

POLITECNICO DI TORINO

Corso di studi in Ingegneria Biomedica

Tesi di Laurea Magistrale



Valutazioni della prestazione di sciatori paralimpici di sci di  
fondo seduto in differenti sezioni del tracciato di gara

Relatori:  
Prof.sa Laura Gastaldi  
Prof. Stefano Paolo Pastorelli  
Ing. Valeria Rosso

Candidato  
Alessia Sacco

*Luglio 2020*

## SOMMARIO

Gli atleti di sci di fondo con limitazioni fisiche agli arti inferiori e al tronco competono seduti e, sulla base del controllo residuo, vengono suddivisi in 5 classi: LW10 (limitazione fisica maggiore), LW10.5, LW11, LW11.5, LW12 (limitazione fisica minore). Gli atleti delle 5 classi competono per la stessa medaglia, ma il tempo di gara è corretto con coefficiente moltiplicativo identificativo della classe (coefficiente di classe) per limitare le differenze fra atleti. Questa tesi ha 3 scopi: (1) comparare i tempi degli atleti migliori e peggiori e di quelli che hanno partecipato a tutte le gare; (2) come il genere dell'atleta e il tracciato di gara possano influire sul coefficiente di classe; (3) valutare la cinematica della sciata con un sensore inerziale (IMU).

Lo studio è stato condotto considerando i tempi forniti dalla Time Company (TC) in 4 competizioni durante i Campionati Mondiali di Sci Nordico (Vuokatti): biathlon sprint e individual (BS e BI), cross country middle e long (XCM e XCL). Per ogni gara, genere e classe si sono valutati il tempo totale di gara e i tempi di segmenti di tracciato di gara rappresentativi di salita, falsopiano, curva e discesa. Quindi si sono comparati i 3 atleti migliori e peggiori e le prestazioni degli atleti nelle diverse gare. Si sono calcolate le percentuali per le 5 classi, per i 2 generi e le tipologie di tracciato.

In corrispondenza delle stazioni di rilevamento della TC sono stati collocati nella neve dei magneti, la cui presenza è stata rilevata mediante i magnetometri degli IMU posizionati sulla slitta di ciascun atleta. I tempi della TC e quelli rilevati mediante magnetometro sono stati confrontati al fine di validare la metodologia; inoltre, si è valutata la presenza di pattern significativi della sciata, analizzando l'accelerazione lineare degli IMU.

Dalla comparazione di atleti migliori e peggiori si osservano maggiori differenze nei due tratti di salita, mentre dal confronto delle 4 gare si osserva che la gara di XCM presenta per ogni segmento tempi maggiori e statisticamente differenti ( $p < 0.05$ ) rispetto alle altre tre gare. Le gare di BS, BI e XCM mostrano maggiore variabilità inter e intra classe, in particolare per le donne. Inoltre, si sono evidenziati tempi di alcuni segmenti statisticamente diversi tra le classi LW10.5 e LW12 femminili per le gare di BS e XCM. Sono stati calcolati nuovi coefficienti moltiplicativi sulla base dei risultati, e sono stati comparati con i coefficienti di classe normalmente utilizzati. Per le donne i coefficienti attuali tendono a sottostimare le limitazioni fisiche, mentre per gli uomini tendono a sovrastimarle. Riguardo i tempi calcolati con i magnetometri si è trovata una buona corrispondenza ( $\epsilon < 10\%$ ) con quelli della TC, con la sola eccezione del segmento di discesa ( $\epsilon > 10\%$ ). Infine, i risultati mostrano come con gli accelerometri sia possibile individuare pattern di sciata che consentono di discriminare atleti appartenenti a classi diverse.

In conclusione, sebbene la distribuzione degli atleti nelle classi fosse disomogenea, i risultati mostrano che si potrebbe considerare il genere dell'atleta e la tipologia di tracciato nella definizione dei coefficienti percentuali. Inoltre, si osserva che i dati forniti dagli IMU possono essere utilizzati a supporto del sistema di rilevazione della TC e potrebbero essere usati in fase di classificazione.

## ABSTRACT

Cross-country skiing athletes with physical impairments to lower limbs and to the trunk running in sitting position. According to the residual control they are split in 5 sport classes: LW10 (greater physical impairment), LW10.5, LW11, LW11.5, LW12 (less physical impairment). Athletes of the 5 classes compete for the same medal, but their race time is corrected with a multiplicative coefficient related to each class (class coefficient) for limiting athletes' differences. This thesis has 3 purposes: (1) comparing the best athletes' times with the worst ones and times between athletes who participated to all races; (2) how athlete gender and race track can influence the race time corrective percentage for the 5 classes; (3) evaluating skiing kinematics with an inertial sensor (IMU).

This study has evaluated times from the Time Company (TC) during Nordic Skiing World Championships (Vuokatti) for 4 competitions: biathlon sprint and individual (BS and BI) cross country middle and long (XCM and XCL). Using TC's times, the total race time and times related to representative segments of uphill, flat, curve and downhill for each race, gender and class, were evaluated. Then the 3 best and worst athletes' times and athletes' performance for the different races were compared. Percentages for each class, each different slope and for both genders were calculated.

Magnets have been placed on the snow where TC's times are acquired and their presence has been detected using magnetometer from IMU locating on the sledge of each athlete. TC's times and magnetometer times have been compared for evaluating the methodology; moreover, significant patterns presence about skiing has been evaluated analysing IMU linear acceleration.

Comparing best and worst athletes' times, it's observed that greater differences have been found in the two uphill sections, while comparing athletes' times of the 4 races it's observed that for each segment XCM race has greater and statistical different times ( $p < 0.05$ ) than the other 3 races. It's shown that BS, BI and XCM races have higher inter and intra class variability, especially for women. Moreover, it's observed that some segments times have been statistical different between LW10.5 and LW12 female classes during BS and XCM races. According to the previous results, new multiplicative coefficients have been calculated, and then they have been compared with used class coefficients. Actual women's coefficients underestimate physical impairments, while men's ones overestimate them. A good correlation ( $\epsilon < 10\%$ ) has been found between calculated times with magnetometer and TC's times, with downhill segment as the only exception ( $\epsilon > 10\%$ ). Then, results have shown that using accelerometer it's possible to obtain skiing patterns for distinguishing athletes belonging to different classes.

In conclusion, although athletes' distribution inside the 5 classes were not homogeneous, results shown that it could be possible to consider athlete's gender and track slope for the percentage coefficients definition. Moreover, it's observed that IMU data can be used as a support for the detective system and that they could be used during classification.

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>6</b>
<b>CAPITOLO 1 : LE PARALIMPIADI INVERNALI</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Sport paralimpici invernali</b>	<b>8</b>
1.1.1 Sci nordico	11
<b>CAPITOLO 2 : LA CLASSIFICAZIONE NELLO SCI NORDICO</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Limitazioni eleggibili e non eleggibili</b>	<b>18</b>
2.1.1 Deficit visivi	18
2.1.2 Deficit fisici e/o biomeccanici	19
<b>2.2 Il processo di classificazione nello sci nordico</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Le categorie e le classi nello sci nordico</b>	<b>21</b>
2.3.1 Le classi per la categoria “seduti”	22
<b>2.4 La classificazione evidence – based</b>	<b>27</b>
<b>CAPITOLO 3 : SCOPO DELLA TESI</b>	<b>32</b>
<b>CAPITOLO 4 : MATERIALI E METODI</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Atleti analizzati</b>	<b>35</b>
<b>4.2 Gare analizzate</b>	<b>37</b>
<b>4.3 Raccolta dati</b>	<b>42</b>
<b>4.4 Data analysis</b>	<b>42</b>
4.4.1 Confronto atleti migliori vs atleti peggiori	43
4.4.2 Confronto gare	44
4.4.3 Confronto classi	44
4.4.4 Coefficienti correttivi e previsione dei tratti misti	44
<b>4.5 Sensori inerziali</b>	<b>49</b>
4.5.1 Magnetometro	50
4.5.2 Accelerometro	51
<b>CAPITOLO 5 : RISULTATI E DISCUSSIONI</b>	<b>53</b>
<b>5.1 Tempo totale di gara reale</b>	<b>53</b>
<b>5.2 Confronto atleti migliori vs atleti peggiori</b>	<b>57</b>
5.2.1 Analisi della distribuzione degli atleti	57
5.2.2 Analisi degli intertempi	59
<b>5.3 Confronto Gare</b>	<b>64</b>
5.3.1 Uphill middle – segmento K1 – K2	64
5.3.2 Uphill steep – segmento K2 – K3	65
5.3.3 Total uphill – segmento K1 – K3	66
5.3.4 Flat – segmento K4 – K5	67
5.3.5 Curve – segmento K5 – K6	68
5.3.6 Downhill – segmento K7 – K8	69

Codice campo modificato

<b>5.4 Confronto classi</b>	<b>71</b>
5.4.1 Uphill middle – segmento K1 – K2	71
5.4.2 Uphill steep – segmento K2 – K3	78
5.4.3 Total uphill – segmento K1 – K3	84
5.4.4 Flat – segmento K4 – K5	91
5.4.5 Curve – segmento K5 – K6	98
5.4.6 Downhill – segmento K7 – K8	105
<b>5.5 Confronto coefficienti correttivi</b>	<b>110</b>
5.5.1 Coefficienti correttivi dei sei segmenti di interesse	111
5.5.2 Coefficienti correttivi totali	115
5.5.3 Previsione dei tratti con percorso misto	117
5.5.3.1 Segmento misto K3 – K4	117
5.5.3.2 Segmento misto K6 – K7	122
<b>5.6 Sensori inerziali</b>	<b>127</b>
5.6.1 Magnetometro	127
5.6.1.1 Analisi della bontà dei dati rilevati dal magnetometro	127
5.6.1.2 Confronto dei tempi dei segmenti	136
5.6.2 Analisi delle accelerazioni lineari	141
<b>CAPITOLO 6 : CONCLUSIONI</b>	<b>152</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>155</b>

## Introduzione

La classificazione è un processo attraverso il quale un certo numero di unità sono suddivise in un piccolo numero di gruppi, definiti classi, tramite l'individuazione di proprietà che alcune entità hanno in comune. Una classificazione corretta deve presentare proprietà molto simili all'interno di una singola classe e contemporaneamente avere differenze marcate di una stessa proprietà tra le classi in cui si sono suddivise le unità: l'obiettivo è quindi quello di avere un'elevata omogeneità intra-classe e un'elevata differenza inter-classi di una determinata caratteristica (S M Tweedy, 2011).

Lo scopo della classificazione all'interno del movimento paralimpico è quello di *"promuovere la partecipazione nello sport per tutte quelle persone con disabilità, andando a minimizzare l'impatto dei diversi tipi di impedimento eleggibili sul risultato finale di una competizione"* (S M Tweedy, 2011). Per poter raggiungere questo scopo è necessario che ogni atleta appartenente ad una specifica classe abbia l'opportunità di competere con altri atleti che presentano una limitazione che causa un uguale svantaggio nello sport considerato. Seguendo questo principio gli atleti vincenti saranno coloro che posseggono la miglior combinazione di caratteristiche antropometriche e abilità fisiologiche e psicologiche e che le hanno allenate portandole al limite delle loro capacità, e non gli atleti che presentano una minor limitazione rispetto agli altri concorrenti.

La classificazione all'interno del movimento paralimpico è legata ai sistemi di classificazione appartenenti a due diversi campi:

- Salute e funzionalità, la cui classificazione è stata internazionalmente riconosciuta a partire dal 1980 con la pubblicazione da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità dell'International Classification of Impairments, Disabilities, and Handicaps, successivamente revisionato nel 2001 e rinominato ICF, acronimo di International Classification of Functioning, Disability and Health;
- Sport, la cui classificazione ha lo scopo di promuovere una partecipazione sempre più ampia di persone avvalendosi del forte impatto sociale che motiva migliaia di persone a praticare un'attività sportiva.

Nel 2002 la relazione tassonomica tra ICF e la classificazione paralimpica è stata descritta da Tweedy, permettendo di evidenziare i principali domini all'interno degli sport paralimpici in relazione alla struttura dell'ICF (S M Tweedy, 2011), riportata in Figura 0.1:

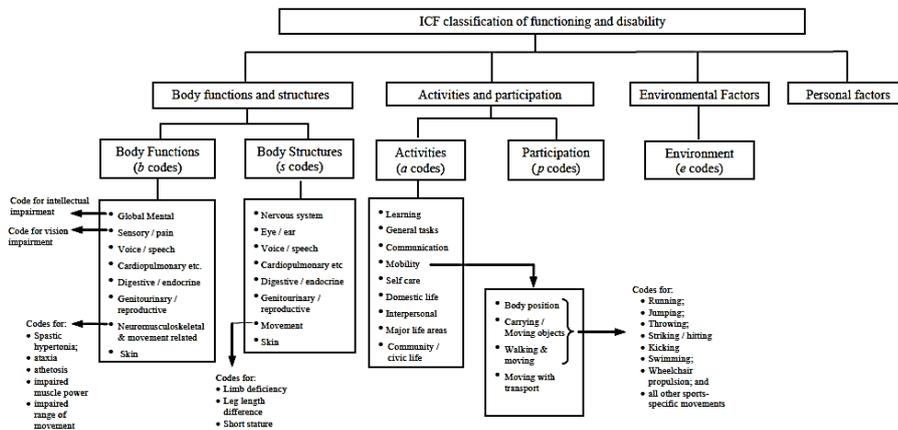


Figura 0.1: Relazione tassonomica tra ICF e classificazione paralimpica (S M Tweedy, 2011).

Un sistema di classificazione che è percepito scorretto dagli atleti scoraggerà la partecipazione tra le persone con disabilità invece che promuoverla.

