen, Arthur S. Leon et al. "Effects of exercise training on glucose homeostasis: the HERITAGE Family Study." *Diabetes care* 28, no. 1 (2005): 108-114.

Brazeau, A. S., Gingras, V., Leroux, C., Suppère, C., Mircescu, H., Desjardins, K., ... & Rabasa-Lhoret, R. (2014). A pilot program for physical exercise promotion in adults with type 1 diabetes: the PEP-1 program. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 39(4), 465-471.

Brink, S. J. (2022). Insulin Past, Present, and Future: 100 Years from Leonard Thompson. *Diabetology*, 3(1), 117-158.

Brugnara, L., Hernandez, A., Amor, A. J., Roca, D., Gimenez, M., Segui, N., ... & Esmatjes, E. (2023). Changes in physical activity habits in subjects with type 1 diabetes: A comparative study 10 years apart. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición (English ed.)*, 70(5), 319-325.

Buczkowska, E. O., Dworzecki, T., Wiedermann, G., Malanowicz, B., & Szot, D. (2005). Doświadczenia w zastosowaniu ciągłego podskórnego wlewu insuliny (CPWI) w leczeniu cukrzycy u młodocianych chorych [Continuous subcutaneous insulin infusion (CSII) in treating young diabetic patients]. *Przegląd lekarski*, 62(1), 49–53.

Burr, J. F., Rowan, C. P., Jamnik, V. K., & Riddell, M. C. (2010). The role of physical activity in type 2 diabetes prevention: physiological and practical perspectives. *The Physician and sportsmedicine*, 38(1), 72-82.

Bushman, B. A., & Robinett, A. (2022). Neuromotor exercise training: background and benefits. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 26(4), 5-9.

Calella, P., Galle, F., Fornelli, G., Liguori, G., & Valerio, G. (2020). Type 1 diabetes and body composition in youth: A systematic review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36(1), e3211.

Campa, F., Toselli, S., Mazzilli, M., Gobbo, L. A., & Coratella, G. (2021). Assessment of body composition in athletes: A narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. *Nutrients*, 13(5), 1620.

Caprio, S., Napoli, R., Sacca, L., Tamborlane, W. V., & Sherwin, R. S. (1992). Impaired stimulation of gluconeogenesis during prolonged hypoglycemia in intensively treated insulin-dependent diabetic subjects. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 75(4), 1076-1080.

Carnethon, M. R., Gulati, M., & Greenland, P. (2005). Prevalence and cardiovascular disease correlates of low cardiorespiratory fitness in adolescents and adults. *Jama*, 294(23), 2981-2988.

Carr, D. B., Utschneider, K. M., Hull, R. L., Kodama, K., Retzlaff, B. M., Brunzell, J. D., ... & Kahn, S. E. (2004). Intra-abdominal fat is a major determinant of the National

Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III criteria for the metabolic syndrome. *Diabetes*, 53(8), 2087-2094.

Cashman, C. R., & Höke, A. (2015). Mechanisms of distal axonal degeneration in peripheral neuropathies. *Neuroscience letters*, 596, 33-50.

Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public health reports (Washington, D.C. : 1974)*, 100(2), 126-131.

Chimen, M., Kennedy, A., Nirantharakumar, K., Pang, T. T., Andrews, R., & Narendran, P. (2012). What are the health benefits of physical activity in type 1 diabetes mellitus? A literature review. *Diabetologia*, 55, 542-551.

Christopoulou-Aletra, H., & Papavramidou, N. (2008). 'Diabetes' as described by Byzantine writers from the fourth to the ninth century AD: the Graeco-Roman influence. *Diabetologia*, 51, 892-896.

Clarke, H. H. (1979). Academy approves physical fitness definition. *Physical Fitness Newsletter*, 25(9), 1.

Cockcroft, E. J., Narendran, P., & Andrews, R. C. (2020). Exercise-induced hypoglycaemia in type 1 diabetes. *Experimental physiology*, 105(4), 590-599.

Codella, R., Luzi, L., Inverardi, L., & Ricordi, C. (2015). The anti-inflammatory effects of exercise in the syndromic thread of diabetes and autoimmunity. *European review for medical and pharmacological sciences*, 19(19), 3709-3722.

Codella, R., Terruzzi, I., & Luzi, L. (2017). Why should people with type 1 diabetes exercise regularly?. *Acta diabetologica*, 54, 615-630.

