



# **Usare Apple Watch per valutare il tono cardiovascolare con $VO_2$ max**

Maggio 2021

# Indice

<b>Panoramica .....</b>	<b>3</b>
Introduzione .....	3
Definizione .....	3
Misurazione e stima .....	3
Utilità .....	3
Fattori genetici .....	4
Azioni .....	4
<b>Tono cardiovascolare su Apple Watch .....</b>	<b>4</b>
Descrizione del parametro .....	4
Sviluppo .....	7
Progettazione dello studio .....	7
Metodi statistici .....	7
Risultati .....	8
Discussione .....	10
<b>Conclusioni .....</b>	<b>12</b>
<b>Riferimenti .....</b>	<b>12</b>

# Panoramica

Con watchOS 7, Apple Watch Series 3 e modelli successivi utilizzano un algoritmo aggiornato per stimare il livello di tono cardiovascolare di un utente misurato tramite il valore  $VO_2$  max, il volume massimo di ossigeno che un individuo può assorbire dall'aria inalata. Questo aggiornamento estende le stime del valore  $VO_2$  max a intervalli più bassi, espandendo al contempo la disponibilità di questo parametro. Inoltre, con watchOS 7.2, gli utenti possono visualizzare come viene classificato il loro livello di tono cardiovascolare in base alla fascia d'età e al sesso nell'app Salute su iPhone e ricevere una notifica se rientra nella fascia bassa. Questo articolo illustra in dettaglio le possibilità offerte da queste funzioni, oltre a come sono state testate e convalidate.

## Introduzione

### Definizione

Il  $VO_2$  max è il volume massimo di ossigeno che un individuo può assorbire dall'aria inalata e consumare attraverso il metabolismo cellulare. Come tale, il  $VO_2$  max è un buon indicatore generale della capacità cardiorespiratoria (CRF) poiché incorpora sistemi multi-organo ed è influenzato da una serie di fattori in vari punti del percorso, dalla respirazione al consumo di ossigeno dell'organo finale.<sup>1</sup> I valori di  $VO_2$  vengono in genere normalizzati per la massa corporea e riportati come millilitri di ossigeno per chilogrammo di massa corporea in un minuto (ml/kg/min). Normalmente diminuiscono con l'aumentare dell'età e, a livello di popolazione, differiscono tra i sessi biologici.<sup>2</sup>

### Misurazione e stima

Il  $VO_2$  max viene misurato durante il test da sforzo cardiopolmonare (CPET), una procedura in cui si chiede a un individuo di andare sulla cyclette o di camminare su un tapis roulant a livelli di intensità crescenti mentre indossa una maschera facciale, che permette la misurazione diretta dell'ossigeno nell'aria inalata ed espirata.<sup>3</sup> Nella maggior parte dei casi, il volume di ossigeno consumato dagli individui durante il test si stabilizza nonostante l'aumento dello sforzo e il livello fisso o picco di  $VO_2$  viene presunto e indicato come  $VO_2$  max, sebbene non vi sia la certezza che rappresenti effettivamente un valore massimo.<sup>4</sup>

In pratica, il  $VO_2$  max e/o la CRF sono più comunemente stimati da misurazioni effettuate durante lo sforzo submassimale, poiché questi test sono meno costosi e meno intensivi in termini di tempo rispetto al CPET massimale, richiedono meno sforzo e sono più comodi per il soggetto ed esistono prove significative per ricavare il  $VO_2$  max dallo sforzo submassimale.<sup>5</sup>

### Utilità

Negli ultimi 30 anni si è più volte osservato come la CRF, misurata dal  $VO_2$  max o dall'equivalente metabolico (MET) strettamente correlato, dove 1 MET = ~3,5 ml/kg/min, sia un indicatore della mortalità cardiovascolare e generale, così come di eventi cardiovascolari negli uomini e nelle donne.<sup>6,7,8</sup> In alcuni studi, la CRF era indipendente e maggiormente predittiva dei fattori di rischio noti per la mortalità cardiovascolare e generale come l'ipertensione, l'obesità e l'ipercolesterolemia.<sup>9,10,11</sup>

Grazie a questa utilità prognostica, i membri della comunità medica e scientifica hanno sostenuto l'inclusione di misure della CRF nella pratica medica di routine a supporto<sup>12</sup> o anche al posto di modelli di rischio tradizionali come il modello di Framingham.<sup>13</sup> Questa utilità predittiva si applica anche al di fuori della popolazione generale a coorti di malattia specifiche, come agli individui con insufficienza cardiaca,<sup>14</sup> e nel processo decisionale clinico relativo a eventi specifici come la gestione perioperatoria<sup>15,16</sup> e il rinvio alla riabilitazione cardiaca.<sup>17</sup> In risposta a queste e altre dimostrazioni di utilità, l'American Heart Association (AHA) nel 2016 ha sostenuto la valutazione della CRF su una base più regolare, difendendo la forma fisica come segno vitale.<sup>5</sup>

## Fattori genetici

I fattori genetici sono fortemente correlati al VO<sub>2</sub> max di un individuo e ai cambiamenti nel VO<sub>2</sub> max in risposta all'esercizio. Al basale, si ritiene che i fattori genetici determinino circa il 50-70% delle differenze di VO<sub>2</sub> max osservate tra gli individui<sup>18,19</sup> e circa il 20-60% della variazione nei miglioramenti del VO<sub>2</sub> max in risposta all'allenamento.<sup>5,20</sup>