Negli anni il sistema di classificazione degli atleti è passato, quindi, da una base medica ad una funzionale. Negli ultimi anni si è deciso portare avanti un nuovo sistema di classificazione selettiva che si basa su uno specifico set di determinanti, cioè di fattori indipendenti tra loro il cui valore permette di avere elevate capacità predittive sulla performance degli atleti. L'effetto risultante è quello di minimizzare l'impatto delle unità utilizzate per la classificazione sul risultato finale della competizione. Questa scelta ha condotto, nel tempo, allo sviluppo di sistemi di classificazione definiti "evidence – based", cioè basati sull'utilizzo di dati chiari ed oggettivi che non varino in base al grado di allenamento dell'atleta. Nel 2007 l'Assemblea Generale dell'IPC ha approvato il Codice di Classificazione dell'IPC che è comprensivo di linee guida e procedure da seguire durante le fasi di classificazione. La formulazione del codice ha rivestito un ruolo fondamentale all'interno della comunità sportiva internazionale poiché ha rappresentato una specifica richiesta di sviluppo di sistemi di classificazione evidence – based con lo scopo di realizzare una descrizione teorica dei principi scientifici alla base della classificazione degli sport paralimpici, di definire univocamente il termine evidence – based classification e di formulare delle linee guida per il suo sviluppo.

Questa tesi si sviluppa all'interno di questo percorso tracciato dall'IPC, con l'obiettivo di ampliare le conoscenze utili al sistema di classificazione applicato agli atleti che vogliono competere nelle gare invernali, con particolare interesse per le gare di Sci Nordico seduto.

## CAPITOLO 1 : Le paralimpiadi invernali

Il Comitato Internazionale Paralimpico (International Paralympic Committee, IPC) è l'organo di governo mondiale del movimento paralimpico e l'organizzatore dei Giochi Paralimpici Estivi e Invernali. L'importanza della sua figura è rappresentata anche all'interno del logo attualmente utilizzato come simbolo dei Giochi Paralimpici (Figura 1.1):



Figura 1.1: Logo IPC

dove sono presenti tre “agitos”, di colore rosso, blu e verde che circondano un unico punto, in campo bianco: i tre colori utilizzati sono quelli più presenti all'interno delle bandiere nazionali, mentre il punto centrale simboleggia l'importanza che l'IPC riveste nel mondo paralimpico col compito di riportare atleti provenienti da tutti gli angoli del mondo insieme e consentendo loro di competere. (Wikipedia, s.d.)

Come per le Olimpiadi anche i Giochi Paralimpici hanno un proprio giuramento degli atleti, dei giudici e recentemente anche degli allenatori, con il primo che recita:

*“A nome di tutti i concorrenti prometto che prenderemo parte a questi Giochi Paralimpici, rispettando e rispetto delle regole che li governano, impegnandoci per uno sport senza doping e senza droghe, nel vero spirito sportivo, per la gloria dello sport e l'onore delle nostre squadre.”*

L'IPC attribuisce quindi un'importanza vitale alla trasparenza e alla chiarezza delle competizioni, quindi anche del sistema di classificazione degli atleti. Nel 2007 ha pubblicato l'IPC Classification Code che richiede specificatamente lo sviluppo di sistemi di classificazione evidence – based per ogni sport paralimpico. Il movimento internazionale paralimpico è sempre più in via di espansione. Ai Giochi Estivi Paralimpici di Rio de Janeiro del 2016 sono stati presenti un totale di 22 sport paralimpici rispetto agli otto sport presenti nella prima edizione di Roma del 1960 (IPC | International Paralympic Committee Sport & News, n.d.). Ai Giochi Paralimpici Invernali di Pyeongchang del 2018 sono stati in totale presenti sei sport rispetto ai due presenti nella prima edizione di Örnsköldsvik del 1976 (IPC | International Paralympic Committee Sport & News, n.d.).

### 1.1 Sport paralimpici invernali

Prestando attenzione alla sezione invernale, gli sport invernali paralimpici comprendono l'Hockey su ghiaccio con slitta (Para Ice Hockey, PIH), il Curling in carrozzina (Wheelchair

curling), lo Sci alpino (Alpine Skiing), lo snowboard e lo Sci nordico (Nordic Skiing), che a sua volta si suddivide negli eventi di Cross country e di Biathlon (Bernardi Marco, 2011). Nel seguito verranno descritti il Para Ice Hockey, il Wheelchair curling, lo sci alpino e lo snowboard. Un paragrafo a parte è invece dedicato allo sci nordico in quanto focus principale di questa tesi.

Il Para Ice Hockey è praticabile da tutti quegli atleti che presentano dei deficit agli arti inferiori tali da rendere impossibile lo svolgimento di una normale partita di hockey in posizione eretta. Una squadra è composta da sei giocatori, presenti sulla superficie di gioco. I giocatori sono legati ad uno slittino per mezzo di straps, la propulsione è permessa dall'uso di bastoncini con un'estremità appuntita, mentre l'altra è tradizionale in modo da poter colpire il dischetto che deve poter passare sotto lo slittino. Poiché il contatto fisico è parte integrante di una partita, gli atleti indossano una tuta protettiva, elmetto e guanti. Il Para Ice Hockey richiede un ampio range di capacità motorie, tra le quali velocità, coordinazione, equilibrio e agilità, risposta reattiva e creatività. In generale un atleta facente parte di una squadra di Hockey paralimpico dovrà fare brevi tratti di sprint con accelerazione massimale, pattinaggio a bassa intensità, check e disputa per la posizione (contatto fisico), tiri e passaggi (Bernardi Marco, 2011).

Il curling in carrozzina è uno sport di squadra simile al gioco delle bocce, ma giocato sul ghiaccio con pietre di granito (*stones*), dotate di manico, di circa 20 kg l'una. A differenza del curling tradizionale vi è la mancanza della fase di *sweeping*, ossia lo spazzolamento del ghiaccio eseguito per diminuire l'attrito e favorire lo scivolamento delle stones in una direzione preferenziale. Una squadra è composta da quattro atleti il cui obiettivo è quello di piazzare le proprie stones il più vicino possibile al centro del bersaglio colorato (*house*) e allo stesso tempo di allontanare il più possibile quelle degli avversari in modo da guadagnare il maggior numero di punti durante una manche. Per avere maggiore stabilità è possibile che un compagno di squadra tenga ferma la carrozzina del compagno durante la fase di lancio, eseguita con un manico estensore, per garantire maggiore stabilità (Paralympic Sports: Wheelchair Curling, n.d.).

Lo Sci alpino comprende quattro differenti specialità: lo slalom, il gigante, il super G e la discesa libera, più una combinata di due degli eventi sopra nominati. In una gara di slalom, detto anche slalom speciale, gli atleti devono passare attraverso una serie di porte ravvicinate, identificate da pali snodati di colore rosso e blu alternato, che possono essere abbattuti con i bastoncini e con le gambe. Le porte sono disposte su un tracciato con curve ad arco stretto che non permette di ottenere velocità massime molto elevate (circa 35 km/h). Le lunghezze minime degli sci, imposte per aumentare la sicurezza degli atleti, sono di 165 cm per gli uomini e 155 cm per le donne (World Para Alpine Skiing, n.d.). Insieme allo slalom, il gigante, o slalom gigante, è l'altra disciplina tecnica dello sci alpino. A differenza del primo, il gigante presenta un percorso con curve con raggio maggiore e coppie di porte a doppi pali larghe circa 4-8 m e distanti al minimo 10 m. Ciò consente agli sciatori di perdere meno velocità e di ottenere velocità massime più elevate (circa 80 km/h). Le lunghezze imposte degli sci sono di 190 o 195 cm per gli uomini e 183 o 188 cm per le donne e presentano un raggio di curvatura minimo di 35 e 30 m rispettivamente per uomini e donne. Gli sci sono costruiti in modo da essere più morbidi rispetto a quelli da slalom (World Para Alpine Skiing, n.d.). Il super G, o supergigante, e la discesa libera sono invece le due discipline veloci dello sci alpino. Durante le gare di super G gli sciatori devono passare attraverso una serie di porte disposte a distanza maggiore rispetto allo slalom. La lunghezza della pista, il raggio di curva e la velocità di percorrenza sono maggiori rispetto alle discipline tecniche, permettendo agli atleti di raggiungere punte di velocità oltre i 120 km/h.

le lunghezze minime imposte per aumentare la sicurezza degli atleti sono di 205 cm per gli uomini e 200 cm per le donne, con raggio di curvatura minimo di 33 m (World Para Alpine Skiing, n.d.). La discesa libera è considerata la gara regina dello sci alpino, sia per la sua spettacolarità sia per le punte di velocità (oltre 160 km/h) che gli atleti riescono a raggiungere. Il percorso di una discesa libera prevede generalmente notevoli dislivelli (tra 800 e 1100 m per gli uomini e tra 450 e 800 m per le donne), salti, grandi curve e tratti di scorrimento. Il tracciato è delimitato da due porte con pali da slalom gigante di colore rosso o blu, separate tra loro da non meno di 8 m e con distanza dalle successive maggiore a quelle del super G. Gli sci utilizzati nella discesa libera sono i più lunghi utilizzati tra le quattro competizioni, in modo da garantire maggiore stabilità alle alte velocità. Le lunghezze minime degli sci sono di 215 cm per gli uomini e di 210 cm per le donne, con un raggio di curvatura minimo di 50 m (World Para Alpine Skiing, n.d.).

A differenza dell'hockey su ghiaccio con slitta e del curling in carrozzina, lo sci alpino suddivide gli atleti in tre grandi categorie in base al deficit che presentano: sciatori in piedi, sciatori seduti e sciatori con deficit visivo. L'attrezzatura è adattata all'abilità funzionale dello sportivo, che può utilizzare sci normali, una slitta montata su monosci, stabilizzatori o protesi ortopediche a seconda dei casi. Gli atleti con deficit visivi possono sciare accompagnati da una guida che li precede sulla pista dando loro indicazioni vocali sul percorso da seguire. In particolare:

- Sciatori in piedi: utilizzo di uno o nessun bastoncino nel caso di disabilità agli arti superiori ed utilizzo di due sci, ricorrendo a protesi, o di un solo sci utilizzando degli stabilizzatori al posto dei bastoncini per atleti con disabilità agli arti inferiori;
- Sciatori seduti: al posto degli sci tradizionali gli atleti utilizzano un monosci costituito da un sedile montato su un solo sci e dotato di sospensioni e apposite imbragature, mentre al posto dei bastoncini sono utilizzati gli stabilizzatori.

Gli sciatori d'élite devono possedere tutte le caratteristiche di fitness muscolare, quali forza muscolare, potenza e capacità anaerobica, potenza aerobica, flessibilità, reattività, equilibrio e coordinazione (Bernardi Marco, 2011).

Il para-snowboard è regolato dalla World Snowboard Federation (WSF) ed è lo sport paralimpico invernale più giovane tra quelli presenti alle paralimpiadi. Introdotto a partire dalle paralimpiadi invernali di Sochi nel 2014, il para-snowboard è stato definito come *“uno sport giovane ed emozionante che sta attirando un nuovo pubblico e nuovi partecipanti in tutto il mondo”* da Dmitry Chernyshenko, Presidente del Comitato Organizzatore Olimpico di Sochi 2014. Ai giochi invernali di Pyeongchang 2018 erano previste due specialità: lo snowboard cross a cronometro, come nel 2014, e il banked slalom. Gli atleti dovevano scendere il più velocemente possibile sulla pista e, a differenza della paralimpiade precedente, sono stati suddivisi in tre categorie sportive: atleti con deficit agli arti superiori (Upper Limb) e atleti con deficit agli arti inferiori (Lower Limb 1 e 2) (Comitato Italiano Paralimpico, s.d.), (World Para Snowboard, s.d.). Nelle gare di snowboard cross il percorso deve avere un dislivello compreso tra 100 m e 250 m, una lunghezza compresa tra 500 m e 1000 m ed un angolo medio di corsa di  $12^\circ \pm 2^\circ$  in modo che il tempo totale di gara sia compreso tra 40 s e 70 s. Per soddisfare tali caratteristiche si preferiscono le discese classificate come blu e rosse. Il percorso di gara deve comprendere tratti che permettano agli atleti di generare velocità e non di doverla controllare; si preferisce avere vari cambiamenti di velocità e di ritmo. Nelle gare di banked e dual banked slalom il percorso deve avere un dislivello compreso tra 100 m e 250 m, una lunghezza compresa tra 400 m e 1000 m ed un angolo medio di corsa di  $15^\circ \pm 3^\circ / 20 - 35\%$  in modo che il tempo totale di gara sia compreso tra 30 s e 90 s. Si preferisce utilizzare un terreno naturale con varie pendenze,

preferibilmente una valle naturale con forma ad U. Le porte devono essere posizionate in modo da evitare bruschi cambi di direzione e permettere un'azione fluida dell'atleta (WPS Rules and Regulations 2019/2020). (WPS Equipment Rulebook 2019/2020) Lo snowboard utilizzato dagli atleti non deve presentare una coda con bordi pronunciati e la tavola deve presentare un'ampiezza minima di 14 cm per tavole di lunghezza fino a 135 cm, mentre deve essere di almeno 16 cm per tavole più lunghe. A differenza dello sci gli atleti non devono utilizzare nessuno strumento addizionale per migliorare l'equilibrio e per variare la loro velocità come stabilizzatori o bastoncini. Oltre all'attrezzatura base è concesso l'utilizzo di un equipaggiamento adattivo specifico per ogni atleta. In questa categoria rientrano:

- le ortesi: device applicati esternamente per modificare le caratteristiche strutturali e funzionali dei sistemi neuromuscolare e scheletrico per la stabilizzazione, il supporto, la compensazione, la protezione e la prevenzione;
- le protesi: device applicati esternamente per rimpiazzare parzialmente o totalmente l'assenza o un difetto del segmento di un arto (superiore e/o inferiore).

Le lunghezze che le protesi devono obbligatoriamente rispettare in base alla tipologia di limitazione fisica sono riportate all'interno del WPS Equipment Rulebook (WPS Equipment Rulebook 2019/2020).

In questa tesi ci si è concentrati sullo sci nordico, che viene quindi descritto nel dettaglio nel successivo paragrafo.