Colberg, S. R., Sigal, R. J., Fernhall, B., Regensteiner, J. G., Blissmer, B. J., Rubin, R. R., ... & Braun, B. (2010). Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. *Diabetes care*, 33(12), e147-e167.

Colberg, S. R., Sigal, R. J., Yardley, J. E., Riddell, M. C., Dunstan, D. W., Dempsey, P. C., ... & Tate, D. F. (2016). Physical activity/exercise and diabetes: a position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes care*, 39(11), 2065-2079.

Corbin, C. B. (1984). Flexibility. *Clin Sports Med*, 3(1), 101-117.

Corigliano, G., De Fazio, C., Russo, V., Picicelli, G., & Strollo, F. (2016). Diabete e sport: il ruolo dell'associazionismo. *G It Diabetol Metab*, 36, 113-116.

Curran, M., Drayson, M. T., Andrews, R. C., Zoppi, C., Barlow, J. P., Solomon, T. P., & Narendran, P. (2020). The benefits of physical exercise for the health of the pancreatic  $\beta$ -cell: A review of the evidence. *Experimental Physiology*, 105(4), 579-589.

Czech, M. P. (2017). Insulin action and resistance in obesity and type 2 diabetes. *Nature medicine*, 23(7), 804-814.

D'hooge, R., Hellinckx, T., Van Laethem, C., Stegen, S., De Schepper, J., Van Aken, S., ... & Calders, P. (2011). Influence of combined aerobic and resistance training on metabolic control, cardiovascular fitness and quality of life in adolescents with type 1 diabetes: a randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*, 25(4), 349-359.

Dabrowski, E., Kadakia, R., & Zimmerman, D. (2016). Diabetes insipidus in infants and children. *Best practice & research Clinical endocrinology & metabolism*, 30(2), 317-328.

Dai, X., Zhai, L., Chen, Q., Miller, J. D., Lu, L., Hsue, C., ... & Lou, Q. (2019). Two-year-supervised resistance training prevented diabetes incidence in people with prediabetes: A randomised control trial. *Diabetes/metabolism research and reviews*, 35(5), e3143.

DECODE Insulin Study Group. (2004). Plasma insulin and cardiovascular mortality in non-diabetic European men and women: a meta-analysis of data from eleven prospective studies. *Diabetologia*, 47, 1245-1256.

Deforche, Benedicte I., Ilse M. De Bourdeaudhuij, and Ann P. Tanghe. "Attitude toward physical activity in normal-weight, overweight and obese adolescents." *Journal of adolescent health* 38, no. 5 (2006): 560-568.

Dial, A. G., Monaco, C. M., Grafham, G. K., Patel, T. P., Tarnopolsky, M. A., & Hawke, T. J. (2021). Impaired function and altered morphology in the skeletal muscles of adult men and women with type 1 diabetes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 106(8), 2405-2422.

Dotzert, M. S., Murray, M. R., McDonald, M. W., Olver, T. D., Velenosi, T. J., Hennop, A., ... & Melling, C. J. (2016). Metabolomic response of skeletal muscle to aerobic exercise training in insulin resistant type 1 diabetic rats. *Scientific reports*, 6(1), 26379.

Dubbert, P. M., Carithers, T., Hall, J. E., Barbour, K. A., Clark, B. L., Sumner, A. E., & Crook, E. D. (2002). Obesity, physical inactivity, and risk for cardiovascular disease. *The American journal of the medical sciences*, 324(3), 116-126.

Eriksson, K. F., & Lindgärde, F. (1991). Prevention of Type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus by diet and physical exercise The 6-year Malmö feasibility study. *Diabetologia*, 34, 891-898.

Fletcher, G. F., Balady, G., Blair, S. N., Blumenthal, J., Caspersen, C., Chaitman, B., Epstein, S., Sivarajan Froelicher, E. S., Froelicher, V. F., Pina, I. L., & Pollock, M. L. (1996). Statement on exercise: benefits and recommendations for physical activity programs for all Americans. A statement for health professionals by the Committee on

Exercise and Cardiac Rehabilitation of the Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *Circulation*, 94(4), 857–862. <https://doi.org/10.1161/01.cir.94.4.857>

Galassetti, P., & Riddell, M. C. (2013). Exercise and type 1 diabetes (T1DM). *Compr Physiol*, 3(3), 1309-1336.

Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., ... & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise.