## Azioni

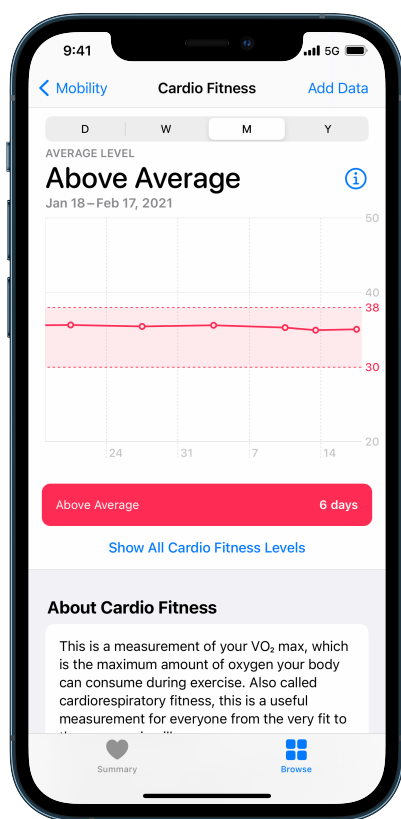
Migliorare o mantenere il VO<sub>2</sub> max nel tempo è fortemente associato a una diminuzione della mortalità. In uno studio condotto su oltre 500 uomini seguiti per 11 anni, Laukkanen et al. hanno scoperto che per ogni aumento di 1 ml/kg/min del VO<sub>2</sub> max, il rischio di morte diminuiva del 9%.<sup>21</sup> A livello di studio, l'allenamento a intervalli ad alta intensità produce i maggiori miglioramenti nel VO<sub>2</sub> max.<sup>22,23,24</sup> Nel corso di programmi dalla durata variabile tra le 6 e le 12 settimane, i miglioramenti del VO<sub>2</sub> max erano in genere compresi tra il 5 e il 10% (in ml/kg/min). È importante notare che le diminuzioni del VO<sub>2</sub> max in caso di diminuzione dell'attività o inattività sono state riportate come di entità simile o maggiore (diminuzione fino al 27%) nell'arco di periodi di tempo molto più brevi (2-3 settimane).<sup>25,26</sup> L'aumento dell'attività fisica in assenza di miglioramenti del VO<sub>2</sub> max non sembra conferire lo stesso beneficio di sopravvivenza in coloro il cui VO<sub>2</sub> max aumenta rispetto a coloro il cui VO<sub>2</sub> max non lo fa.<sup>27</sup>

# Tono cardiovascolare su Apple Watch

Questo articolo descrive lo sviluppo e la convalida del parametro del tono cardiovascolare, una stima del VO<sub>2</sub> max utilizzando Apple Watch. Il target di pubblico di questo documento è costituito da ricercatori, prestatori di assistenza sanitaria e sviluppatori che potrebbero essere interessati a utilizzare questa stima nel loro lavoro, così come i clienti che vorrebbero saperne di più sul VO<sub>2</sub> max e su come viene misurato e convalidato utilizzando Apple Watch. Ulteriori informazioni su come configurare e visualizzare le stime del VO<sub>2</sub> max per Apple Watch sono disponibili alla pagina [support.apple.com/it-it/HT211856](https://support.apple.com/it-it/HT211856).

## Descrizione del parametro

Il tono cardiovascolare su Apple Watch è una stima del VO<sub>2</sub> max di un utente in ml/kg/min, basata sulla misurazione della risposta della frequenza cardiaca dell'utente all'attività fisica. Gli aggiornamenti all'algoritmo utilizzato per stimare il VO<sub>2</sub> max in watchOS 7 estendono le stime a intervalli inferiori di tono cardiovascolare (tra 14 e 60 ml/kg/min) per gli utenti con Apple Watch Series 3 o modelli successivi. La figura 1 mostra una visualizzazione del VO<sub>2</sub> max in Tono cardiovascolare nell'app Salute su iOS 14. Un valore VO<sub>2</sub> max può essere generato dopo una camminata, una corsa o un'escursione all'aperto su un terreno relativamente piano (cioè con una pendenza o un pendio inferiore al 5%) con un GPS, una qualità del segnale della frequenza cardiaca e uno sforzo adeguati (aumento approssimativo del 30% dell'intervallo dalla frequenza cardiaca a riposo a quella massima). Il primo allenamento non genererà una stima e l'utente deve indossare il suo Apple Watch per un giorno prima che possa essere generata la prima.



**Figura 1: Tono cardiovascolare nell'app Salute su iOS 14**

Queste stime del VO<sub>2</sub> max sono basate su previsioni submassimali del VO<sub>2</sub> max piuttosto che sul VO<sub>2</sub> di picco. Pertanto, gli utenti non hanno bisogno di raggiungere la frequenza cardiaca di picco per avere una stima; tuttavia, è necessaria una nozione di frequenza cardiaca di picco. Per questo motivo, gli utenti che assumono farmaci che potenzialmente riducono la frequenza cardiaca di picco possono indicare in Dettagli Salute dell'app Salute i farmaci assunti per consentire stime più accurate del VO<sub>2</sub> max (vedere la figura 2).

Grazie a una funzionalità introdotta in iOS 14.3, gli utenti dai 20 anni in su possono ricevere una notifica se il loro livello di tono cardiovascolare, misurato tramite il VO<sub>2</sub> max stimato, risulta costantemente e verosimilmente abbastanza basso da suggerire il rischio di problemi di salute a lungo termine o di limitazione attuale nelle attività quotidiane. Per gli utenti di età compresa tra i 20 e i 59 anni, questa soglia di notifica è il quintile più basso per sesso ed età per decennio, come stabilito dal Fitness Registry and Importance of Exercise National Database;<sup>2</sup> per gli utenti di età pari o superiore ai 60 anni, vengono utilizzate soglie assolute di VO<sub>2</sub> max di 18 e 15 ml/kg/min, rispettivamente per maschi e femmine, in base a dati che indicano queste soglie come necessarie per una vita indipendente nelle classi di età agli estremi in entrambi i sessi.<sup>28</sup> Gli utenti che desiderano ricevere notifiche sul tono cardiovascolare basso devono fornire il proprio consenso, che richiede il completamento di un'esperienza di onboarding nell'app Salute che descrive le funzioni; raccoglie informazioni come età, sesso e farmaci pertinenti, necessarie per fornire un avviso accurato; delinea i fattori che possono ridurre il tono cardiovascolare; e fornisce contenuti didattici opzionali che descrivono l'importanza del VO<sub>2</sub> max e le potenziali cause di una notifica (vedere figura 3).