### 1.1.1 Sci nordico

Lo sci nordico è un insieme di discipline dello sci, contrapposte a quelle dello sci alpino, in cui non è possibile fissare il tallone dello scarponne da sci allo sci stesso. Lo sci nordico per normodotati comprende una gran moltitudine di specialità, tra le quali cross country, biathlon, salto con gli sci e combinata nordica (FISI | Sci di Fondo, s.d.), (Biathlon, s.d.). Per gli atleti con limitazioni fisiche esiste lo sci nordico paralimpico che si compone degli eventi di cross country e biathlon. Nelle competizioni di cross country si possono distinguere due tecniche di sciata: la tecnica classica, detta anche passo alternato, e la tecnica del pattinaggio, detta anche passo pattinato o skating. La tecnica classica si esegue utilizzando i binari, larghi poco più degli sci, tracciati su neve battuta. I binari creano una base d'appoggio efficiente per lo scivolamento dello sci e una guida sicura. Il moto è generato tramite la spinta degli arti superiori, trasmessa al suolo tramite i bastoncini e degli arti inferiori, trasmessa tramite gli sci. Per coordinare la spinta delle braccia e quella delle gambe gli sciatori eseguono diverse sequenze di movimenti, dette passi, in relazione alla tipologia di terreno da affrontare:

- Il passo alternato consente di sviluppare molta forza e poca velocità ed è quindi adatto a tratti di salita;
- Il passo spinta consente di sviluppare una discreta forza e buona velocità ed è quindi adatto ad accelerazioni e a tratti di falsopiano in salita;
- La scivolata spinta consente di sviluppare poca forza e molta velocità ed è quindi adatto a tratti di pianura e di falsopiano in discesa.

La tecnica di pattinaggio non necessita della presenza dei binari poiché gli sci scorrono alternativamente, divaricati in punta, in modo diagonale rispetto al senso di marcia. Per ottenere la spinta lo sci deve essere posto sullo spigolo interno e divaricato di punta in modo da creare una superficie di appoggio sulla quale imprimere la forza di spinta. Il vantaggio, in termini di rendimento, è che durante l'azione di spinta dell'arto inferiore lo sci continua a

scorrere nella sua direzione consentendo allo sciatore di mantenere la velocità anche in fase di spinta. Come nella tecnica classica esistono diversi passi:

- Il passo corto o da salita consente di sviluppare molta forza e poca velocità ed è quindi adatti a tratti di salita;
- Il passo doppio consente di sviluppare una discreta forza e una buona velocità ed è quindi adatto ad accelerazioni e a tratti di falsopiano in salita;
- Il passo lungo consente di sviluppare poca forza e molta velocità ed è quindi adatto a tratti di pianura e di falsopiano in discesa.

Le competizioni di cross country possono svolgersi sia in tecnica classica che pattinata per tutti quegli atleti la cui limitazione fisica non impedisce di gareggiare in piedi, mentre durante le competizioni di biathlon è utilizzata solo la tecnica skating. In questo caso l'attrezzatura utilizzata è la stessa degli atleti normodotati: vengono usati sci privi di lamine, di larghezza media di 4.5 cm con gli attacchi per gli scarponi che consentono il fissaggio solo della punta e lasciano quindi il tallone libero di sollevarsi. Piccole differenze, come uno scarpone più o meno avvolgente, sono riscontrabili negli sci utilizzati per le due tecniche. Ulteriori differenze sono la lunghezza degli sci e dei bastoncini: in tecnica classica sono utilizzati sci più lunghi e smussati in punta e bastoncini più corti rispetto alla tecnica pattinata (FISI | Sci di Fondo, s.d.). Non esiste invece una distinzione tra tecnica classica e tecnica skating per gli atleti che competono all'interno della categoria seduti. Tali atleti, infatti, gareggiano seduti su di uno slittino con due sci alle estremità e la forza di propulsione è fornita dagli arti superiori e, per gli atleti che ne sono in grado, dai movimenti del tronco in fase di spinta.

Oltre all'attrezzatura che viene utilizzata nel cross country dagli atleti in piedi o seduti, durante le gare di biathlon gli atleti sono equipaggiati anche con un fucile da utilizzare nell'apposita area di tiro. Gli atleti delle classi seduti e in piedi utilizzano un fucile ad aria compressa di apparenza convenzionale che rispetta le seguenti specifiche:

- La lunghezza totale del sistema ad aria del fucile misurata dal meccanismo di stop alla bocca apparente non deve essere superiore a 850 mm;
- La vista frontale non deve estendersi oltre alla bocca apparente del fucile;
- Il peso d'innesto da esercitare sul grilletto deve essere settato ad un minimo di 0.5 kg;
- Nessun utilizzo di lenti correttive poste sul fucile, ma l'atleta può indossare gli occhiali;
- I filtri ortocromatici possono essere utilizzati;
- L'utilizzo di telescopi posti sul fucile è proibito.

Gli atleti appartenenti alle classi con deficit visivo utilizzano invece un fucile elettronico composto da un sistema di mira che fornisce all'atleta un feedback udibile attraverso un set di auricolari. Le specifiche sulle dimensioni e sulle caratteristiche del fucile sono le stesse dei fucili ad aria.

L'area di tiro deve essere organizzata nella zona centrale dello stadio in modo che sia i target che gli atleti siano visibili dal maggior numero di spettatori; ciò comporta un adeguato livello di protezioni laterali, posteriore e anteriore agli atleti in modo da garantire la salvaguardia di atleti e pubblico. Gli atleti gareggianti in piedi non devono rimuovere gli sci nella fase di sparo e la distanza tra la linea di tiro e il bersaglio deve essere di  $10 \text{ m} \pm 0.20 \text{ cm}$ . I target utilizzati sia nella fase di riscaldamento che durante la competizione sono posti su un background bianco e sono realizzati di metallo e carta. Le classi con limitazioni fisiche

utilizzano target meccanici con un'area circolare da colpire di diametro di 13.0 mm, mentre quelle con limitazioni visive utilizzano target con diametro di 21.0 mm. In caso di uno o più missed shot gli atleti sono soggetti ad una penalità proporzionale al numero di bersagli mancati. È possibile, per esempio, che gli atleti debbano compiere un giro in un anello di 150 m adiacente all'area di tiro per ogni missed shot, oppure può venire aggiunto 1 minuto per ogni missed shot al tempo finale di gara già corretto tramite i coefficienti correttivi percentuali (WPNS Rules and Regulations 2019/2020).

I tracciati di gara del cross country e del biathlon devono essere disegnati in modo tale da testare le capacità degli atleti in termini di tecnica, tattica e allenamento ed avere una difficoltà proporzionale al livello della competizione; il percorso deve essere lasciato il più naturale possibile in modo da prevedere tratti in pianura, salite e discese, ma senza la presenza di cambi di direzione troppo repentini che causerebbero una continua rottura del ritmo degli atleti. Non è inoltre necessario inserire salite troppo ripide, mentre il tratto in discesa deve rappresentare una challenge per gli atleti e non un tratto di riposo.

Le competizioni internazionali World Para Nordic Skiing comprendono i seguenti eventi di cross country: sprint, short distance, middle distance, long distance, pursuit (inseguimento), mixed e open relay (staffette).

Durante le competizioni di cross country sprint gli atleti devono partecipare a più turni di qualificazione per poter accedere alla finale. Il primo round di qualificazione è organizzato con una partenza ad intervalli, dove ogni atleta parte al suo tempo designato e il risultato è determinato sottraendo il finish time allo start time. I migliori tempi (8 o 12 in base alla classe di appartenenza) sono ammessi alla semifinale e quindi i migliori 4 o 6 sono ammessi alla finale. Tutti gli atleti (sia uomini che donne) che competono in piedi devono percorrere un giro di 1200 m ± 400 m, mentre tutti gli atleti che competono seduti devono percorrere un giro di 800 m ± 200 m.

Le competizioni di short, middle e long distance si differenziano per la lunghezza complessiva e il numero dei giri che gli atleti devono percorrere. Per queste gare è utilizzato il format con partenza ad intervalli. Il tempo di start e quello finale di ogni atleta è in funzione dell'orario di partenza dello stesso: per poter ottenere risultati confrontabili è quindi necessario sottrarre il tempo di start a quello finale. La distanza della gara è funzione sia del genere degli atleti che della posizione seduta o in piedi nella quale competono. Nella Tabella 1.1, 1.2 e 1.3 sono riportati i chilometraggi validi durante la stagione 2017/2018 per ogni disciplina:

<b>CROSS COUNTRY SHORT DISTANCE</b>						
	ATLETI IN PIEDI			ATLETI SEDUTI		
	Distanza totale [km]	Numero di giri	Lunghezza giro [km]	Distanza totale [km]	Numero di giri	Lunghezza giro [km]
<b>UOMINI</b>	5.0	2 o 1	2.5 o 5	5.0	2 o 1	2.5 o 5
<b>DONNE</b>	2.5	1	2.5	2.5	1	2.5

Tabella 1.1

<b>CROSS COUNTRY MIDDLE DISTANCE</b>						
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--

	ATLETI IN PIEDI			ATLETI SEDUTI		
	Distanza totale [km]	Numero di giri	Lunghezza giro [km]	Distanza totale [km]	Numero di giri	Lunghezza giro [km]
<b>UOMINI</b>	10	4, 3 o 2	2.5, 3.3 o 5	7.5	4	2.5
<b>DONNE</b>	7.5	3	2.5	5	2	2.5

Tabella 1.2

<b>CROSS COUNTRY LONG DISTANCE</b>						
	ATLETI IN PIEDI			ATLETI SEDUTI		
	Distanza totale [km]	Numero di giri	Lunghezza giro [km]	Distanza totale [km]	Numero di giri	Lunghezza giro [km]
<b>UOMINI</b>	20	5 o 4	4 o 5	15	5	3.0
<b>DONNE</b>	15	5 o 3	3 o 5	12	4	3.0

Tabella 1.3

Le competizioni di inseguimento sono delle competizioni combinate dove il tempo di start degli atleti è determinato dalle percentuali individuali e dai risultati ottenuti nelle competizioni precedenti o da un turno di qualificazione. Il risultato finale, ovvero quello della seconda gara, è determinato dall'ordine di arrivo nella gara stessa.

Infine, le staffette si suddividono in mixed e open, dove ogni squadra può essere composta da due, tre o quattro atleti. Nelle staffette miste la percentuale combinata di ogni squadra deve essere pari o inferiore a 330 %, calcolato sommando le percentuali individuali di ogni atleta in ogni frazione, con una riduzione del 18 % per frazione per le atlete e del 12 % per frazione per gli atleti seduti (si ha una riduzione del 30 % per frazione nel caso di atlete sedute) ed è obbligatorio che almeno un'atleta prenda parte alla competizione. Nelle staffette open, invece, la percentuale combinata di ogni squadra deve essere pari o inferiore a 370 %, calcolato sommando le percentuali individuali di ogni atleta in ogni frazione, con una riduzione del 18 % per frazione per le atlete e del 12 % per frazione per gli atleti seduti (si ha una riduzione del 30 % per frazione nel caso di atlete sedute). La distanza totale percorsa da ogni squadra è pari a 10 km, così suddivisa:

- 1° frazionista: 2.5 km in tecnica classica svolti su un giro singolo omologabile per le competizioni di atleti seduti;
- 2° frazionista: 2.5 km in tecnica libera svolti su un giro singolo;
- 3° frazionista: 2.5 km in tecnica classica svolti su un giro singolo omologabile per le competizioni di atleti seduti;
- 4° frazionista: 2.5 km in tecnica libera svolti su un giro singolo.

In base al layout dello stadio è possibile che la lunghezza della prima frazione possa variare di  $\pm 5$  % dalle altre frazioni. Il "passaggio del testimone" avviene nella zona di cambio: una volta che il frazionista ha superato la linea d'arrivo nella zona di cambio con l'intero corpo, il frazionista successivo può partire. In caso di partenza anticipata la squadra è sanzionata

aggiungendo 30 s al tempo finale, a meno che l'atleta non ritorni nell'area di start e ricominci la propria frazione di gara. L'ordine d'arrivo dei quarti frazionisti determina il risultato finale (WPNS Rules and Regulations 2019/2020), (WPNS Rules and Regulations 2017/2018).

Gli eventi di biathlon che sono invece compresi sono: sprint, middle, individual, pursuit e sprint pursuit.

Per le competizioni di biathlon sprint si adotta una partenza ad intervalli con due sessioni di sparo e 3 giri sugli sci. Per ogni bersaglio mancato l'atleta deve percorrere un giro di penalità della lunghezza di 150 m. La distanza totale della competizione è pari a 7.5 km e 6.0 km per uomini e donne rispettivamente, appartenenti sia alle classi sedute che in piedi. Poiché sono richiesti 3 giri sugli sci gli uomini dovranno percorrere 3 giri di lunghezza pari a 2.5 km, mentre le donne 3 giri di lunghezza pari a 2 km.

Per le competizioni di biathlon middle si adotta una partenza ad intervalli con 4 sessioni di sparo e 5 giri sugli sci. Per ogni bersaglio mancato l'atleta deve percorrere un giro di penalità della lunghezza di 150 m. Come nel biathlon sprint la lunghezza dei giri è pari a 2.0 km per le donne e 2.5 km per gli uomini, per un totale quindi di 10 km e 12.5 km rispettivamente.

Per le competizioni di biathlon individual si adotta una partenza ad intervalli con 4 sessioni di sparo e 5 giri sugli sci. Per ogni bersaglio mancato viene aggiunto 1 minuto di penalità al tempo finale dell'atleta. La lunghezza di ogni giro è pari a 2.5 km per le donne e pari a 3.0 km per gli uomini, per un totale quindi di 12.5 km e 15 km rispettivamente.