Gillison, F. B., Skevington, S. M., Sato, A., Standage, M., & Evangelidou, S. (2009). The effects of exercise interventions on quality of life in clinical and healthy populations; a meta-analysis. *Social science & medicine*, 68(9), 1700-1710.

Gordon, B. A., Bird, S. R., MacIsaac, R. J., & Benson, A. C. (2016). Does a single bout of resistance or aerobic exercise after insulin dose reduction modulate glycaemic control in type 2 diabetes? A randomised cross-over trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(10), 795-799.

Gray, N., Picone, G., Sloan, F., & Yashkin, A. (2015). Relation between BMI and diabetes mellitus and its complications among US older. *South Med. J.*, 108, 29-36.

Grgic, J., Lazinica, B., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2020). Test–retest reliability of the one-repetition maximum (1RM) strength assessment: a systematic review. *Sports Medicine-Open*, 6(1), 1-16.

Himsworth, H. P. (1936). Diabetes mellitus. Its differentiation into insulin-sensitive and insulin-insensitive types. *Lancet*, 230, 127-130.

Holloszy, J. O. (2005). Exercise-induced increase in muscle insulin sensitivity. *Journal of applied physiology*.

Howley, E. T. (2001). Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(6 Suppl), S364-9.

Hu, G., Qiao, Q., Tuomilehto, J., Balkau, B., Borch-Johnsen, K., Pyorala, K., & DECODE Study Group. (2004). Prevalence of the metabolic syndrome and its relation to all-cause and cardiovascular mortality in nondiabetic European men and women. *Archives of internal medicine*, 164(10), 1066-1076.

Ibañez, J., Izquierdo, M., ARGuelles, I., Forga, L., Larrión, J. L., García-Unciti, M., ... & Gorostiaga, E. M. (2005). Twice-weekly progressive resistance training decreases abdominal fat and improves insulin sensitivity in older men with type 2 diabetes. *Diabetes care*, 28(3), 662-667.

- Ito S. (2019). High-intensity interval training for health benefits and care of cardiac diseases - The key to an efficient exercise protocol. *World journal of cardiology*, 11(7), 171–188. <https://doi.org/10.4330/wjc.v11.i7.171>
- Ivy, J. L., & Holloszy, J. O. (1981). Persistent increase in glucose uptake by rat skeletal muscle following exercise. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 241(5), C200-C203.
- Jenkins, D. W., & Jenks, A. (2017). Exercise and diabetes: a narrative review. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 56(5), 968-974.
- Johnson, N. A., Sachinwalla, T., Walton, D. W., Smith, K., Armstrong, A., Thompson, M. W., & George, J. (2009). Aerobic exercise training reduces hepatic and visceral lipids in obese individuals without weight loss. *Hepatology*, 50(4), 1105-1112.
- Kanaley, J. A., Colberg, S. R., Corcoran, M. H., Malin, S. K., Rodriguez, N. R., Crespo, C. J., ... & Zierath, J. R. (2022). Exercise/physical activity in individuals with type 2 diabetes: a consensus statement from the American College of Sports Medicine. *Medicine and science in sports and exercise*.
- Kim, S. Y., Busch, A. J., Overend, T. J., Schachter, C. L., van der Spuy, I., Boden, C., ... & Cochrane Musculoskeletal Group. (1996). Flexibility exercise training for adults with fibromyalgia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019(9)
- Kirwan, J. P., Sacks, J., & Nieuwoudt, S. (2017). The essential role of exercise in the management of type 2 diabetes. *Cleveland Clinic journal of medicine*, 84(7 Suppl 1), S15.
- Knowler, W. C., Barrett-Connor, E., Fowler, S. E., Hamman, R. F., Lachin, J. M., Walker, E. A., Nathan, D. M., & Diabetes Prevention Program Research Group (2002). Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *The New England journal of medicine*, 346(6), 393–403. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa012512>
- Korkiakangas, E. E., Alahuhta, M. A., & Laitinen, J. H. (2009). Barriers to regular exercise among adults at high risk or diagnosed with type 2 diabetes: a systematic review. *Health promotion international*, 24(4), 416-427.
- Kosaka, K., Noda, M., & Kuzuya, T. (2005). Prevention of type 2 diabetes by lifestyle intervention: a Japanese trial in IGT males. *Diabetes research and clinical practice*, 67(2), 152-162.
- Kumar, A. S., Maiya, A. G., Shastry, B. A., Vaishali, K., Ravishankar, N., Hazari, A., ... & Jadhav, R. (2019). Exercise and insulin resistance in type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 62(2), 98-103.
- Kwon, T., Lamster, I. B., & Levin, L. (2021). Current concepts in the management of periodontitis. *International dental journal*, 71(6), 462-476.