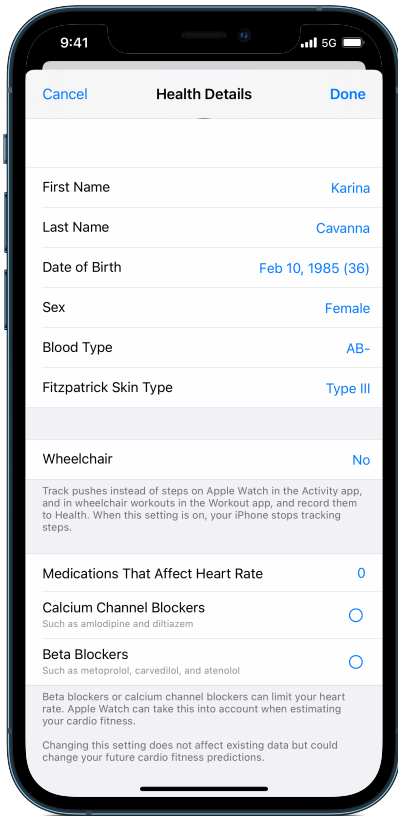


Figura 2: I farmaci che influenzano la frequenza cardiaca possono essere annotati in Dettagli Salute nell'app Salute su iOS 14

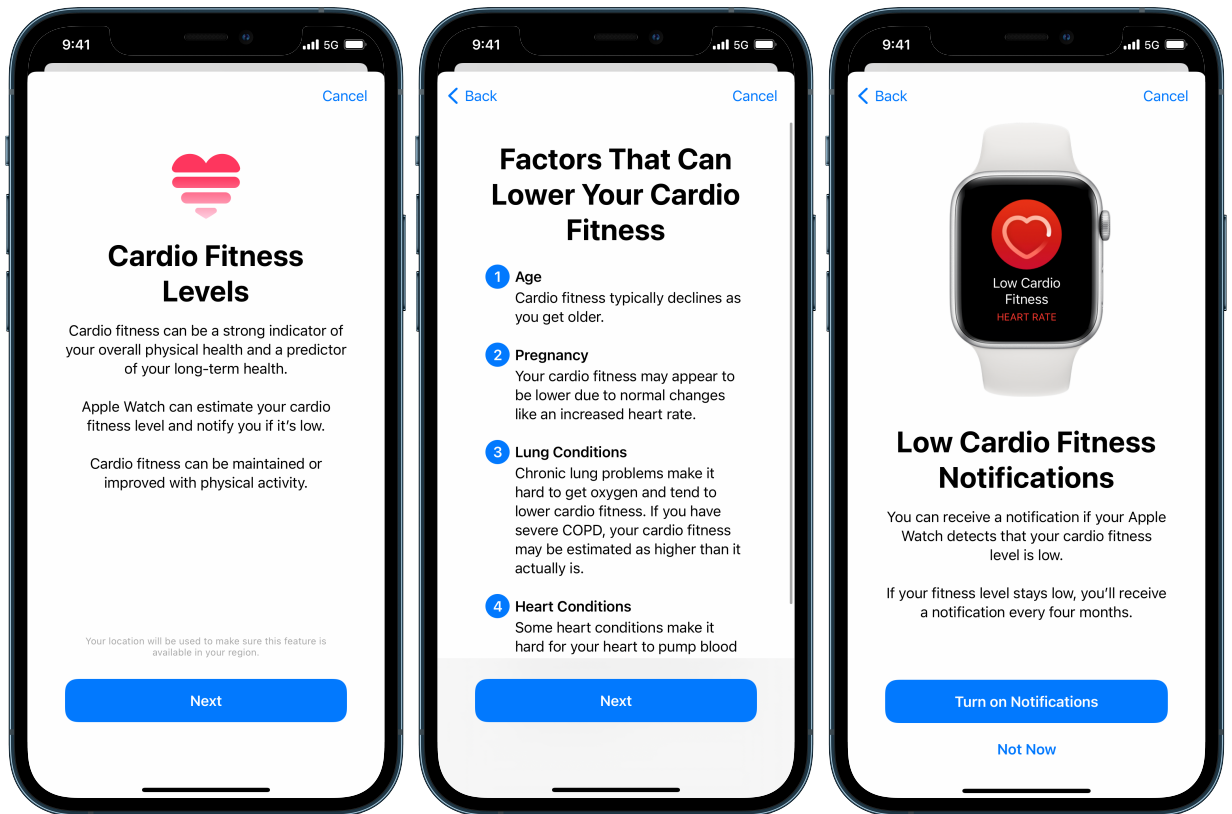


Figura 3: Onboarding per le notifiche sul Tono cardiovascolare nell'app Salute su iOS 14

# Sviluppo

## Progettazione dello studio

Apple ha raccolto dati per la progettazione e la convalida del parametro  $VO_2$  max attraverso più studi, approvati da un comitato di revisione istituzionale (IRB), che hanno coinvolto partecipanti che hanno acconsentito alla raccolta e all'utilizzo dei loro dati a tale scopo.