Per le competizioni WPNS di biathlon pursuit su 2 giornate si utilizzano i risultati di una gara precedente (gara di qualificazione svolta uno o più giorni prima) per creare la start list della finale ad inseguimento. I migliori atleti per ogni categoria partecipano quindi alla seconda competizione i cui risultati sono determinati dall'ordine d'arrivo. Il numero di atleti partecipanti alla finale è determinato in base alle postazioni di tiro disponibili (possono partecipare un numero di atleti per categoria pari al doppio delle postazioni di tiro); inoltre sono scartati tutti quegli atleti il cui tempo finale durante la gara di qualificazione è stato il 30 % o più maggiore di quello del vincitore. Tutti gli atleti partecipanti alla finale (sia in posizione seduta che in piedi) devono percorrere 5 giri di lunghezza pari a 2.5 km, per un totale di 12.5 km, mentre tutte le atlete devono percorrere sempre 5 giri ma di lunghezza pari a 2.0 km, per un totale di 10 km. Entrambi i generi devono effettuare 4 sessioni di sparo e per ogni bersaglio mancato gli atleti devono percorrere un giro di penalità della lunghezza di 150 m.

Infine, le gare di WPNS di biathlon sprint pursuit sono organizzate in modo tale che la prima gara di qualificazione e la finale siano svolte in un'unica giornata. Durante la qualificazione si adotta una partenza ad intervalli e quindi gli atleti selezionati possono partecipare alla finale ad inseguimento. In caso di estreme condizioni meteo la giuria si riserva la possibilità di postporre o cancellare la seconda gara. In questo ultimo caso i risultati della qualificazione conterranno come risultati finali. Tutti gli atleti partecipanti alla finale in posizione seduta devono percorrere 3 giri di lunghezza pari a  $800\text{ m} \pm 200\text{ m}$ , per una lunghezza totale di gara di 2.4 – 3.0 km, mentre tutti gli atleti partecipanti in posizione in piedi devono percorrere 3 giri di lunghezza pari a  $1200\text{ m} \pm 400\text{ m}$ , per una lunghezza totale di gara di 3.6 – 4.8 km. Entrambe le categorie di atleti devono effettuare 2 sessioni di sparo e per ogni bersaglio mancato gli atleti devono percorrere un giro di penalità della lunghezza di 80 m (WPNS Rules and Regulations 2019/2020), (WPNS Rules and Regulations 2017/2018).

Tutte le competizioni internazionali di sci nordico devono utilizzare un sistema di cronometraggio elettronico che deve essere sempre supportato da un cronometraggio

manuale o equivalente che funge da sistema di backup e che serve per eseguire un controllo incrociato dei tempi. In questo modo, nel caso il sistema elettronico dovesse temporaneamente fallire, il cronometraggio manuale può essere usato per l'acquisizione dei tempi, fermando il tempo quando il primo piede per gli atleti in piedi e l'estremità anteriore dello slittino per gli atleti seduti sorpassa la linea. I tempi ottenuti manualmente devono poi essere corretti di + 0.24 s per poterli confrontare coi tempi elettronici. Il sistema elettronico di rilevazione dei tempi è basato sui cancelletti di partenza e sulle fotocellule. Il punto di misurazione della luce o della fotobarriera deve essere posto alla stessa altezza della barriera dei cancelletti di partenza, approssimativamente ad un'altezza di 60 cm dal suolo. In caso sia necessario utilizzarlo per individuare il corretto ordine d'arrivo, il sistema di fotofinish deve utilizzare la punta del primo scarpone o la parte anteriore dello slittino degli atleti come punto di riferimento. Durante le competizioni di sci nordico possono essere utilizzati dei trasponder (sistemi sia attivi che passivi) come sistema di supporto al cronometraggio ufficiale per poter determinare i tempi di gara e il ranking degli atleti in determinati punti intermedi e i risultati ufficiali della gara. Tutti i tempi di inizio e fine gara sono registrati con una precisione di almeno 1/100 di secondo e il risultato finale di ogni sciatore è poi riportato con una precisione di 1/10 di secondo. Per le competizioni sprint e ad inseguimento con turni di qualificazione è necessario registrare i tempi con una precisione di 1/1000 di secondo e riportare il tempo reale di ogni atleta con una precisione di 1/100 di secondo (WPNS Rules and Regulations 2019/2020).

Nel caso in cui le temperature misurate nel punto più freddo del tracciato fossero minori di -20 °C, fossero presenti condizioni meteo estreme come, per esempio, vento forte, elevata umidità dell'aria, tormenta di neve o elevate temperature, la competizione potrà essere ritardata o cancellata dalla giuria (WPNS Rules and Regulations 2019/2020). Le considerazioni sulle condizioni meteo e sulle temperature del tracciato per gli individui con disabilità sono ancora più importanti rispetto ad individui sani. Infatti, gli atleti normodotati sono infatti in grado di mantenere la temperatura corporea all'interno dei range fisiologici in determinate condizioni di freddo grazie alla corretta risposta termoregolatoria del corpo che, inizialmente incrementa l'isolamento dei tessuti subcutanei mediante vasocostrizione periferica e quindi incrementa il rate metabolico della termogenesi. Gli atleti paralimpici che presentano, per esempio, danni alla spina dorsale possono incorrere in un'anormale regolazione della temperatura corporea in condizioni di freddo o caldo intenso e/o possono non essere in grado di rispondere a variazioni ambientali della temperatura, poiché per funzionare correttamente i termorecettori necessiterebbero di un feedback ipotalamico impossibile in questo caso; questa condizione induce una perdita del controllo ipotalamico, una lenta e piccola risposta vasomotoria e una diminuzione della sudorazione. Di conseguenza più la lesione spinale è alta maggiore sarà la porzione della cute insensibile ai cambiamenti di freddo e caldo e quindi sarà maggiore il deficit termoregolatorio. Diversi studi hanno infatti osservato come, in individui affetti da SCI, si abbia un aumento della velocità di produzione di calore del solo 10 – 15 % in risposta ad un calo della temperatura ambiente, mentre in individui normodotati un simile cambiamento di temperatura ha comportato un incremento della velocità di produzione del calore dal 200 % al 500 % (Bernardi Marco, 2011).

Nella presente tesi ci si è in particolare concentrati sui tempi finali di gara, sugli split time e sugli intertempi di determinati segmenti del percorso solo per quattro tipologie di competizione. Le competizioni analizzate sono state il cross country middle, il cross country long, il biathlon sprint e il biathlon individual, svoltisi durante i mondiali invernali di Vuokatti 2018. Si sono analizzati i tempi ottenuti sia dagli atleti di genere maschile che femminile, appartenenti solamente alla categoria seduti. Per tutte e quattro le competizioni

sono stati analizzati solo alcuni segmenti del tracciato di gara comuni a tutte le gare. In particolare, si sono analizzati due tratti di salita (una più dolce e l'altra più ripida), un tratto in falsopiano, un tratto con una curva piana abbastanza stretta ed un tratto con una discesa molto ripida. Oltre a questi tratti di riferimento si sono poi analizzati altri due segmenti del percorso con altitudine mista.

## CAPITOLO 2 : La classificazione nello sci nordico

La classificazione di un atleta (Athlete Evaluation) è il processo attraverso il quale l'atleta viene collocato all'interno di una classe (Sport Class) e gli viene conferito uno status relativo ad essa (Sport Class Status). Attualmente la classificazione utilizzata nello sci nordico è di tipo funzionale, ovvero si utilizzano test sport – specifici per la determinazione della limitazione fisica dell'atleta. Per quanto riguarda lo sci nordico, la World Para Nordic Skiing è l'ente che si occupa di gestire tale valutazione avvalendosi del Classification Rules and Regulation, il codice di classificazione redatto dall'IPC e contenente le linee guida e le procedure per eseguire una corretta classificazione (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017). Il regolamento è aggiornato regolarmente: le descrizioni delle procedure nel seguito del capitolo sono basate sulla versione dell'Agosto 2017, poiché i dati degli atleti delle competizioni analizzati nel seguito facevano riferimento a questo. Attualmente è già stata pubblicata la nuova versione valida per la stagione 2019/2020.

Gli step che si percorrono durante la classificazione di un atleta sono i seguenti (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017):

- un accertamento che un atleta abbia o meno una limitazione eleggibile;
- un accertamento che un atleta raggiunga il criterio di minimo della limitazione per lo sport per il quale sta eseguendo il processo di classificazione (escluso per gli atleti con deficit visivo per il quale non si parla di uno sport nello specifico);
- il posizionamento all'interno di una classe (e la conseguente designazione di uno Sport Class Status).

### 2.1 Limitazioni eleggibili e non eleggibili

I criteri relativi alla minima limitazione (Minimum Impairment Criteria) sono stati stabiliti dalla World Para Nordic Skiing in modo da garantire che la limitazione di un atleta rappresenti realmente una riduzione della possibilità di eseguire correttamente uno specifico task di un movimento fondamentale per lo sport considerato. I Minimum Impairment Criteria sono specifici per ogni sport, escluso soltanto il deficit visivo, e non devono considerare se l'utilizzo o meno di uno specifico equipaggiamento di un atleta (Adaptive Equipment) possa interagire sullo svolgimento del task analizzato. Un discorso a parte vale per la limitazione visiva. Un atleta che non soddisfa i Minimum Impairment Criteria è inserito nella classe "non eleggibile" (Sport Class Not Eligible, NE) per quello specifico sport. Esempi riportati all'interno del Classification Rules and Regulation sono il dolore, deficit uditivo, basso tono muscolare, ipermobilità e instabilità delle articolazioni, deficit riguardanti la resistenza muscolare, i riflessi, le funzioni cardiovascolari respiratorie e metaboliche, i "tic", la bassa statura e il deficit intellettuale (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

Di seguito si riportano le descrizioni delle limitazioni accettate dal Regolamento con relativi esempi (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

#### 2.1.1 Deficit visivi

Nella Tabella 2.1 è riportata la definizione dei deficit visivi eleggibili ed i relativi esempi:

Limitazioni eleggibili	Esempi di condizioni patologiche
Gli atleti con deficit visivi possono avere una parziale o totale riduzione della vista causata dal danneggiamento alla struttura	<ul style="list-style-type: none"><li>• Retinite pigmentosa</li><li>• Retinopatia diabetica</li></ul>

dell'occhio, ai nervi o ai pathway ottici, o alla corteccia visiva.	
---	--

Tabella 2.1: Deficit visivi e relativi esempi (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

Per poter essere eleggibile un atleta deve presentare le seguenti limitazioni:

- limitazione della struttura oculare;
- limitazione al nervo ottico o al pathway visivo;
- limitazione della corteccia visiva

che comportano una acuità visiva uguale o inferiore a 1/10 o un campo visivo minore di 40° di diametro. L'acuità visiva dell'atleta è valutata utilizzando il grafico LogMAR con le "E" illetterate per i test dell'acuità visiva a distanza e/o il test visivo rudimentale di Berkeley. Per esempio, un'acuità visiva di 1/10 è pari a LogMAR 1.0.

Gli atleti possono essere assegnati alle classi B1, B2 o B3, dove la classe B3 comprende gli atleti col deficit visivo minore e la classe B1 quelli con deficit maggiore (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

### 2.1.2 Deficit fisici e/o biomeccanici

Nella Tabella 2.2 sono riportate le spiegazioni di ciò che comportano in un atleta tutte le limitazioni fisiche eleggibili ed i relativi esempi di condizioni patologiche che le causano:

Limitazioni eleggibili	Esempi di condizioni patologiche
<p><b>Limitazione della potenza muscolare</b></p> <p>Gli atleti presentano una condizione di salute che riduce o elimina la loro abilità di contrazione volontaria dei muscoli al fine di generare movimento e/o forza.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Danni alla spina dorsale (completi o incompleti, tetra- o paraplegia o paraparesi)</li> <li>• Distrofia muscolare</li> <li>• Sindrome da post – polio</li> <li>• Spina bifida</li> </ul>
<p><b>Mancanza di arti</b></p> <p>Gli atleti presentano una totale o parziale mancanza di ossa o articolazioni come conseguenza di un trauma.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amputazione traumatica</li> <li>• Malattia (per esempio un'amputazione dovuta a tumore alle ossa)</li> <li>• Mancanza congenita di un arto (per esempio a causa della dismelia)</li> </ul>
<p><b>Differenza della lunghezza delle gambe</b></p> <p>Gli atleti presentano una differenza nella lunghezza delle loro gambe.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dismelia</li> <li>• Disturbi congeniti o traumatici della crescita degli arti inferiori</li> </ul>
<p><b>Ipertonia</b></p> <p>Gli atleti presentano un aumento della tensione muscolare e contemporaneamente una diminuzione dell'abilità di decontrarre un muscolo a causa di un danno al sistema nervoso centrale.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralisi cerebrale</li> <li>• Traumi cerebrali importanti</li> <li>• Ictus</li> </ul>

<p><b>Atassia</b></p> <p>Gli atleti eseguono movimento non coordinati causati dal danneggiamento del sistema nervoso centrale.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralisi cerebrale</li> <li>• Traumi cerebrali importanti</li> <li>• Ictus</li> <li>• Sclerosi multipla</li> </ul>
<p><b>Atetosi</b></p> <p>Gli atleti affetti da atetosi presentano movimenti involontari lenti e continui.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paralisi cerebrale</li> <li>• Traumi cerebrali importanti</li> <li>• Ictus</li> </ul>
<p><b>Impedimento del ROM passivo</b></p> <p>Gli atleti presentano una diminuzione o mancanza di movimento passivo in una o più articolazioni.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artrogriposi</li> <li>• Contrattura che si riflette in un'immobilizzazione cronica dell'articolazione</li> <li>• Trauma relativo all'articolazione</li> </ul>

Tabella 2.2: Descrizione delle limitazioni causate dai deficit fisici eleggibili e le possibili patologie che possono causarli (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

Le metodologie utilizzate per la valutazione di tali deficit sono descritte nel seguito del capitolo.