- Larsen, J. J., Dela, F. L. E. M. M. I. N. G., Madsbad, S. T. E. N., Vibe-Petersen, J. E. T. T. E., & Galbo, H. (1999). Interaction of sulfonylureas and exercise on glucose homeostasis in type 2 diabetic patients. *Diabetes care*, 22(10), 1647-1654.
- Lean, M. E., Leslie, W. S., Barnes, A. C., Brosnahan, N., Thom, G., McCombie, L., ... & Taylor, R. (2019). Durability of a primary care-led weight-management intervention for remission of type 2 diabetes: 2-year results of the DiRECT open-label, cluster-randomised trial. *The lancet Diabetes & endocrinology*, 7(5), 344-355.
- Lehmann, R., Kaplan, V., Bingisser, R., Bloch, K. E., & Spinass, G. A. (1997). Impact of physical activity on cardiovascular risk factors in IDDM. *Diabetes care*, 20(10), 1603-1611.
- Levine, J. A. (2002). Non-exercise activity thermogenesis (NEAT). *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 16(4), 679-702.
- Lindström, J., Louheranta, A., Mannelin, M., Rastas, M., Salminen, V., Eriksson, J., Uusitupa, M., Tuomilehto, J., & Finnish Diabetes Prevention Study Group (2003). The Finnish Diabetes Prevention Study (DPS): Lifestyle intervention and 3-year results on diet and physical activity. *Diabetes care*, 26(12), 3230–3236. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.12.3230>
- Loimaala, A., Huikuri, H. V., Koobi, T., Rinne, M., Nenonen, A., & Vuori, I. (2003). Exercise training improves baroreflex sensitivity in type 2 diabetes. *Diabetes*, 52(7), 1837-1842.
- Look AHEAD Research Group. (2014). Eight-year weight losses with an intensive lifestyle intervention: the look AHEAD study. *Obesity*, 22(1), 5-13.
- Lu, X., & Zhao, C. (2020). Exercise and type 1 diabetes. *Physical Exercise for Human Health*, 107-121.
- Magkos, F., Hjorth, M. F., & Astrup, A. (2020). Diet and exercise in the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus. *Nature Reviews Endocrinology*, 16(10), 545-555.
- Mann, J. I., De Leeuw, I., Hermansen, K. D. S. G., Karamanos, B., Karlström, B., Katsilambros, N., ... & European Association for the Study of Diabetes (EASD). (2004). Evidence-based nutritional approaches to the treatment and prevention of diabetes mellitus. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 14(6), 373-394.
- Marcellusi, A., Viti, R., Mecozzi, A., & Mennini, F. S. (2016). The direct and indirect cost of diabetes in Italy: a prevalence probabilistic approach. *The European Journal of Health Economics*, 17, 139-147.
- McMahon, S. K., Ferreira, L. D., Ratnam, N., Davey, R. J., Youngs, L. M., Davis, E. A., ... & Jones, T. W. (2007). Glucose requirements to maintain euglycemia after moderate-intensity afternoon exercise in adolescents with type 1 diabetes are increased in a biphasic manner. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 92(3), 963-968.

Mendes, M. D. A., Da Silva, I., Ramires, V., Reichert, F., Martins, R., Ferreira, R., & Tomasi, E. (2018). Metabolic equivalent of task (METs) thresholds as an indicator of physical activity intensity. *PloS one*, *13*(7), e0200701.

Mittleman, M. A., Maclure, M., Tofler, G. H., Sherwood, J. B., Goldberg, R. J., & Muller, J. E. (1993). Triggering of acute myocardial infarction by heavy physical exertion--protection against triggering by regular exertion. *New England Journal of Medicine*, *329*(23), 1677-1683

Mosher, P. E., Nash, M. S., Perry, A. C., LaPerriere, A. R., & Goldberg, R. B. (1998). Aerobic circuit exercise training: effect on adolescents with well-controlled insulin-dependent diabetes mellitus. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *79*(6), 652-657.