I partecipanti allo studio hanno completato i test del  $VO_2$  max, i test del  $VO_2$  submassimale o entrambi, denominati test da sforzo cardiopolmonare o CPET, mentre indossavano un Apple Watch Series 4. Sono stati utilizzati diversi protocolli di test CPET, tra cui il tapis roulant e il cicloergometro. Ciascun partecipante ha completato fino a sei CPET nel corso degli studi, con almeno 10 giorni tra test consecutivi per garantire che i partecipanti avessero tempo sufficiente per riposare tra i test e periodi adeguati per la raccolta dei dati prima e dopo i singoli CPET. I dati del CPET sono stati utilizzati per verificare il corretto completamento del protocollo e il raggiungimento da parte dei partecipanti di almeno il 60% della frequenza cardiaca massima prevista. I test per i quali erano presenti un'anomalia negli scambi gassosi, un segnale di bassa qualità della frequenza cardiaca, un'aritmia rilevata, un dolore segnalato o un'inefficienza biomeccanica sono stati esclusi da tutte le ulteriori analisi. I test che hanno superato le fasi di verifica sono stati utilizzati nello sviluppo dell'algoritmo. Per ottenere il  $VO_2$  max di riferimento di ciascun partecipante, sono state effettuate proiezioni lineari utilizzando la frequenza cardiaca e il  $VO_2$  nell'intervallo submassimale per determinare il  $VO_2$  max basato sulla frequenza cardiaca massima prevista per l'età. La frequenza cardiaca massima prevista è stata abbassata per gli utenti che assumono farmaci che limitano la frequenza cardiaca, come i betabloccanti, secondo le previsioni pubblicate.<sup>29</sup>

Oltre a indossare l'Apple Watch durante i CPET supervisionati, i partecipanti hanno indossato l'Apple Watch e portato con sé l'iPhone durante le loro attività quotidiane nel corso degli studi. Queste attività includevano allenamenti registrati dai partecipanti. Durante questo periodo sono stati raccolti dati da una varietà di sensori dell'Apple Watch (fotopletimografo, accelerometro, giroscopio, barometro e GPS), che sono stati utilizzati nella progettazione dell'algoritmo del  $VO_2$  max.

Un sottogruppo di partecipanti allo studio è stato escluso da tutti i dati di progettazione dell'algoritmo per verificare l'accuratezza dell'algoritmo ed evitare l'overfitting. Le performance dell'algoritmo sono state calcolate confrontando l'ultima stima valida del  $VO_2$  max su Apple Watch con la media delle proiezioni submassimali di tutti i CPET vagliati per ciascun partecipante, salvo diversa indicazione.

## Metodi statistici

La validità del  $VO_2$  max su Apple Watch è stata calcolata come deviazione media e standard degli errori tra l'ultima stima del  $VO_2$  max medio valida su Apple Watch e la proiezione del  $VO_2$  max submassimale medio da tutti i CPET vagliati per ciascun partecipante. L'affidabilità, indicata come coefficiente di correlazione intraclassa (ICC), è stata valutata calcolando la concordanza assoluta per partecipante tra l'ultima stima valida del  $VO_2$  max su Apple Watch e un precedente  $VO_2$  max su Apple Watch stimato almeno 28 giorni prima. La coerenza del  $VO_2$  max su Apple Watch è espressa come la mediana e la deviazione standard al 90° percentile per partecipante di tutte le stime del  $VO_2$  max su Apple Watch per i partecipanti che avevano almeno cinque stime. Infine, la disponibilità del  $VO_2$  max su Apple Watch è calcolata in due modi: la percentuale di tutti gli allenamenti a piedi all'aperto di durata superiore a 5,75 minuti di tutti i partecipanti che producono una stima del  $VO_2$  max su Apple Watch e la percentuale dei partecipanti che hanno completato almeno 10 allenamenti a piedi all'aperto di durata superiore a 5,75 minuti che hanno ricevuto almeno una stima del  $VO_2$  max su Apple Watch dopo 10 allenamenti.

## Risultati

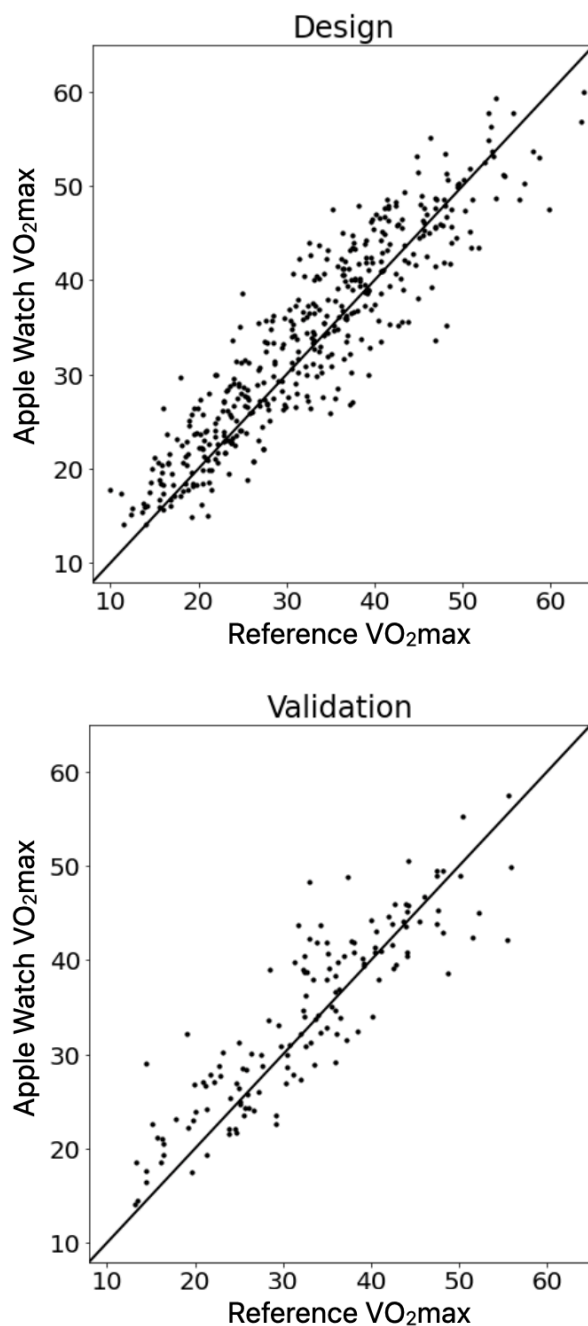
Le caratteristiche di base dei partecipanti i cui dati sono stati utilizzati per la progettazione e la convalida sono riassunti nella tabella 1.