## 2.2 Il processo di classificazione nello sci nordico

La valutazione di un atleta è eseguita durante la sessione di valutazione (Evaluation Session) condotta dal Classification Panel, un organo comprensivo di personale educato come classificatore. Il Classification Panel deve:

- stabilire se un atleta rientra all'interno dei Minimum Impairment Criteria per lo sport in esame;
- accertarsi del livello con cui un atleta è in grado di eseguire uno specifico task;
- condurre, se necessario, osservazioni durante una competizione.

È importante sottolineare come la sessione di valutazione debba svolgersi all'interno di un ambiente controllato e non competitivo che permetta l'osservazione della ripetizione di specifici task e/o attività (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

Al termine della sessione di valutazione l'atleta potrà essere collocato in una specifica classe e gli verrà conferito un determinato Sport Class Status, indicante la necessità o meno di eseguire nuovamente una valutazione nel futuro. Un atleta può essere designato con uno status Confirmed (C), se il Classification Panel non ritiene necessario eseguire ulteriori valutazioni poiché la limitazione fisica è considerata stabile nel tempo, Review (R), se si ritiene necessario un futuro accertamento legato, per esempio, alle fluttuazioni o all'aggravarsi della limitazione fisica o alla non completa maturità muscolo – scheletrica dell'atleta, da eseguirsi sempre prima di una competizione internazionale, o Review with a Fixated Review Date (FRD), se si ritiene non necessario effettuare nuovamente una valutazione prima di una determinata data (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

Nel caso in cui si presenti un cambiamento, nella natura o nel grado, della limitazione fisica che comporti un cambiamento nell'abilità dell'atleta di eseguire uno specifico task o un'attività, non direttamente imputabile al livello di allenamento, è necessario e doveroso

richiedere una revisione medica, in modo da poter riclassificare l'atleta nella corretta classe di appartenenza (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

Nel caso infine, in cui un atleta presenti più di una limitazione fisica eleggibile, meccanico e visivo per esempio, deve scegliere in quale Sport Class vorrebbe competere. La stessa scelta deve essere fatta dall'atleta nel caso in cui il suo deficit gli permetta di competere sia in piedi che seduto (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

Per inserire un atleta all'interno di una specifica classe è necessario che il Classification Panel si occupi di valutare le capacità fisiche e tecniche dell'atleta stesso, sia con osservazioni in ambiente protetto che, se necessario, durante una competizione. È obbligatorio che il Classification Panel consulti la documentazione medica dell'atleta: la valutazione della gravità di una lesione alla spina dorsale (Spinal Cord Injury, SCI) e della sensibilità al tocco sono valutate utilizzando la classificazione ASIA (American Injury Spinal Association) e quella dell'ipertonìa attraverso la Scala Ashworth. La valutazione della forza muscolare è ottenuta utilizzando il Manual Muscle Testing (MMT) in accordo con lo studio di Daniels e Worthingham, modificato (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017). Si valutano la forza isometrica alla metà del ROM sottoforma di un punteggio che rappresenta la forza biomeccanica esercitata attraverso l'articolazione di interesse. Il punteggio varia tra 0 (nessuna contrazione muscolare volontaria percettibile) e 5 (forza normale attraverso un normale ROM) in base alla capacità di superare la forza di gravità e/o una resistenza manuale, passando per livelli intermedi quali:

- Grado 1: contrazione muscolare palpabile, ma nessun movimento;
- Grado 2: movimento solo della parte soggetta ad una forza di gravità ridotta;
- Grado 3: superamento della forza di gravità nella posizione di test, ma il muscolo non è in grado di reggere una minima aggiunta di pressione;
- Grado 4: il muscolo è in grado di sopportare una certa quantità di pressione per poi cedere.

L'MMT è ampiamente compreso ed utilizzato nella pratica clinica poiché non richiede nessuna strumentazione, ha un basso costo e necessita dell'utilizzo di poco spazio; sfortunatamente il test presenta importanti svantaggi, tra i quali la difficoltà di ottenere un'affidabilità accettabile tra i risultati, a causa dell'elevato numero di tecniche per eseguire l'MMT, e la scarsa relazione tra il grado muscolare e la limitazione di attività (Emma M. Beckman, July 2014), (Katharine M. Conable, Sep 2011).

Durante una competizione il Classification Panel deve infine osservare:

- Cambiamenti di corsia con assistenza o meno di tronco e anca;
- Assistenza del tronco nei tratti di salita;
- Stabilità e controllo del tronco nei tratti in discesa;
- Controllo del tronco nelle curve;
- Posizione delle gambe;\*
- Imbracatura.\*

(\*) solo per gli atleti che competono in posizione seduta.

### **2.3 Le categorie e le classi nello sci nordico**

Lo scopo di tutti i sistemi di classificazione paralimpici è di promuovere la partecipazione allo sport delle persone con limitazioni fisiche, minimizzando l'impatto del tipo di limitazione sul risultato finale. Al fine di soddisfare questo scopo, ogni classe dovrebbe

essere composta da atleti la cui limitazione fisica comporta approssimativamente lo stesso svantaggio in quel determinato sport. All'interno dello sci nordico è possibile suddividere due macro-categorie in cui suddividere gli atleti: gli atleti che gareggiano in piedi e quelli che gareggiano seduti. Nella prima categoria rientrano tutte le classi relative ai deficit visivi e alle limitazioni fisiche che consentono comunque la partecipazione in piedi. Le classi relative ai deficit visivi sono le seguenti (World Para Nordic Skiing, s.d.):

- B1: cecità totale;
- B2: ipovedenti gravi;
- B3: ipovedenti lievi;

mentre le classi relative agli atleti con deficit fisici che permettono agli atleti di partecipare alle competizioni in piedi sono (World Para Nordic Skiing, s.d.):

- LW2: amputazione sopra al ginocchio o limitazione fisica equivalente;
- LW3: limitazione fisica ad entrambi gli arti inferiori;
- LW4: amputazione sotto al ginocchio o limitazione fisica equivalente;
- LW5/7: sciatori senza bastoncini;
- LW6: amputazione sopra al gomito o limitazione fisica equivalente;
- LW8: amputazione sotto al gomito o limitazione fisica equivalente;
- LW9: altre limitazioni fisiche agli arti.

Dove la sigla LW è l'abbreviazione di "locomotor winter" (Rosso V G. L., 2016).

Nella seconda categoria, invece, rientrano tutti quegli atleti affetti da limitazioni fisiche per cui è necessario l'utilizzo di uno slittino per poter gareggiare. Le classi relative a queste tipologie di deficit fisico-meccanici sono (World Para Nordic Skiing, s.d.):

- LW 10: limitazione fisica agli arti inferiori senza equilibrio funzionale da seduti;
- LW 10.5: limitazione fisica agli arti inferiori con minimo equilibrio funzionale da seduti;
- LW 11: limitazione fisica agli arti inferiori con discreto equilibrio funzionale da seduti;
- LW 11.5: limitazione fisica agli arti inferiori con più che discreto equilibrio funzionale da seduti;
- LW 12: limitazione fisica agli arti inferiori con buon equilibrio funzionale da seduti.

In generale, quindi, si hanno le classi B1-B3 in cui vengono inseriti gli atleti con deficit visivi, le classi LW2-LW4 in cui vengono inseriti gli atleti con limitazione fisica agli arti inferiori, le classi LW5-LW8 in cui vengono inseriti atleti con limitazione fisica agli arti superiori, la classe LW9 in cui sono inseriti atleti con limitazione fisica a entrambi gli arti superiori e inferiori e le classi LW10-LW12 in cui vengono inseriti gli atleti con limitazioni fisiche agli arti inferiori per cui non è possibile gareggiare in posizione in piedi.

Nel seguente paragrafo sono descritte più nel dettaglio tutte le limitazioni fisiche degli atleti seduti. In particolare, la descrizione di ogni categoria è quella riportata all'interno del WPNS Classification Rules and Regulation redatto ad agosto 2017 (WPNS Classification Rules and Regulations, August 2017).

### **2.3.1 Le classi per la categoria "seduti"**

Gli atleti che competono all'interno della categoria seduti devono soddisfare almeno i criteri della classe LW 4 della categoria in piedi descritti nel paragrafo precedente.

Oltre ai test già sopra descritti, gli atleti che stanno eseguendo la valutazione funzionale per essere ammessi alla categoria seduti sono sottoposti anche al Test Table Test (TTT), condotto secondo il protocollo descritto nello studio di Pernot et al. (2011, Validity of the test – table – test for Nordic Skiing for classification Paralympic sit – ski sport participants. Spinal Cord, 49, 935 – 941).

La tavola utilizzata durante il test è riportata nella seguente figura:



Figura 2.2.1: Tavola per eseguire il Test – Table – Test.

La tavola è composta da un'imbottitura in fibra di media densità con l'aggiunta di speciali cuscini con design standardizzato che supportano le gambe, la cui posizione può essere modificata per adattarsi al meglio all'antropologia dell'atleta. Durante il test sono inoltre utilizzati straps in velcro sulle articolazioni d'anca, di ginocchio e caviglia per poter bloccare le gambe.

Nella Tabella 2.3 sono descritti i test da condurre in fase di valutazione con i relativi sistemi di punteggio:

Test – Table – Test (TTT)	
TEST	PUNTEGGIO E ABILITA'
<b>Test 1</b> L'atleta si siede con le mani dietro il collo e gli è chiesto di flettere il più possibile in avanti il tronco e quindi di estenderlo e di fermarsi nella posizione corrispondente a 45° di flessione del tronco. La posizione deve essere mantenuta per 5 secondi, sempre tenendo le mani dietro il collo.	<b>Punteggio 0: nessuna funzione</b> L'atleta riesce a sporgersi in avanti ma perde l'equilibrio prima di 45°.
	<b>Punteggio 1: scarsa funzione</b> L'atleta riesce a sporgersi in avanti ma non riesce a contrastare la gravità.
	<b>Punteggio 2: funzione equa</b> L'atleta riesce a sporgersi in avanti e salire con l'utilizzo della testa e della parte superiore del tronco oltre i 45°.
	<b>Punteggio 3: funzione normale</b> L'atleta si raddrizza normalmente.
<b>Test 2</b> È chiesto all'atleta di piegare le braccia sopra il petto, inclinarsi all'indietro e mantenere un'inclinazione all'indietro del tronco rispetto all'orizzontale di 45° per 5	<b>Punteggio 0: nessuna funzione</b> L'atleta non riesce a inclinarsi all'indietro, perde l'equilibrio.
	<b>Punteggio 1: scarsa funzione</b>

secondi. Di seguito, all'atleta è chiesto di ritornare nella posizione di partenza, completamente diritto in posizione seduta.	L'atleta riesce a inclinarsi di qualche grado oltre il centro di gravità. L'atleta compensa con la testa e aumentando la curva cifotica nella parte superiore del tronco.
	<b>Punteggio 2: funzione equa</b> L'atleta riesce a inclinarsi all'indietro a 45°, ma non riesce a mantenere la posizione.
	<b>Punteggio 3: funzione normale</b> L'atleta si riporta in posizione eretta normalmente.
<b>Test 3</b> È chiesto all'atleta di eseguire una massima rotazione del tronco in posizione seduta e in entrambe le direzioni mentre mantiene gli arti superiori completamente abdotti.	<b>Punteggio 0: nessuna funzione</b> L'atleta non riesce a sedersi con le braccia abdotte
	<b>Punteggio 1: scarsa funzione</b> L'atleta utilizza solamente le braccia nel tentativo di eseguire la rotazione.
	<b>Punteggio 2: funzione equa</b> L'atleta riesce a ruotare il tronco, ma meglio in una direzione rispetto all'altra oppure la spina lombare non segue la rotazione.
	<b>Punteggio 3: funzione normale</b> Normale rotazione del tronco
<b>Test 4</b> È chiesto all'atleta di sollevare una palla medica di 1 kg sopra la testa, da sinistra a destra e ritorno utilizzando entrambe le mani. Appoggiarsi sulla palla deve essere evitato.	<b>Punteggio 0: nessuna funzione</b> L'atleta non riesce a sollevare la palla medica.
	<b>Punteggio 1: scarsa funzione</b> L'atleta riesce a sollevare la palla medica, ma non riesce né a tenerla con entrambe le mani né sopra il capo. L'atleta utilizza una mano per aumentare la stabilità.
	<b>Punteggio 2: funzione equa</b> L'atleta si appoggia alla palla medica quando la appoggia a terra.
	<b>Punteggio 3: funzione normale</b> Funzione normale.

Tabella 2.3: Esercizi eseguiti durante il TTT con i punteggi relativi ai gradi di mobilità associati all'esercizio.

Una volta che i test sono stati eseguiti e l'atleta risulta aver raggiunto i criteri minimi per poter essere classificato, il Classification Panel lo inserisce, in base al punteggio ottenuto, all'interno di una delle seguenti classi: LW10, LW10.5, LW11, LW11.5 o LW12.

#### **Classe LW 10**

Gli atleti che sono eleggibili per la classe LW 10 presentano deficit agli arti inferiori e al tronco che comportano:

- Un punteggio massimo pari a 2 per ogni muscolo addominale superiore e inferiore in ogni direzione e per gli estensori distali del tronco: l'atleta non è in grado di mantenere la posizione seduta contro la gravità autonomamente e senza il supporto delle braccia mentre esegue il TTT, necessitando quindi di essere bloccato alla tavola lungo le gambe;
- Un punteggio del TTT tra 0 e 2;
- Un punteggio di sensibilità al tocco di 0 nella zona S3 – S5.

#### **Classe LW 10.5**

Gli atleti che sono eleggibili per la classe LW 10.5 presentano deficit agli arti inferiori e al tronco che comportano:

- Un punteggio pari a 3 nell'attività dei muscoli addominali superiori ed estensori del tronco ed uno pari o minore di 2 nell'attività dei muscoli addominali che connettono la struttura pelvica. L'atleta è in grado di rimanere seduto staticamente senza il supporto delle braccia se correttamente legato lungo le gambe durante il TTT senza essere in grado di muoversi oltre la base del supporto;
- Un punteggio del TTT compreso tra 3 e 6;
- Un punteggio di sensibilità al tocco pari a 0 nella zona S3 – S5.