Nathan, D. M., Buse, J. B., Davidson, M. B., Ferrannini, E., Holman, R. R., Sherwin, R., & Zinman, B. (2009). Medical management of hyperglycaemia in type 2 diabetes mellitus: a consensus algorithm for the initiation and adjustment of therapy: a consensus statement from the American Diabetes Association and the European Association for the Study of Diabetes. *Diabetologia*, *52*, 17-30.

Nieuwoudt, S., Fealy, C. E., Foucher, J. A., Scelsi, A. R., Malin, S. K., Pagadala, M., ... & Kirwan, J. P. (2017). Functional high-intensity training improves pancreatic  $\beta$ -cell function in adults with type 2 diabetes. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, *313*(3), E314-E320.

Orchard, T. J., & Costacou, T. (2010). When are type 1 diabetic patients at risk for cardiovascular disease?. *Current diabetes reports*, *10*, 48-54

Ostman, C., Jewiss, D., King, N., & Smart, N. A. (2018). Clinical outcomes to exercise training in type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Diabetes research and clinical practice*, *139*, 380-391.

Pan, X. R., Li, G. W., Hu, Y. H., Wang, J. X., Yang, W. Y., An, Z. X., Hu, Z. X., Lin, J., Xiao, J. Z., Cao, H. B., Liu, P. A., Jiang, X. G., Jiang, Y. Y., Wang, J. P., Zheng, H., Zhang, H., Bennett, P. H., & Howard, B. V. (1997). Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance. The Da Qing IGT and Diabetes Study. *Diabetes care*, *20*(4), 537-544. <https://doi.org/10.2337/diacare.20.4.537>

Peirce, N. S. (1999). Diabetes and exercise. *British journal of sports medicine*, *33*(3), 161-172.

Penn, L., White, M., Oldroyd, J., Walker, M., Alberti, K. G. M., & Mathers, J. C. (2009). Prevention of type 2 diabetes in adults with impaired glucose tolerance: the European Diabetes Prevention RCT in Newcastle upon Tyne, UK. *BMC Public Health*, *9*, 1-14.

Piercy, Katrina L., Richard P. Troiano, Rachel M. Ballard, Susan A. Carlson, Janet E. Fulton, Deborah A. Galuska, Stephanie M. George, and Richard D. Olson. "The physical activity guidelines for Americans." *Jama* 320, no. 19 (2018): 2020-2028.

Polonsky, K. S. (2012). The past 200 years in diabetes. *New England Journal of Medicine*, 367(14), 1332-1340.

Pop-Busui, R., Boulton, A. J., Feldman, E. L., Bril, V., Freeman, R., Malik, R. A., ... & Ziegler, D. (2017). Diabetic neuropathy: a position statement by the American Diabetes Association. *Diabetes care*, 40(1), 136.

Popp, D. A., Shah, S. D., & Cryer, P. E. (1982). Role of epinephrine-mediated  $\beta$ -adrenergic mechanisms in hypoglycemic glucose counterregulation and posthypoglycemic hyperglycemia in insulin-dependent diabetes mellitus. *The Journal of clinical investigation*, 69(2), 315-326.

Powers, M. A., Bardsley, J., Cypress, M., Duker, P., Funnell, M. M., Hess Fischl, A., ... & Vivian, E. (2015). Diabetes self-management education and support in type 2 diabetes: a joint position statement of the American Diabetes Association, the American Association of Diabetes Educators, and the Academy of Nutrition and Dietetics. *Diabetes care*, 38(7), 1372-1382.

Primavera, M., Giannini, C., & Chiarelli, F. (2020). Prediction and prevention of type 1 diabetes. *Frontiers in endocrinology*, 11, 248.

Prospective Studies Collaboration. (2009). Body-mass index and cause-specific mortality in 900 000 adults: collaborative analyses of 57 prospective studies. *The Lancet*, 373(9669), 1083-1096

Ramachandran, A., Snehalatha, C., Mary, S., Mukesh, B., Bhaskar, A. D., Vijay, V., & Indian Diabetes Prevention Programme (IDPP) (2006). The Indian Diabetes Prevention Programme shows that lifestyle modification and metformin prevent type 2 diabetes in Asian Indian subjects with impaired glucose tolerance (IDPP-1). *Diabetologia*, 49(2), 289–297. <https://doi.org/10.1007/s00125-005-0097-z>

Ramalho, A. C., de Lourdes Lima, M., Nunes, F., Cambuí, Z., Barbosa, C., Andrade, A., ... & Temístocles, M. (2006). The effect of resistance versus aerobic training on metabolic control in patients with type-1 diabetes mellitus. *Diabetes research and clinical practice*, 72(3), 271-276.