**Tabella 1. Caratteristiche dei partecipanti**

	Progettazione (N = 534)	Convalida (N = 221)
<b>Sesso: numero (%)</b>		
Donna	191 (36)	94 (43)
Uomo	343 (64)	127 (57)
<b>Età: anni* (media ± SD)</b>	<b>53 ± 18</b>	<b>55 ± 17</b>
<b>Distribuzione per età: numero (%)</b>		
<45 anni	207 (39)	74 (33)
45-54 anni	67 (13)	26 (12)
55-65 anni	57 (11)	36 (16)
>65 anni	203 (38)	85 (38)
<b>VO<sub>2</sub> max di riferimento: ml/kg/min (media ± SD)</b>	<b>31,7 ± 10,6</b>	<b>29,7 ± 10,5</b>
<b>Periodo di osservazione: giorni (media ± SD)</b>	<b>441 ± 137</b>	<b>390 ± 138</b>
<b>Comorbidità: numero (%)</b>		
Artrite	51 (10)	17 (8)
Diabete	38 (7)	23 (10)
Anamnesi di ictus	9 (2)	5 (2)
Coronaropatia	41 (8)	24 (11)
Anamnesi di infarto del miocardio	34 (6)	16 (7)
BPCO	4 (1)	3 (1)
Insufficienza cardiaca	10 (2)	5 (2)
Iperensione	121 (22)	47 (21)
<b>Stato di fumatore (sigarette): numero (%)</b>		
Fumatore	5 (1)	1 (1)
Ex fumatore	63 (12)	37 (17)
Mai fumato	300 (56)	129 (58)
Stato di fumatore sconosciuto	166 (31)	54 (24)
<b>Categoria IMC: numero (%)</b>		
Sottopeso (IMC < 18,5)	1 (<1)	2 (<1)
Normopeso (18,5 ≤ IMC < 25,0)	215 (40)	99 (45)
Sovrappeso (25,0 ≤ IMC < 30,0)	220 (41)	77 (35)
Obeso (IMC ≥ 30,0)	98 (18)	43 (19)
*In base all'anno di nascita.		



Le performance dell'algoritmo per i set di dati di progettazione e di convalida sono riportate nella tabella 2. Nella figura 4 è mostrato un grafico di riferimento ( $VO_2$  max medio derivato dal CPET per utente rispetto al  $VO_2$  max finale stimato dall'Apple Watch) per i partecipanti di progettazione e di convalida. Le performance dell'algoritmo sono state valutate in base ai dati raccolti durante gli allenamenti. Per un sottogruppo di partecipanti (132 di progettazione e 62 di convalida), il  $VO_2$  max è stato stimato anche al di fuori degli allenamenti durante periodi di camminata all'aperto per valutare la capacità di stimare il  $VO_2$  max quando un allenamento non è stato avviato sull'Apple Watch. In questi utenti, le stime non relative all'allenamento erano in media 0,32 ml/kg/min più alte delle stime di allenamento nel gruppo di progettazione. Nel gruppo di convalida non è stata rilevata alcuna differenza significativa tra le stime relative all'allenamento e quelle non relative all'allenamento.



**Figura 4:  $VO_2$  max di riferimento paragonato a quello stimato (ml/kg/min) nei partecipanti ai set di progettazione e convalida**

**Tabella 2. Performance del VO<sub>2</sub> max**

Parametro	Descrizione	Progettazione (N = 534)	Convalida (N = 221)
<b>Validità</b>	Errore (VO <sub>2</sub> max medio stimato - riferimento submassimale medio previsto): ml/kg/min (media ± SD)	1,2 ± 4,4	1,4 ± 4,7
<b>Affidabilità</b>	Confronto ICC A-1 tra l'ultima stima del VO <sub>2</sub> max utilizzando dati e metadati solo di quella sessione e una stima del VO <sub>2</sub> max di oltre 28 giorni prima utilizzando solo dati e metadati di quella sessione: ICC [intervallo di confidenza]	0,89 [0,86, 0,91]	0,86 [0,80, 0,90]
<b>Coerenza</b>	SD di pVO <sub>2</sub> max per utente: ml/kg/min (% di pVO <sub>2</sub> max)		
	Mediana	1,2 (3,7%)	1,2 (3,4%)
	90° percentile	2,6 (7,6%)	2,6 (7,2%)
<b>Disponibilità</b>	Percentuale di allenamenti a piedi all'aperto di durata superiore a 5,75 minuti che ricevono una stima	79%	78%
	Percentuale di partecipanti che hanno completato almeno 10 allenamenti a piedi all'aperto di durata superiore a 5,75 minuti e che hanno ricevuto almeno una stima nei loro primi 10 allenamenti	93%	93%

## Discussione

La valutazione della CRF tramite il VO<sub>2</sub> max viene sempre più spesso considerata un mezzo di stratificazione del rischio e alcuni studiosi ritengono sia da contemplare come segno vitale.<sup>5</sup> Nella pratica e nonostante i benefici dimostrati nell'applicazione, la misurazione oggettiva della CRF tramite CPET rimane poco frequente in parte a causa della spesa, dell'onere del partecipante e della limitata accettazione come standard di cura in più aree di specializzazione.<sup>30</sup> La stima accurata del VO<sub>2</sub> max di un utente attraverso la tecnologia indossabile potrebbe includere nello screening della CRF un ampio segmento della popolazione a un costo inferiore e potrebbe consentire il monitoraggio remoto dei pazienti tra una visita clinica e l'altra in programmi come la riabilitazione cardiaca. Tali stime del VO<sub>2</sub> max accurate e disponibili possono inoltre essere utilizzate per guidare la stratificazione del rischio e la risposta ai programmi progettati per ridurre il rischio, come la valutazione preoperatoria e la riabilitazione.<sup>31</sup>