#### **Classe LW 11**

Gli atleti che sono eleggibili per la classe LW 11 presentano deficit agli arti inferiori e al tronco che comportano:

- L'uso dei muscoli addominali e dei muscoli estensori del tronco, ed in particolar modo quei muscoli collegati alle pelvi, è mantenuto (punteggio pari o maggiore di 3);
- Un punteggio ottenuto durante la flessione dell'anca pari o minore di 2 per entrambi i fianchi;
- Un punteggio del TTT compreso tra 7 e 10;
- Un punteggio di sensibilità al tocco compreso tra 0 e 2 nella zona S3 – S5;
- Una capacità dell'atleta di rimanere nella posizione seduta senza supporti esterni (con o senza gli straps) sulla tavola, una capacità di muovere il tronco fuori dall'area della base di supporto e di tornare nella posizione iniziale senza aiuti esterni e sempre mantenendo la posizione sitting.

#### **Classe LW 11.5**

Gli atleti che sono eleggibili per la classe LW 11.5 presentano deficit agli arti inferiori, o ad un solo arto, e al tronco che comportano:

- Un'attivazione quasi normale dei muscoli del tronco (punteggio pari a 3 – 4 per i muscoli addominali e per i muscoli estensori del tronco);
- Un punteggio ottenuto durante la flessione dell'anca pari o maggiore di 3 su un fianco ed un punteggio di estensione dell'anca pari o maggiore di 1 su uno o entrambi i fianchi (l'atleta può essere in grado di rimanere in posizione standing o di camminare con o senza l'aiuto di ortesi);
- Un punteggio del TTT pari a 11;
- Un punteggio di sensibilità al tocco compreso tra 0 e 2 nella zona S3 – S5.

### Classe LW 12

Gli atleti che sono eleggibili per la classe LW 12 presentano deficit solamente in uno o in entrambi gli arti inferiori che comporta:

- Una funzione normale del tronco (punteggio pari a 4 – 5 per i muscoli addominali e per gli estensori del tronco);
- Un punteggio compreso tra 3 e 5 per la flessione ed estensione dell'anca, unilaterale o bilaterale;
- Un punteggio del TTT pari a 12;
- Un punteggio di sensibilità al tocco compreso tra 0 e 2 nella zona S3 – S5.

Nelle competizioni di sci nordico paralimpico non è presente un evento singolo per ogni classe, ma gli atleti appartenenti alle cinque classi LW 10 – LW 12 competono tutti per la stessa medaglia. In modo da ottenere risultati comparabili tra di loro, l'IPC utilizza dei coefficienti correttivi, ovvero dei coefficienti moltiplicativi assegnati ad ogni classe che sono utilizzati per modificare il tempo finale di gara ottenuto da un atleta in base alla sua classe di appartenenza. Questo sistema percentuale utilizzato dalla World Para Nordic Skiing è basato sulla valutazione dei risultati ottenuti dagli atleti durante la stagione passata: i coefficienti vengono infatti revisionati ogni anno dall'IPNSC (International Paralympic Nordic Skiing Committee) in modo da avere dei valori sempre aggiornati.

Di seguito nella Tabella 2.4 sono riportati i coefficienti correttivi percentuali utilizzati durante la stagione 2013/2014, la stagione 2017/2018, anno dei Mondiali Paralimpici svoltisi a Vuokatti, e durante la stagione corrente 2019/2020:

COEFFICIENTI CORRETTI PERCENTUALI			
CLASSI	Coeff % 2013 – 14	Coeff % 2017 – 18	Coeff % 2019 – 20
LW 10	86 %	86 %	86 %
LW 10.5	90 %	90 %	88 %
LW 11	94 %	94 %	93 %
LW 11.5	97 %	96 %	95 %
LW 12	100 %	100 %	100 %

Tabella 2.4: Coefficienti percentuali correttivi utilizzati dall'IPC durante le stagioni 2013-14, 2017-18 e 2019-20.

Per cui, per esempio, un atleta che avesse partecipato durante tutte e queste 3 stagioni nella classe LW 11.5, avrebbe visto il proprio tempo finale di gara di 25:00 minuti, per esempio, modificato in 24'15" nella stagione 2013/14, 24'00" nella stagione 2017/18 e 23'45" nella stagione corrente 2019/20.

## 2.4 La classificazione evidence – based

Gli sport paralimpici nascono negli anni '40 con il dottor Ludwig Guttmann come un'estensione del processo riabilitativo dei pazienti. Durante i primi anni del nuovo movimento sportivo la classificazione degli atleti era basata soltanto sul giudizio medico, riflettendo perciò la struttura di un ospedale di riabilitazione. Questo tipo di classificazione prende il nome di medically based system. Gli atleti erano assegnati ad una determinata classe in base alla diagnosi medica e gareggiavano all'interno di questa in tutti gli sport paralimpici. Utilizzando questo tipo di classificazione non veniva considerato il fatto che due differenti patologie potessero causare lo stesso livello di limitazione nello svolgimento di una determinata attività e quindi risultare in un impedimento simile o, al contrario, che la medesima patologia potesse indurre a livelli di limitazione della pratica sportiva differente (S M Tweedy, 2011).

Con lo sviluppo del movimento paralimpico l'attenzione durante la fase di classificazione si è spostata maggiormente sullo sport piuttosto che sulla riabilitazione, portando allo sviluppo di sistemi di classificazioni funzionali. Pertanto, questa tipologia di classificazione prende il nome di functional classification system. Lo sviluppo di questa nuova tipologia di sistemi di classificazione ha comunque portato ad alcune problematiche (S M Tweedy, 2011):

- Il termine “classificazione funzionale” implica che gli atleti siano suddivisi in classi in base al loro livello di funzionalità. Anche se la funzionalità è correlata all'impedimento, dipende anche da altri fattori quali, per esempio, l'età, l'allenamento e la motivazione dei soggetti;
- Nella definizione dell'ICF il termine “funzione” ha un carattere troppo generale che può riferirsi anche ad altre componenti quali, per esempio, la struttura corporea;
- All'interno del movimento paralimpico il termine “sistemi di classificazione funzionale” assume significato diverso in accordo al contesto sportivo in cui è inserito.

In sintesi, nei sistemi di classificazione funzionali i fattori determinanti la classe di un atleta non sono la diagnosi o la valutazione medica, ma bensì quanto l'impedimento di una persona vada ad influire sulla sua prestazione sportiva. In accordo a questo, risulta quindi evidente la differenza di approccio del sistema funzionale rispetto al sistema medico, poiché l'impedimento causato nell'atleta dipende dal gesto sportivo da effettuare. I sistemi di classificazione funzionali devono necessariamente essere sport – specifici (S M Tweedy, 2011).

Storicamente la transizione tra i due sistemi di classificazione è iniziata alla fine degli anni '70, ma solamente alla fine degli anni '80 si è avuto un rapido passaggio tra i due, grazie agli accordi stipulati durante l'organizzazione delle paralimpiadi di Barcellona del 1992: ciò è stato promosso dalla necessità degli organizzatori di ridurre il numero delle classi esistenti fino a quel momento in modo da poter ridurre la complessità dell'organizzazione dell'evento. Poiché molti sport non avevano ancora sviluppato un sistema di classificazione funzionale e anche a causa del poco tempo per realizzarlo, all'interno di ogni sport lo sviluppo di tali sistemi è stato affidato a classificatori provenienti da diversi background, quali medici, fisioterapisti, atleti ed allenatori (S M Tweedy, 2011).

In generale, le difficoltà legate alla validità di un metodo di classificazione funzionale sono correlate a due importanti caratteristiche di misurazione: il peso della misurazione e l'aggregazione di più misurazioni. Il peso della misurazione si riferisce all'influenza relativa della misura della limitazione sul risultato finale della classificazione, questo è il caso di

limitazione fisica complessa che potrebbe condurre a differenti output di classi per quell'atleta. L'aggregazione di più misurazioni sottolinea l'importanza e la difficoltà di aggregazione o somma di due o più differenti tipi di limitazioni fisiche in modo da ottenere un unico singolo output da utilizzare durante le fasi di classificazione (S M Tweedy, 2011).

Queste due problematiche legate alla validità della classificazione funzionale rendono i casi più complessi rischiosi nel processo di classificazione. Per tale motivo dal 2007 è iniziato lo sviluppo di una classificazione evidence-based. La definizione di una classificazione evidence-based è ancora in via di sviluppo, per tale motivo ad oggi si utilizza ancora una classificazione funzionale. Sport come il wheelchair racing, wheelchair rugby, cross-country sit skiing hanno iniziato ricerche strutturate allo sviluppo di un sistema di classificazione evidence-based (S M Tweedy, 2011).

Un sistema di classificazione evidence – based è un sistema che si basa evidenze empiriche per assegnare ogni atleta alla classe corretta ed utilizza un linguaggio chiaro e non soggettivamente interpretabile utilizzando i termini descritti nell'ICF. Una struttura tassonomica di tali sistemi di classificazione risulta pertanto necessaria perché permette la formulazione di quesiti indagabili attraverso la convenzionale scienza sperimentale. I prerequisiti tassonomici richiesti per minimizzare l'impatto della limitazione fisica sul risultato finale della competizione sono (S M Tweedy, 2011):

- la definizione dei criteri di eleggibilità in funzione del tipo e della severità della limitazione fisica;
- la descrizione di metodi per la classificazione delle limitazioni fisiche eleggibili in base al grado di limitazione che causano per una determinata attività.

In accordo a questi due criteri, all'interno degli sport paralimpici sono stati classificati sono i 10 maggiori tipi di limitazioni, classificati in 3 gruppi distinti: limitazioni fisiche, limitazioni visive e limitazioni intellettuali. Tra le limitazioni fisiche si riconoscono: una ridotta forza muscolare, la diminuzione del range di movimento (ROM), la mancanza di arti, la differente lunghezza degli arti inferiori, l'ipertonia, l'atassia, l'atetosi e il nanismo. Tali limitazioni devono inoltre essere permanenti e non risolvibili attraverso la riabilitazione o altri interventi medici; risulta inoltre di particolare importanza sottolineare che le condizioni di salute che portano ai tipi di limitazioni eleggibili possono affliggere molteplici strutture e funzioni del corpo. Infine, è importante sottolineare come non tutti gli sport paralimpici classificano tutte e 10 le menomazioni principali: la scelta della classificazione è riservata ad ogni singolo sport (S M Tweedy, 2011).

La presenza di una limitazione, però, non costituisce automaticamente l'eleggibilità dell'atleta. Infatti, per essere eleggibile, la gravità del deficit deve superare una determinata soglia minima di disabilità imposta da ogni federazione sportiva in base all'impatto di tale limitazione sulla prestazione. All'interno di ogni sport risulta quindi necessario evidenziare quelle attività che risultano di fondamentale importanza per il risultato finale e successivamente definire i criteri per ogni tipo di limitazione eleggibile che influiscono su queste attività fondamentali. Questo comporta, come sottolineato precedentemente, la possibilità che un atleta con una certa limitazione sia considerato ineleggibile poiché non supera la soglia minima del criterio di disabilità per uno specifico sport, ma risulti invece eleggibile all'interno di un altro. Infine, è importante sottolineare come le limitazioni che causano limitazioni durante le attività svolte in allenamento che però non impattano direttamente sulle attività specifiche di quello sport debbano essere esclusi in fase di valutazione. Infine, dopo aver definito i tipi di limitazioni che soddisfano i criteri di eleggibilità

è ancora necessario suddividerli in classi in base al livello di limitazione che causano (S M Tweedy, 2011).

Una volta aver impostato la struttura tassonomica del sistema di classificazione è quindi necessario sviluppare i metodi di valutazione empirica della classificazione attraverso la ricerca. I sistemi di classificazione evidence – based necessitano di ricerche che si focalizzino sul processo e non sul prodotto. Le ricerche che si basano sul prodotto permettono di valutare le relazioni inter e intra classi risultanti dal processo stesso di classificazione risultando più come una valutazione del prodotto classificato. Al contrario, le ricerche sul processo includono anche il lavoro teorico che permette di stabilire i principi tassonomici che sostengono il sistema di classificazione e la ricerca empirica che valuta la validità dei metodi utilizzati per la suddivisione delle unità nelle varie classi. Per lo sviluppo di un sistema evidence-based, si deve usare un approccio basato sul processo (S M Tweedy, 2011).

Per lo sviluppo di un sistema di classificazione evidence-based, il primo step necessita di uno sviluppo di metodi oggettivi e affidabili per la misurazione della limitazione. I ricercatori devono quindi promuovere l'utilizzo di misure strumentate che siano semplici, velocemente disponibili, oggettive e ripetibili. Le caratteristiche dei criteri che sono stati individuati come validi per la misura della limitazione sono (S M Tweedy, 2011):

- Specifici per la limitazione: il test svolto dovrebbe misurare l'effetto solo di un tipo di limitazione senza presentare “contaminazioni” dagli altri tipi presenti;
- Valutazione della massima varianza della performance sportiva: il test svolto dovrebbe valutare la massima varianza della performance assicurandosi quali siano le strutture corporee che la influenzano e quali sono le posizioni del corpo maggiormente rilevanti nel risultato sportivo ottenuto;
- Resistenza delle misure all'allenamento (quando è possibile).

I metodi per la valutazione delle limitazioni di una attività variano in base allo sport di interesse e alla limitazione analizzata. Un approccio utilizzabile è quello di indentificare le attività visive, intellettuali e biomeccaniche che hanno il maggiore impatto nello sport studiato ed utilizzarle come base per lo sviluppo di protocolli altamente standardizzati e sport – sport specifici. Per poter fare ciò è necessario che tutti gli atleti eseguano il gesto sportivo nello stesso standardizzato modo (ciò comprende, per esempio, il posizionamento e l'equipaggiamento). L'utilizzo di posizioni atleta – specifiche o l'uso di strumentazione aggiunta rispetto a quella standardizzata influiscono sul livello di limitazione, rendendo impossibile la comparazione dei risultati di atleti diversi (S M Tweedy, 2011).