Reddy, R., El Youssef, J., Winters-Stone, K., Branigan, D., Leitschuh, J., Castle, J., & Jacobs, P. G. (2018). The impact of exercise on sleep in adults with type 1 diabetes. *Diabetes Obes Metab*, 20(2), 443-447.

Reed, J. L., & Pipe, A. L. (2014). The talk test: a useful tool for prescribing and monitoring exercise intensity. *Current opinion in cardiology*, 29(5), 475-480.

- Riddell, M. C., Gallen, I. W., Smart, C. E., Taplin, C. E., Adolfsson, P., Lumb, A. N., ... & Laffel, L. M. (2017). Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *The lancet Diabetes & endocrinology*, 5(5), 377-390.
- Riddell, M., & Perkins, B. A. (2009). Exercise and glucose metabolism in persons with diabetes mellitus: perspectives on the role for continuous glucose monitoring. *Journal of diabetes science and technology*, 3(4), 914-923.
- Ruderman, N. B., Carling, D., Prentki, M., & Cacicedo, J. M. (2013). AMPK, insulin resistance, and the metabolic syndrome. *The Journal of clinical investigation*, 123(7), 2764-2772.
- Saad, M. F., Lillioja, S., Nyomba, B. L., Castillo, C., Ferraro, R., De Gregorio, M., ... & Bogardus, C. (1991). Racial differences in the relation between blood pressure and insulin resistance. *New England Journal of Medicine*, 324(11), 733-739.
- Sargent, D. A. (1921). The physical test of a man. *American physical education review*, 26(4), 188-194.
- Stratton, I. M., Adler, A. I., Neil, H. A. W., Matthews, D. R., Manley, S. E., Cull, C. A., ... & Holman, R. R. (2000). Association of glycaemia with macrovascular and microvascular complications of type 2 diabetes (UKPDS 35): prospective observational study. *Bmj*, 321(7258), 405-412.
- Taplin, C. E., Cobry, E., Messer, L., McFann, K., Chase, H. P., & Fiallo-Scharer, R. (2010). Preventing post-exercise nocturnal hypoglycemia in children with type 1 diabetes. *The Journal of pediatrics*, 157(5), 784-788.
- Thomas, D., Elliott, E. J., & Naughton, G. A. (2006). Exercise for type 2 diabetes mellitus. *Cochrane database of systematic reviews*, (3).
- Tiainen, S., Kiviniemi, A., Hautala, A., Huikuri, H., Ukkola, O., Tokola, K., ... & Vasankari, T. (2018). Effects of a two-year home-based exercise training program on oxidized LDL and HDL lipids in coronary artery disease patients with and without type-2 diabetes. *Antioxidants*, 7(10), 144.
- Torjesen, P. A., Birkeland, K. I., Anderssen, S. A., Hjermann, I., Holme, I., & Urdal, P. (1997). Lifestyle changes may reverse development of the insulin resistance syndrome. The Oslo Diet and Exercise Study: a randomized trial. *Diabetes care*, 20(1), 26-31.
- Tsujiuchi, T., Kumano, H., Yoshiuchi, K., He, D., Tsujiuchi, Y., Kuboki, T., ... & Hirao, K. (2002). The effect of Qi-gong relaxation exercise on the control of type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial. *Diabetes care*, 25(1), 241-242.
- Tuomilehto, J., Lindström, J., Eriksson, J. G., Valle, T. T., Hämäläinen, H., Ilanne-Parikka, P., ... & Uusitupa, M. (2001). Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *New england journal of medicine*, 344(18), 1343-1350.

Vaara, J. P., Kyröläinen, H., Niemi, J., Ohrankämmen, O., Häkkinen, A., Kocay, S., & Häkkinen, K. (2012). Associations of maximal strength and muscular endurance test scores with cardiorespiratory fitness and body composition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(8), 2078-2086.

Van Der Heijden, G. J., Wang, Z. J., Chu, Z., Toffolo, G., Manesso, E., Sauer, P. J., & Sunehag, A. L. (2010). Strength exercise improves muscle mass and hepatic insulin sensitivity in obese youth. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(11), 1973

Vanhees, L., Lefevre, J., Philippaerts, R., Martens, M., Huygens, W., Troosters, T., & Beunen, G. (2005). How to assess physical activity? How to assess physical fitness?. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation : official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 12(2), 102–114. <https://doi.org/10.1097/01.hjr.0000161551.73095.9c>

Vincent, K. R., Braith, R. W., Feldman, R. A., Kallas, H. E., & Lowenthal, D. T. (2002). Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Archives of Internal Medicine*, 162(6), 673-678.