L'algoritmo migliorato per la stima del VO<sub>2</sub> max su Apple Watch qui descritto è stato progettato e convalidato in una popolazione con un VO<sub>2</sub> max di riferimento che copre una vasta gamma di livelli di tono cardiovascolare, come mostrato nella figura 4. Quasi la metà dei partecipanti allo studio aveva più di 55 anni e circa il 10% presentava una malattia coronarica nota. La diversità razziale ed etnica nella popolazione dello studio non rispecchiava quella della popolazione statunitense; tuttavia, è stato osservato che la frequenza cardiaca, un elemento chiave per le stime del VO<sub>2</sub> max su Apple Watch, risultava costantemente precisa in diverse tonalità di pelle in studi interni ed esterni.<sup>32</sup>

L'estensione delle stime del VO<sub>2</sub> max a intervalli più bassi in watchOS 7 combinata con la stima al di fuori degli allenamenti aumenta la disponibilità di questo parametro per gli individui con un basso tono cardiovascolare. Oltre il 90% dei partecipanti con almeno una camminata all'aperto, una corsa all'aperto o un allenamento di trekking più lungo di tre minuti e monitorato con l'app Allenamento ha ricevuto almeno

una stima del VO<sub>2</sub> max su Apple Watch. Aumentare il numero di allenamenti a piedi all'aperto aumenterà la probabilità e la precisione di una stima del VO<sub>2</sub> max su Apple Watch.

La stima del VO<sub>2</sub> max su Apple Watch è accurata e affidabile rispetto ai metodi comunemente usati per misurare il VO<sub>2</sub> max, con un errore medio inferiore a 1 MET e un ICC superiore allo 0,85. L'accuratezza del VO<sub>2</sub> max su Apple Watch si avvicina all'accuratezza di riferimento; i protocolli di test da sforzo submassimale precedentemente misurati presentano un errore medio approssimativamente nullo e un errore standard di 1 MET.<sup>33</sup> In termini di affidabilità di test-retest, il VO<sub>2</sub> max su Apple Watch ha un ICC di 0,87 nei dati di convalida rispetto allo 0,75 nel test submassimale su tapis roulant.<sup>34</sup>

Con il nuovo algoritmo, le stime del VO<sub>2</sub> max per gli utenti che assumono farmaci che limitano la frequenza cardiaca, come beta bloccanti e calcio antagonisti, e li riportano nell'app Salute su un iPhone associato ad Apple Watch dovrebbero essere più precise rispetto alle stime fatte nelle precedenti versioni di iOS e watchOS. La gestione di questi farmaci non differenzia il dosaggio, la cardioselettività o l'attività simpaticomimetica intrinseca di alcuni betabloccanti, che potrebbero essere fattori significativi ma sono stati omessi in favore dell'usabilità. Con questo approccio, l'errore stimato per gli utenti della coorte di convalida che assumevano betabloccanti e calcio-antagonisti diminuiva da  $11,8 \pm 4,0$  ml/kg/min a  $1,6 \pm 3,1$  ml/kg/min quando le impostazioni in Dettagli Salute riflettevano adeguatamente il loro uso di farmaci. Gli utenti che assumono farmaci che limitano la frequenza cardiaca e non inseriscono queste informazioni otterranno stime superiori a quelle effettive; gli utenti che assumono dosi basse o secondo necessità di questi farmaci che non riducono in modo costante la frequenza cardiaca massima (ad esempio, il propranololo per l'ansia da prestazione) tenderanno a ottenere stime più precise se non inseriscono queste informazioni. Dato l'uso altamente prevalente di questi farmaci,<sup>35</sup> considerarli in modo appropriato è fondamentale per stimare accuratamente il VO<sub>2</sub> max, soprattutto per gli utenti più anziani.

In determinate condizioni, la stima del VO<sub>2</sub> max di un utente può essere imprecisa. Gli utenti che inseriscono età, sesso o peso errati nella loro app Salute potrebbero ottenere stime del VO<sub>2</sub> max costantemente imprecise. I normali cambiamenti fisiologici associati alla gravidanza possono portare a stime imprecise. Le stime individuali possono essere basse se i dati del sensore vengono registrati durante comportamenti che aumentano lo sforzo dell'utente in modi che Apple Watch non è in grado di rilevare con precisione. Esempi comuni di tali comportamenti includono il trasporto di un peso significativo superiore al peso corporeo, come uno zaino pesante o un bambino, e la camminata o la corsa su un terreno che aumenta lo sforzo dell'utente, come la sabbia. Allo stesso modo, utilizzare un dispositivo di assistenza o spingere un passeggino possono diminuire la disponibilità o la precisione delle stime del VO<sub>2</sub> max su Apple Watch. I fattori che aumentano la frequenza cardiaca, come la disidratazione, l'assunzione di caffeina, il caldo estremo o il recente passaggio ad altitudini elevate possono anche portare a sottostime. L'accuratezza del VO<sub>2</sub> max su Apple Watch può essere aumentata eseguendo allenamenti a piedi all'aperto frequenti, ottenendo uno sforzo maggiore durante gli allenamenti e indossando l'Apple Watch in modo costante per tutto il giorno oltre le tipiche sessioni di allenamento.