Dopo aver sviluppato un determinato numero di misurazioni ed averne acquisito i valori da un campione di atleti che sia abbastanza largo e rappresentativo, si procede all'analisi di questi usando diversi approcci statistici. Il risultato delle analisi è un'equazione di regressione che riflette il peso relativo di associazione tra le varie misure di limitazione e le limitazioni dell'attività in esame. Tale equazione di regressione rappresenta la base del processo di classificazione che permettere di ottenere un singolo punteggio di limitazione dalla serie di risultati dei test effettuati (S M Tweedy, 2011).

Il processo di misurazione della limitazione comporta due importanti sfide: la prima rappresenta la validità dei risultati ottenuti e la seconda la non influenza dell'allenamento sulle misurazioni. È possibile, infatti, che alcuni atleti cerchino di ottenere una classificazione il più favorevole possibile andando a svolgere la batteria di test al di sotto delle proprie reali potenzialità in modo da esagerare la severità del deficit; per combattere

tale comportamento l'IPC ha imposto severe sanzioni o anche la squalifica a vita, in modo da mantenere la correttezza e l'integrità delle competizioni paralimpiche. È inoltre importante che atleti che abbiano influenzato positivamente il loro deficit attraverso il solo allenamento non vengano inseriti in una classe più svantaggiosa per loro. Per questo motivo è importante sviluppare una batteria di test che non siano sport – specifici, ma limitazione – specifica (S M Tweedy, 2011).

Tramite i processi appena descritti è possibile individuare un adeguato numero di classi in relazione allo sport sotto esame. Si parla di classi naturali quando è presente un chiaro punto di separazione in una variabile continua, mentre se la variabile presenta una relazione strettamente lineare è matematicamente impossibile creare delle classi che comprendano atleti con lo stesso grado di limitazione. In questo secondo caso, all'interno di una singola classe saranno presenti atleti con un diverso range di limitazione dell'attività, ma in modo tale che la suddivisione non vada a creare significativi svantaggi durante una competizione. Infine, un numero basso di atleti appartenenti ad una classe non è un'indicazione che il numero delle classi utilizzate debba diminuire poiché porterebbe ad una instabilità intrinseca del sistema di classificazione legata al numero di atleti partecipanti (S M Tweedy, 2011).

Le rispettive organizzazioni di ogni sport rivestono un ruolo fondamentale perché sono gli enti che approvano o meno le nuove scoperte scientifiche per migliorare la rispettiva classificazione e possono inoltre contribuire alla qualità e alla rilevanza della ricerca; ovviamente tutte le singole organizzazioni sportive devono rispettare i requisiti imposti dal Classification Code dell'IPC. Molti sport paralimpici hanno sviluppato una specifica batteria di test nella fase di classificazione, in modo da renderla sport – specifica; l'unica eccezione è legata al deficit visivo, per il quale è sostanzialmente utilizzato lo stesso metodo di classificazione per ogni sport.

Sulla scia degli studi condotti riguardo lo sviluppo ed utilizzo dell'MMT nella classificazione evidence-based, Beckman et al. hanno testato una nuova batteria di sette test isometrici e resistenti all'allenamento per lo studio della diminuzione della forza muscolare (Emma M. Beckman, July 2014). I risultati ottenuti sono stati espressi sotto forma di un numero razionale e sono risultati promettenti, rendendo valida la batteria di test da loro descritta per un futuro impiego all'interno della classificazione evidence-based. Questo studio è stato però condotto su soggetti normodotati: nello studio di Tervo et al riguardante l'analisi della tecnica classica nello sci di fondo, si è però osservato come gli atleti con la possibilità di gareggiare in piedi, utilizzati come soggetti di ricerca sulla biomeccanica sullo slittino, erano in grado di attivare alcuni distretti muscolari che gli atleti con paraplegia o amputazioni non erano in grado di attivare (Tervo JL, July 19-23. 2010). Utilizzare quindi come soggetti degli atleti normodotati avrebbe condotto a valutazioni errate riguardo la biomeccanica degli atleti paralimpici seduti. In accordo con questo pensiero, lo studio di Gastaldi et al ha utilizzato come soggetti gli atleti paralimpici partecipanti alle gare di cross country durante le paraolimpiadi invernali di Vancouver 2010, in modo tale da poter osservare un buon numero di atleti internazionali. È stato possibile osservare come i diversi livelli di limitazione fisica negli atleti seduti, e quindi la loro appartenenza a diverse classi, si riflettessero nella loro diversa cinematica nella fase di spinta. La possibilità di controllare totalmente o solo parzialmente i muscoli flessori ed estensori del tronco rappresenta infatti un grosso vantaggio sia in termini di generazione della forza di propulsione, sia in termini di equilibrio. Ciò permette di ridurre il lavoro a carico delle articolazioni di spalla e gomito e di generare una maggior forza limitando al contempo l'affaticamento muscolare. Gli atleti che invece non hanno la possibilità di controllare i movimenti del tronco riescono ad ottenere una flessione del tronco grazie alla gravità, mentre l'estensione è ottenuta tramite

meccanismi di compensazione che utilizzano l'inerzia della testa, delle braccia e della parte superiore del tronco. È stato osservato, inoltre, che la mancanza dei muscoli addominali ed estensori influenza anche la forma della slitta e la postura dell'atleta, obbligandolo ad utilizzare degli straps a livello delle pelvi per mantenersi agganciato allo slittino, oltre che a dover gareggiare in una posizione con le ginocchia alte, in modo da limitare l'inclinazione anteriore del corpo. Tutti gli altri atleti che non necessitano di un contenimento simile gareggiano con le ginocchia poste ad un livello più basso delle pelvi, in modo da riuscire a generare una maggior forza orizzontale durante la fase di spinta (Laura Gastaldi, 2012). Ciò è stato riscontrato anche dagli studi di Rosso et al valutando diverse variabili legate alle posizioni del tronco in relazione alle fasi di spinta di diversi gruppi di atleti paralimpici acquisite in ambiente indoor con l'utilizzo di un ergometro adattato e diverse posizioni di seduta durante una gara di coppa del mondo 2014 (Rosso V L. V., May 15-18, 2016), (Rosso V L. V.-L., June 13-18, 2018). L'analisi biomeccanica del movimento degli atleti seduti nello sci nordico con l'utilizzo di un ergometro in ambiente protetto vs un ambiente naturale è stato oggetto dello studio di Rosso et al. (Rosso V G. L., 2016). Durante lo studio si è valutato se l'utilizzo di un ergometro potesse rappresentare un'opzione per l'allenamento indoor degli atleti. Per fare tale valutazione si sono comparati i pattern dell'attività muscolare, la forza generata, la velocità massima raggiunta e alcune caratteristiche del ciclo di spinta. Dall'analisi dei dati è risultata una similarità tra i valori dell'attivazione muscolare, dei pattern di attivazione di alcuni muscoli e del livello di forza generata in condizioni naturali e simulate. Si è inoltre osservato che la condizione simulata con ergometro ha comportato un aumento del tempo di spinta e del ciclo. Si è comunque evidenziato che la comparabile attività muscolare, i simili pattern di attivazione muscolare e di forza generata in condizioni naturali e simulate fossero sufficienti per considerare ottimo l'utilizzo dell'ergometro per l'allenamento della forza massimale di muscoli della parte superiore del corpo e per testare la capacità aerobica e anaerobica in condizioni sport-specifiche affidabili e ripetibili.

### CAPITOLO 3 : Scopo della tesi

La capacità di mantenere l'equilibrio in posizione seduta e il controllo del tronco sono quindi fattori che definiscono l'appartenenza di un atleta a una determinata classe.

La possibilità di studiare nuovi dati ottenuti durante una manifestazione internazionale e quindi appartenenti ad atleti élite, offre l'opportunità di proseguire quanto è già stato fatto per lo sci nordico. In particolare, lo scopo di questa tesi è quello di valutare criticamente i dati forniti in modo da aumentare le conoscenze nell'ambito della classificazione nello sci nordico. Questa tesi si pone come obiettivo quello di fornire ulteriori informazioni e di proseguire il lavoro già svolto per lo sviluppo di un sistema evidence-based, eseguendo delle analisi collocate all'interno del contesto descritto nel capitolo precedente.

In relazione a quanto spiegato finora, questa tesi si pone come obiettivo rispondere alle seguenti domande:

1. Fattori come il genere dell'atleta, il tracciato di gara e le condizioni meteo potrebbero avere influenza sulle percentuali correttive dei tempi di gara per le differenti classi? Per rispondere a questa domanda si sono valutati i risultati ottenuti in quattro differenti gare svoltesi dal 3 al 9 febbraio 2018 a Vuokatti, Finlandia, durante i campionati mondiali di sci paralimpico sia per gli atleti di genere femminile che maschile. In particolare, si sono studiati:
  - I coefficienti correttivi ottenuti valutando il tempo totale di gara, in modo da poter valutare come le condizioni meteo (dato fornito dalla Time Company) influissero sull'andamento generale delle competizioni e se la differente lunghezza delle gare potesse avere una qualche influenza sull'andamento dei valori delle percentuali correttive;
  - I tempi intermedi dei tratti del percorso con caratteristiche ben definite, quali tratti in salita più o meno accentuata, tratti di pianura, tratti di discesa e curve accentuate. Sono stati calcolati gli intertempi medi e le relative deviazioni standard di ogni classe per ogni giro di ognuna delle quattro gare analizzate. Questo ha permesso di valutare se, in generale, gli atleti tendessero ad applicare una tipologia di gara "all-out", cioè facendo il primo giro più veloce e cercando poi di mantenere o comunque perdere il meno possibile per i giri successivi e, in caso affermativo quale/i classe/i tendessero ad avere maggiormente questo comportamento e in quale/i gara/e maggiormente. Ciò ha permesso anche di osservare se determinate classi in determinate gare e condizioni meteo presentassero una maggiore o minore dispersione dei dati temporali in base all'analisi del valore della distribuzione standard. Infine, le differenze temporali evidenziate dal confronto dei valori medi al giro di ogni classe sono state confutate tramite analisi statistica per osservare se tali valori permettessero di riscontrare differenze statisticamente significative tra le classi;
  - I tempi intermedi di tratti di percorso che presentavano un andamento particolare, quali tratti in salita più o meno accentuata, tratti di pianura, tratti di discesa e curve accentuate. Sono stati calcolati i coefficienti correttivi per ognuno dei seguenti tratti in modo da evidenziare come la pendenza (o l'inclinazione del tracciato) influisse sui valori dei coefficienti correttivi in relazione alla classe di appartenenza degli atleti. Questo ha poi permesso di provare a fare una previsione

del tempo medio impiegato dagli atleti a percorrere tratti con andamento misto, pesando ogni coefficiente con la relativa lunghezza del tratto analizzato;

- Si è scelto di valutare la possibile differenza delle percentuali correttive per il genere femminile e maschile poiché l'IPC utilizza le stesse percentuali correttive per entrambi. Tutti i coefficienti correttivi sono quindi stati calcolati sia per gli atleti di genere femminile che maschile e quindi confrontati tra loro. Questo ha permesso di valutare se il genere dell'atleta potesse influire sull'andamento delle percentuali calcolate sia in relazione alle differenti condizioni atmosferiche durante le quattro competizioni analizzate sia su differenti pendenze e andamenti del tracciato.
2. Esistono delle differenze tra atleti migliori e peggiori riscontrabili dall'analisi dei tempi di gara?  
Per rispondere a questa domanda si sono valutati i tempi di gara dei tre atleti migliori e dei tre atleti peggiori per tutte e quattro le competizioni. In particolare, si sono analizzati:

- Le classi di appartenenza degli atleti. Ciò ha permesso di valutare la presenza o meno di una classe all'interno di uno dei due gruppi, evidenziando in questo modo come l'appartenenza degli atleti a diverse classi si riflettesse in una differenziazione netta o meno dei risultati ottenuti durante la competizione;
- La presenza sempre degli stessi atleti o meno all'interno di uno dei due gruppi. In questo modo si è verificato se la presenza di una classe all'interno di uno dei due gruppi potesse essere correlata alla bravura o alla poca competitività di un determinato atleta. Ovviamente per poter fare quest'analisi si è dapprima controllato quali atleti avessero partecipato a quali competizioni;
- La differenza media temporale di gara dei due gruppi. In questo modo è stato possibile valutare se tale differenza fosse costante durante le quattro competizioni oppure se fosse influenzata dalla lunghezza della competizione o dalle condizioni meteorologiche e della neve.

Le analisi sono state svolte sia per il genere femminile che maschile, in modo da poter osservare se queste variabili fossero dipendenti dal genere degli atleti o meno.

3. Gli atleti e le atlete che hanno partecipato a tutte e quattro le competizioni analizzate hanno realizzato prestazioni cronometriche tra loro confrontabili? A quale classe appartengono tali atleti?

Per rispondere a queste domande si sono valutati gli intertempi ottenuti in tratti del percorso selezionati per la particolare altimetria. In particolare, si sono studiati:

- L'andamento di tali intertempi durante le quattro competizioni, in modo da osservare la presenza o meno di affaticamento negli atleti in funzione dell'altimetria del percorso e delle condizioni atmosferiche;
  - La differenza statistica dei valori medi ottenuti durante le quattro competizioni.
4. I sensori inerziali forniscono informazioni caratteristiche della cinematica della sciata?

Per rispondere a questa domanda si sono valutati i segnali acquisiti con un sensore inerziale fissato sullo slittino. In particolare, si sono studiati:

- I segnali acquisiti tramite il magnetometro, in modo da verificare la bontà dei dati forniti dal magnetometro rispetto a quelli della Time Company per valutare i

valori degli intertempi dei segmenti di interesse in funzione di quelli calcolati dai dati forniti dalla TC in modo da poterli utilizzare in caso di malfunzionamento del sistema di rilevazione principale;

- I segnali acquisiti tramite l'accelerometro, in modo da identificare pattern significativi all'interno dei segnali stessi che permettessero di associare correttamente un atleta alla sua classe di appartenenza.