Von Engelhardt, D. (1989). Matthew Dobson (1735–1784). Clinical Investigator of Diabetes Mellitus. *Diabetes Its Medical and Cultural History: Outlines—Texts—Bibliography*, 235-237.

Wang, Z. M., Pierson Jr, R. N., & Heymsfield, S. B. (1992). The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *The American journal of clinical nutrition*, 56(1), 19-28.

Wickramaratne, P. C., Phuoc, J. C., & Albattat, A. R. S. (2020). A review of Wellness Dimension models: For the advancement of the Society. *European Journal of Social Sciences Studies*.

Wilcox G. (2005). Insulin and insulin resistance. *The Clinical biochemist. Reviews*, 26(2), 19–39.

Williams, M. A., Haskell, W. L., Ades, P. A., Amsterdam, E. A., Bittner, V., Franklin, B. A., ... & Stewart, K. J. (2007). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation*, 116(5), 572-584.

Williams, N. (2017). The Borg rating of perceived exertion (RPE) scale. *Occupational medicine*, 67(5), 404-405.

Williams, T. D., Toluoso, D. V., Fedewa, M. V., & Esco, M. R. (2017). Comparison of periodized and non-periodized resistance training on maximal strength: a meta-analysis. *Sports medicine*, 47, 2083-2100

Wu, N., Bredin, S. S., Guan, Y., Dickinson, K., Kim, D. D., Chua, Z., ... & Warburton, D. E. (2019). Cardiovascular health benefits of exercise training in persons living with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Journal of clinical medicine*, 8(2), 253.

Yardley, J. E., Hay, J., Abou-Setta, A. M., Marks, S. D., & McGavock, J. (2014). A systematic review and meta-analysis of exercise interventions in adults with type 1 diabetes. *Diabetes research and clinical practice*, 106(3), 393-400.

Yaribeygi, H., Butler, A. E., & Sahebkar, A. (2019). Aerobic exercise can modulate the underlying mechanisms involved in the development of diabetic complications. *Journal of cellular physiology*, 234(8), 12508-12515.

Yau, J. W., Rogers, S. L., Kawasaki, R., Lamoureux, E. L., Kowalski, J. W., Bek, T., ... & Meta-Analysis for Eye Disease (META-EYE) Study Group. (2012). Global prevalence and major risk factors of diabetic retinopathy. *Diabetes care*, 35(3), 556-564.

Zierath J. R. (2002). Invited review: Exercise training-induced changes in insulin signaling in skeletal muscle. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 93(2), 773–781. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00126.2002>

Zinman, B., Ruderman, N., Campagne, B. N., Devlin, J. T., & Schneider, S. H. (2003). Physical activity/exercise and diabetes mellitus. *Diabetes Care, Suppl.American Diabetes Association: Clinical Practice...*, 26, S73-7. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.2007.S73>

# SITOGRAFIA

Legenda: consultata a Marzo 2023 (1-31), consultata ad Aprile 2023 (32-37), consultata a Maggio 2023 (38-40).