Gli utenti con incompetenza cronotropa, una condizione in cui la frequenza cardiaca non aumenta adeguatamente per compensare la domanda,<sup>36</sup> possono ottenere stime eccessive del VO<sub>2</sub> max. L'incompetenza cronotropa è prevalentemente associata allo scompenso cardiaco, che si verifica in circa il 30-80% (a seconda dei criteri diagnostici) dei pazienti affetti da questa patologia.<sup>37</sup> È stata inoltre collegata a porzioni significative di pazienti affetti da broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO),<sup>38</sup> lupus<sup>39</sup> e altre patologie autoimmuni.<sup>40</sup>

Oltre all'incompetenza cronotropa, anche altre patologie possono ridurre la precisione delle stime del VO<sub>2</sub> max su Apple Watch. Tra queste vi sono malattie o dispositivi medici che separano la frequenza cardiaca dal movimento o dall'esercizio fisico (ad esempio, dolore, aritmie, pacemaker o dispositivi di assistenza cardiaca); patologie che limitano fortemente la tolleranza all'esercizio, impedendo ai pazienti di raggiungere frequenze cardiache prossime alla frequenza cardiaca massima prevista (ad esempio, l'arteriopatia periferica); e patologie che aumentano significativamente la difficoltà di deambulazione, come le patologie scheletriche o neuromuscolari che compromettono l'andatura (ad esempio, la sclerosi multipla o la paralisi cerebrale).

# Conclusioni

Con watchOS 7 su Apple Watch Series 3 e modelli successivi, le stime di VO<sub>2</sub> max sono state estese a intervalli inferiori di tono muscolare, fornendo contemporaneamente agli utenti la possibilità di ricevere una notifica se il loro livello di tono muscolare è basso in base alla loro età e al sesso. Questo intervallo esteso, insieme alla maggiore disponibilità di stime e all'opzione per gli utenti che assumono farmaci che limitano la frequenza cardiaca di ricevere stime più precise di quelle precedentemente disponibili, può aumentare la capacità dei ricercatori e dei medici di utilizzare questo parametro per il monitoraggio della forma fisica negli adulti più anziani e in presenza di comorbidità.

# Riferimenti

<sup>1</sup>Stringer WW. Cardiopulmonary exercise testing: current applications. *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2010; 4(2): 179–188. doi: 10.1586/ers.10.8.

<sup>2</sup>Kaminsky LA, Arena R, Myers J. Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: Data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clinic Proceedings*. 2015; 90(11): 1515–1523. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.07.026.

<sup>3</sup>American Thoracic Society, American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2003; 167(2): 211–277. doi: 10.1164/rccm.167.2.211.

<sup>4</sup>Balady GJ, Arena R, Sietsema K, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010; 122(2): 191–225. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181e52e69.

<sup>5</sup>Ross R, Blair SN, Arena R, et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2016; 134(24): e653–e699. doi: 10.1161/CIR.0000000000000461.

<sup>6</sup>Blair SN, Kohl HW, Paffenbarger RS, et al. Physical Fitness and All-Cause Mortality: A Prospective Study of Healthy Men and Women. *JAMA*. 1989; 262(17): 2395–2401. doi: 10.1001/jama.1989.03430170057028.

<sup>7</sup>Mandsager K, Harb S, Cremer P, Phelan D, Nissen SE, Jaber W. Association of Cardiorespiratory Fitness With Long-term Mortality Among Adults Undergoing Exercise Treadmill Testing. *JAMA Network Open*. 2018; 1(6): e183605. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2018.3605.

<sup>8</sup>Clausen JSR, Marott JL, Holtermann A, Gyntelberg F, Jensen MT. Midlife Cardiorespiratory Fitness and the Long-Term Risk of Mortality: 46 Years of Follow-Up. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018; 72(9): 987–995. doi: 10.1016/j.jacc.2018.06.045.

<sup>9</sup>Mora S, Redberg RF, Cui Y, et al. Ability of exercise testing to predict cardiovascular and all-cause death in asymptomatic women: a 20-year follow-up of the lipid research clinics prevalence study. *JAMA*. 2003; 290(12): 1600–1607. doi: 10.1001/jama.290.12.1600.

<sup>10</sup>Laukkanen JA, Kurl S, Salonen R, Rauramaa R, Salonen JT. The predictive value of cardiorespiratory fitness for cardiovascular events in men with various risk profiles: a prospective population-based cohort study. *European Heart Journal*. 2004; 25(16): 1428–1437. doi: 10.1016/j.ehj.2004.06.013.

<sup>11</sup>Myers J, Nead KT, Chang P, Abella J, Kokkinos P, Leeper NJ. Improved reclassification of mortality risk by assessment of physical activity in patients referred for exercise testing. *The American Journal of Medicine*. 2015; 128(4): 396–402. doi: 10.1016/j.amjmed.2014.10.061.

<sup>12</sup>Kodama S, Saito K, Tanaka S, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*. 2009; 301(19): 2024–2035. doi: 10.1001/jama.2009.681.

<sup>13</sup>Nauman J, Nes BM, Lavie CJ, et al. Prediction of Cardiovascular Mortality by Estimated Cardiorespiratory Fitness Independent of Traditional Risk Factors: The HUNT Study. *Mayo Clinic Proceedings*. 2017; 92(2): 218–227. doi: 10.1016/j.mayocp.2016.10.007.

<sup>14</sup>Orimoloye OA, Kambhampati S, Hicks AJ, et al. Higher cardiorespiratory fitness predicts long-term survival in patients with heart failure and preserved ejection fraction: the Henry Ford Exercise Testing (FIT) Project. *Archives of Medical Science*. 2019; 15(2): 350–358. doi: 10.5114/aoms.2019.83290.

<sup>15</sup>Begum SSS, Papagiannopoulos K, Falcoz PE, Decaluwe H, Salati M, Brunelli A. Outcome after video-assisted thoracoscopic surgery and open pulmonary lobectomy in patients with low VO<sub>2</sub> max: a case-matched analysis from the ESTS database†. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2016; 49(4): 1054–1058. doi: 10.1093/ejcts/ezv378.

<sup>16</sup>Bhagwat M, Paramesh K. Cardio-pulmonary exercise testing: An objective approach to pre-operative assessment to define level of perioperative care. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2010; 54(4): 286–291. doi: 10.4103/0019-5049.68369.