1. <https://www.siditalia.it/divulgazione/storia-del-diabete>
2. <https://adiuvare.it/storia-del-diabete/>
3. <https://www.diabete.com/che-cosa-e-il-diabete/>
4. <https://diabetes.org/healthy-living/medication-treatments/insulin-other-injectables/insulin-basics> consultato a Marzo 2023
5. <https://idf.org/aboutdiabetes/what-is-diabetes.html> consultato a Marzo 2023
6. <https://www.epicentro.iss.it/diabete/>
7. <http://www.istat.it/it/archivio/171864> - ISTAT. Annuario statistico italiano 2015.
8. <http://www.epicentro.iss.it/passi/> - Rapporto nazionale Passi 2013: diabete
9. <https://www.siditalia.it/clinica/linee-guida-societari/send/80-linee-guida-documenti-societari/5025-rapporto-arno-diabete-2019>
10. <https://www.epicentro.iss.it/diabete/epidemiologia-italia>
11. <https://www.idf.org/aboutdiabetes/what-is-diabetes/facts-figures.html>
12. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/overview/what-is-diabetes/prediabetes-insulin-resistance>
13. <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/obesity/multimedia/vid-20536756>
14. <https://www.idf.org/aboutdiabetes/type-2-diabetes.html>
15. <https://dri.hsr.it/la-malattia/fattori-di-rischio/>
16. <https://www.epicentro.iss.it/obesita/>
17. <https://www.salute.gov.it/portale/alleanzaCardioCerebrovascolari/dettaglioSchedeAlleanzaCardioCerebrovascolari.jsp?lingua=italiano&id=18&area=Alleanza%20italiana%20per%20le%20malattie%20cardio-cerebrovascolari&menu=malattie>
18. <https://www.idf.org/aboutdiabetes/complications.html>
19. <https://www.heart.org/en/health-topics/diabetes/diabetes-complications-and-risks/cardiovascular-disease--diabetes>
20. <https://www.idf.org/our-activities/care-prevention/cardiovascular-disease.html>
21. <https://diabetes.org/diabetes/cardiovascular-disease>
22. <https://www.idf.org/our-activities/care-prevention/diabetes-and-the-kidney.html>
23. <https://www.heart.org/en/health-topics/diabetes/diabetes-complications-and-risks/kidney-disease--diabetes>
24. <https://diabetes.org/diabetes/newly-diagnosed/health-checks-people-with-diabetes>
25. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/overview/preventing-problems/diabetic-kidney-disease#keephealthy>
26. <https://diabetes.org/diabetes/neuropathy>
27. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/overview/preventing-problems/nerve-damage-diabetic-neuropathies/what-is-diabetic-neuropathy>
28. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/overview/preventing-problems/diabetic-eye-disease>

29. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diabetes/overview/preventing-problems/gum-disease-dental-problems>
30. <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/gestational-diabetes/symptoms-causes/syc-20355339>
31. <https://www.idf.org/aboutdiabetes/prevention.html>
32. <https://training.microgate.it/it/campi-duso/endurance>
33. <https://www.epicentro.iss.it/passi/indicatori/attivitàFisica>
34. <https://www.acsm.org/education-resources/pronouncements-scientific-communications/position-stand>
35. <https://www.diabeteshealth.com/exercise-often-raises-blood-glucose-in-type-1-diabetes/>
36. <https://beyondtype1.org/bill-carlson-the-man-the-myth-the-legend/>
37. <https://www.kidshealth.org.nz/how-children-type-1-diabetes-can-exercise-safely>
38. <https://diabetes.org/healthy-living/fitness>
39. <https://diabetes.org/healthy-living/fitness/balance-training>
40. <https://diabetes.org/healthy-living/fitness/weekly-exercise-targets>

## **LIBRI DI TESTO**

- L. Triolo (1996). Medicina per operatori sanitari. Padova: Piccin.
- L. Sherwood (2012). Fondamenti di fisiologia umana. Padova: Piccin.
- Dietsey P. e Pivato S. (2019). Storia dello Sport in Italia. Il Mulino
- Paoli et al. 2019. Principi di metodologia del fitness. Forlì: Erika editrice
- Campanino, M. Allenarsi alla salute.

## RINGRAZIAMENTI

Provo un senso di estrema gratitudine al termine di questo percorso, da una parte infinito ma dall'altra troppo breve.

Ci tengo subito a ringraziare i miei genitori, che mi sono stati accanto in questi anni dall'inizio alla fine, tra alti e bassi, sostenendo sempre le mie scelte e spronandomi a dare il massimo.

Un grande ringraziamento va al prof. Casolo, che si è reso fin dal primo anno disponibile nei confronti delle mie curiosità inerenti al tema e che mi ha accompagnato in questo percorso di tesi fornendomi diversi spunti per migliorare.

Ringrazio anche il prof. Pacelli, che è stato in grado di trasmettere nelle sue lezioni una passione ardente, la quale mi guida tutt'ora sulla scelta del mio percorso formativo.

Grazie a Thomas, che è stata la principale motivazione del mio interesse e che ha reso quest'elaborato un viaggio ricco di curiosità e novità.

Rivolgo un sincero ringraziamento soprattutto ai miei amici, fonte di sostegno e motivazione dall'inizio.

Desidero esprimere un ultimo ringraziamento ai datori di lavoro che mi hanno offerto l'opportunità di conciliare le mie esigenze scolastiche con quelle lavorative nel corso di questi anni.