- <sup>17</sup>Holmes AA, Phillips LM. Cardiopulmonary exercise testing and SPECT myocardial perfusion imaging: Pre-test probability is the key. *Journal of Nuclear Cardiology*. 2019; 26(1): 107–108. doi: 10.1007/s12350-017-0996-7.
- <sup>18</sup>Schutte NM, Nederend I, Hudziak JJ, Bartels M, de Geus EJC. Twin-sibling study and meta-analysis on the heritability of maximal oxygen consumption. *Physiological Genomics*. 2016; 48(3): 210–219. doi: 10.1152/physiolgenomics.00117.2015.
- <sup>19</sup>Bouchard C, An P, Rice T, et al. Familial aggregation of VO<sub>2</sub>(max) response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*. 1999; 87(3): 1003–1008. doi: 10.1152/jappl.1999.87.3.1003.
- <sup>20</sup>Zadro JR, Shirley D, Andrade TB, Scurrah KJ, Bauman A, Ferreira PH. The Beneficial Effects of Physical Activity: Is It Down to Your Genes? A Systematic Review and Meta-Analysis of Twin and Family Studies. *Sports Medicine - Open*. 2017; 3(1): 4. doi: 10.1186/s40798-016-0073-9.
- <sup>21</sup>Laukkanen JA, Zaccardi F, Khan H, Kurl S, Jae SY, Rauramaa R. Long-term Change in Cardiorespiratory Fitness and All-Cause Mortality: A Population-Based Follow-up Study. *Mayo Clinic Proceedings*. 2016; 91(9): 1183–1188. doi: 10.1016/j.mayocp.2016.05.014.
- <sup>22</sup>Gist NH, Fedewa MV, Dishman RK, et al. Sprint Interval Training Effects on Aerobic Capacity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2014; 44: 269–279. doi: 10.1007/s40279-013-0115-0.
- <sup>23</sup>Sultana RN, Sabag A, Keating SE, et al. The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2019; 49: 1687–1721. doi: 10.1007/s40279-019-01167-w.
- <sup>24</sup>Helgerud J, Høydal K, Wang E, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007; 39(4): 665–671. doi: 10.1249/mss.0b013e3180304570.
- <sup>25</sup>Krogh-Madsen R, Thyfault JP, Broholm C, et al. A 2-wk reduction of ambulatory activity attenuates peripheral insulin sensitivity. *Journal of Applied Physiology*. 2010; 108(5): 1034–1040. doi: 10.1152/jappphysiol.00977.2009.
- <sup>26</sup>Taylor HL. The effects of rest in bed and of exercise on cardiovascular function. *Circulation*. 1968; 38(6): 1016–1017. doi: 10.1161/01.cir.38.6.1016.
- <sup>27</sup>Williams PT. Physical fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001; 33(5): 754–761. doi: 10.1097/00005768-200105000-00012.
- <sup>28</sup>Paterson DH, Cunningham DA, Koval JJ, St Croix CM. Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55–86 years. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1999; 31(12): 1813–1820. doi: 10.1097/00005768-199912000-00018.
- <sup>29</sup>Brawner CA, Ehrman JK, Schairer JR, et al. Predicting maximum heart rate among patients with coronary heart disease receiving beta-adrenergic blockade therapy. *American Heart Journal*. 2004; 148(5): 910–914. doi: 10.1016/j.ahj.2004.04.035.
- <sup>30</sup>Forman DE, Myers J, Lavie CJ, et al. Cardiopulmonary Exercise Testing: Relevant but Underused. *Postgraduate Medicine*. 2010; 122(6): 68–86. doi: 10.3810/pgm.2010.11.2225.
- <sup>31</sup>Older PO, Levett DZH. Cardiopulmonary Exercise Testing and Surgery. *Annals of the American Thoracic Society*. 2017; 14(Supplement\_1): S74–S83. doi: 10.1513/AnnalsATS.201610-780FR.
- <sup>32</sup>Bent B, Goldstein BA, Kibbe WA, Dunn JP. Investigating sources of inaccuracy in wearable optical heart rate sensors. *npj Digital Medicine*. 2020; 3(1): 18. doi: 10.1038/s41746-020-0226-6.
- <sup>33</sup>Foster C, Jackson AS, Pollock ML, et al. Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *American Heart Journal*. 1984; 107(6): 1229–1234. doi: 10.1016/0002-8703(84)90282-5.
- <sup>34</sup>Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*. 2004; 85(1): 113–118. doi: 10.1016/s0003-9993(03)00436-2.
- <sup>35</sup>Argulian E, Bangalore S, Messerli FH. Misconceptions and Facts About Beta-Blockers. *The American Journal of Medicine*. 2019; 132(7): 816–819. doi: 10.1016/j.amjmed.2019.01.039.
- <sup>36</sup>Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences, and management. *Circulation*. 2011; 123(9): 1010–1020. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.940577.
- <sup>37</sup>Zweerink A, van der Lingen A-LCJ, Handoko ML, van Rossum AC, Allaart CP. Chronotropic Incompetence in Chronic Heart Failure. *Circulation: Heart Failure*. 2018; 11(8): e004969. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.004969.
- <sup>38</sup>González-Costello J, Armstrong HF, Jorde UP, et al. Chronotropic incompetence predicts mortality in severe obstructive pulmonary disease. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2013; 188(2): 113–118. doi: 10.1016/j.resp.2013.05.002.
- <sup>39</sup>Prado, DM Leite do, et al. Abnormal chronotropic reserve and heart rate recovery in patients with SLE: a case-control study. *Lupus*. 2011; 20(7): 717–720. doi: 10.1177/0961203310397081.
- <sup>40</sup>Pecanha T, Rodrigues R, Pinto AJ, et al. Chronotropic Incompetence and Reduced Heart Rate Recovery in Rheumatoid Arthritis. *Journal of Clinical Rheumatology*. 2018; 24(7): 375–380. doi: 10.1097/RHU.0000000000000745.