## CAPITOLO 4 : Materiali e metodi

In questa tesi sono stati analizzati i dati acquisiti durante i Mondiali Paralimpici svoltisi a Vuokatti dal 2 al 10 febbraio 2018. I dati sono stati acquisiti durante quattro differenti competizioni: biathlon sprint (BS), biathlon individual (BI), cross country middle distance (XCM) e cross country long distance (XCL). In particolare, ci si è concentrati sui dati acquisiti dagli atleti che hanno gareggiato in posizione seduta.

### 4.1 Atleti analizzati

Lo studio ha preso in considerazione un numero totale di 37 atleti, di cui 23 uomini e 14 donne, non omogeneamente ripartiti tra le quattro gare e tra le singole classi all'interno di una stessa gara. Dato il numero esiguo di partecipanti, le competizioni non hanno mai avuto almeno un atleta appartenente ad ogni classe. I soggetti presi in considerazione e le loro partecipazioni sono riportati nella Tabella 4.1 e nella Tabella 4.2:

<b>CLASSE</b>	<b>UOMINI</b>	<b>BIATHLON SPRINT</b>	<b>BIATHLON INDIVIDUAL</b>	<b>XC MIDDLE</b>	<b>XC LONG</b>
LW 10	<i>Alteta 1</i>	X		X	X
	<i>Alteta 2</i>			X	X
LW 11	<i>Alteta 3</i>	X		X	X
	<i>Alteta 4</i>			X	X
	<i>Alteta 5</i>			X	X
LW 11.5	<i>Alteta 6</i>			X	
	<i>Alteta 7</i>	X	X		X
	<i>Alteta 8</i>	X	X	X	X
LW 12	<i>Alteta 9</i>	X	X	X	X
	<i>Alteta 10</i>	X	X	X	X
	<i>Alteta 11</i>	X	X	X	X
	<i>Alteta 12</i>	X	X	X	X
	<i>Alteta 13</i>	X	X	X	X
	<i>Alteta 14</i>	X	X	X	X
	<i>Alteta 15</i>	X	X	X	X
	<i>Alteta 16</i>		X	X	X
	<i>Alteta 17</i>	X	X		X
	<i>Alteta 18</i>	X	X	X	
	<i>Alteta 19</i>	X	X	X	
	<i>Alteta 20</i>			X	X
	<i>Alteta 21</i>			X	X
	<i>Alteta 22</i>			X	X
	<i>Alteta 23</i>			X	X
<b>TOTALE: 23</b>		<b>14</b>	<b>13</b>	<b>21</b>	<b>20</b>

Tabella 4.1: Elenco degli atleti presenti ai mondiali paralimpici di Vuokatti e le relative gare affrontate.

<b>CLASSE</b>	<b>DONNE</b>	<b>BIATHLON SPRINT</b>	<b>BIATHLON INDIVIDUAL</b>	<b>XC MIDDLE</b>	<b>XC LONG</b>
LW 10.5	<i>Atleta 1</i>	X	X	X	
	<i>Atleta 2</i>	X		X	X
	<i>Atleta 3</i>			X	X

	<i>Atleta 4</i>	X		X	
LW 11	<i>Atleta 5</i>	X	X		
	<i>Atleta 6</i>			X	X
	<i>Atleta 7</i>			X	X
	<i>Atleta 8</i>	X	X	X	X
LW 12	<i>Atleta 9</i>	X	X	X	X
	<i>Atleta 10</i>	X	X	X	X
	<i>Atleta 11</i>	X	X	X	X
	<i>Atleta 12</i>	X	X	X	X
	<i>Atleta 13</i>	X	X	X	
	<i>Atleta 14</i>			X	X
	<i>TOTALE: 14</i>	10	8	13	10

Tabella 4.2: Elenco delle atlete presenti ai mondiali paralimpici di Vuokatti e le relative gare affrontate.

Come si può notare vi è una grossa disomogeneità di atleti appartenenti a classi diverse e al numero di atleti partecipanti alle differenti gare. Si può inoltre osservare come non tutte le classi siano almeno rappresentate da un atleta in almeno una competizione: nelle gare di sci nordico paralimpico studiate non ha partecipato nessun atleta maschile appartenente alla classe LW 10.5 e nessuna atleta appartenente alla classe LW 10 e LW 11.5. In particolare, per le donne nella gara di biathlon sprint hanno gareggiato 3 atlete della classe LW10.5, 1 atleta LW11 e 6 atlete LW12, nella gara di biathlon individual 1 atleta LW10.5 e LW 11 e 6 atlete LW12, nella gara di cross country middle 4 atlete LW10.5, 2 atlete LW11 e 7 atlete LW12 e nella gara di cross country long 2 atlete LW10.5 e LW 11 e 6 atlete LW12. Tra gli uomini hanno invece partecipato alla gara di biathlon sprint 1 atleta LW10 e LW11, 2 atleti LW11.5 e 10 atleti LW12, nella gara di biathlon sprint 2 atleti LW11.5 e 11 atleti LW12, nella gara di cross country middle 2 atleti LW10.5 e LW11.5, 3 atleti LW11 e 14 atleti LW12 e nella gara di cross country long 2 atleti LW10.5 e LW11.5, 3 atleti LW11 e 13 atleti LW12. È interessante notare come la maggior parte degli atleti appartenga alla classe con minore limitazione fisica, ovvero la LW 12, sia per il genere femminile che maschile. Nella Tabella 4.3 e nella Tabella 4.4 sono riportate le percentuali di partecipazione di ogni classe ad ognuna delle quattro competizioni, rispettivamente per uomini e donne:

<b>UOMINI</b>				
<b>Classe</b>	<b>Biathlon sprint</b>	<b>Biathlon individual</b>	<b>Cross country middle</b>	<b>Cross country long</b>
LW 10	7.1 %	0 %	9.5 %	10.0 %
LW 10.5	0 %	0 %	0 %	0 %
LW 11	7.1 %	0 %	14.3 %	15.0 %
LW 11.5	14.1 %	15.4 %	9.5 %	10.0 %
LW 12	71.5 %	84.6 %	66.7 %	65 %

Tabella 4.3: Percentuali di partecipazione maschile di ogni classe ad ognuna delle quattro competizioni.

<b>DONNE</b>				
<b>Classe</b>	<b>Biathlon sprint</b>	<b>Biathlon individual</b>	<b>Cross country middle</b>	<b>Cross country long</b>

LW 10	0 %	0 %	0 %	0 %
LW 10.5	30.0 %	12.5 %	30.8 %	20.0 %
LW 11	10.0 %	12.5 %	15.4 %	20.0 %
LW 11.5	0 %	0 %	0 %	0 %
LW 12	60.0 %	75.0 %	53.8 %	60.0 %

Tabella 4.4: Percentuali di partecipazione femminile di ogni classe ad ognuna delle quattro competizioni.

## 4.2 Gare analizzate

Durante lo studio sono state considerate quattro diverse gare di sci nordico: biathlon sprint, biathlon individual, cross country middle e cross country long.

Le quattro gare si sono svolte in giorni differenti. In particolare, le gare si sono susseguite nel seguente ordine:

- Biathlon sprint: 3 febbraio 2018;
- Biathlon individual: 4 febbraio 2018;
- Cross country middle: 6 febbraio 2018;
- Cross country long: 9 febbraio 2018.

I tracciati delle quattro gare presentano lunghezza differente a seconda della gara e del genere dell'atleta. Variavano inoltre il numero e/o la lunghezza del numero di giri, come si può osservare nella Tabella 4.5:

GARA	Distanza totale uomini [km]	Distanza totale donne [km]	Numero di giri degli uomini	Lunghezza dei giri degli uomini [km]	Numero di giri delle donne	Lunghezza dei giri delle donne [km]
Biathlon sprint	7.5	6	3	2.5	3	2
Biathlon individual	15	12.5	5	3	5	2.5
Cross country middle	7.5	5	3	2.5	2	2.5
Cross country long	15	12	5	3	4	3

Tabella 4.5: Informazioni metriche e sul numero dei giri da svolgere in ognuna delle quattro competizioni per uomini e donne.

Nella Figura 4.1 è rappresentato il tracciato di gara sovrapposto ad una visione dall'alto dell'ambiente:



Figura 4.1: (vista dall'alto) Tracciato di gara riprodotto con tecnologia WGS84 sul terreno reale delle competizioni.

Le coordinate spaziali dei punti sono state acquisite con il sistema di rilevazione WGS84 (World Geodetic System 1984), lo stesso utilizzato per il sistema di navigazione satellitare. Gli assi del sistema di riferimento cartesiano associato al WGS84 utilizzato per descrivere la Terra (CTS Conventional Terrain System) sono i seguenti (Wikipedia, s.d.):

- Centro: nel centro di massa della Terra;
- Asse Z: passante per il polo Nord;
- Asse X: scelto in modo che il meridiano di Greenwich giaccia sul piano XZ;
- Asse y: scelto in modo da avere una terna destrorsa.

Il sistema WGS84 associa la superficie terrestre a quella di un ellissoide di rotazione e restituisce le coordinate spaziali in latitudine Nord, longitudine Est e quota ellissoidica, cioè in coordinate geodetiche. Per poter rappresentare i punti su di una superficie 2D è necessario trasformare tali coordinate in coordinate piane o cartografiche, dove l'ascissa rappresenta la latitudine E e l'ordinata la longitudine N. La Figura 4.2 è stata ottenuta effettuando la conversione appena descritta:

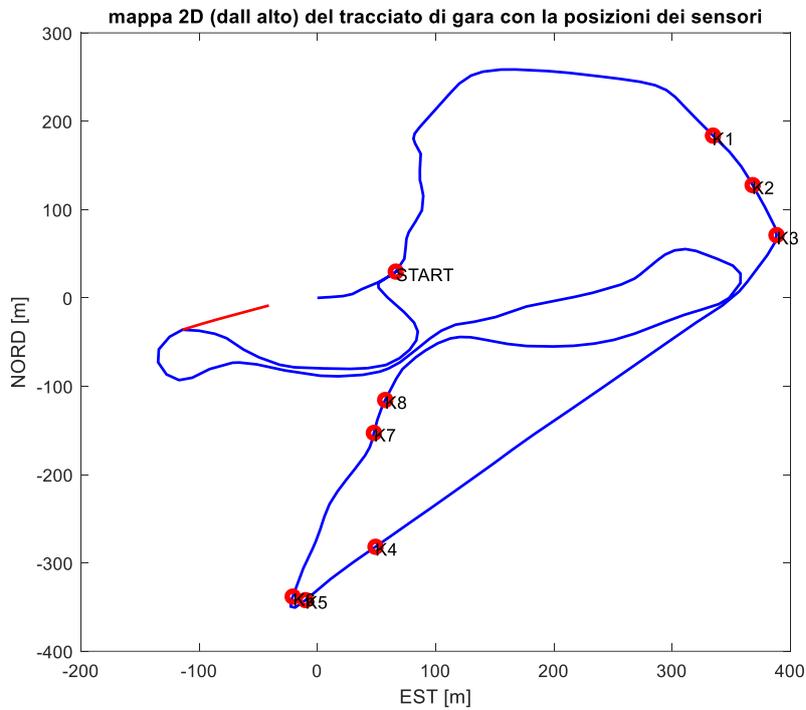


Figura 4.3: (vista dall'alto) Percorso gara riprodotto elaborando i dati GPS forniti. I punti rossi rappresentano le zone in cui sono stati rilevati i parziali di interesse, mentre la parte di tracciato in rosso rappresenta il rettilineo finale.

ha eliminato: 2

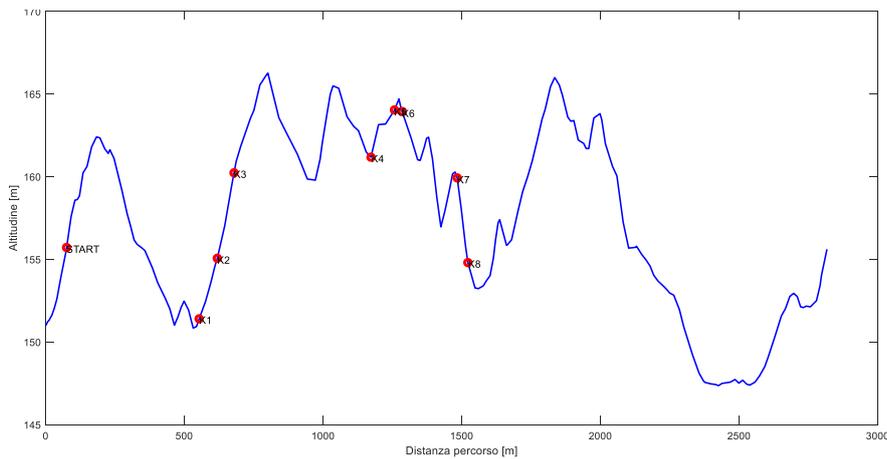


Figura 4.2: Variazione di pendenza di tutto il tracciato di gara. Sul grafico sono inseriti i punti di interesse per la rilevazione dei tempi in modo da avere già una stima qualitativa dell'andamento dei segmenti successivamente analizzati.

ha eliminato: 3

In Figura 4.1 e 4.2, il tratto di percorso rappresentato in rosso rappresenta il rettilineo d'arrivo. In figura 4.2 e 4.3, i punti rossi inseriti sulla mappa rappresentano punti caratteristici per la segmentazione del tracciato in sezioni con caratteristiche costanti. Tali punti sono stati scelti tra quelli utilizzati per ricostruire l'andamento del percorso di Figura 4.1. Il particolare, sono stati considerati i seguenti segmenti:

- K1 – K2: segmento uphill middle;
- K2 – K3: segmento uphill steep;
- K4 – K5: segmento flat;
- K5 – K6: segmento curve;
- K7 – K8: segmento downhill.

Di seguito si riporta il profilo dei cinque segmenti identificati per le analisi:

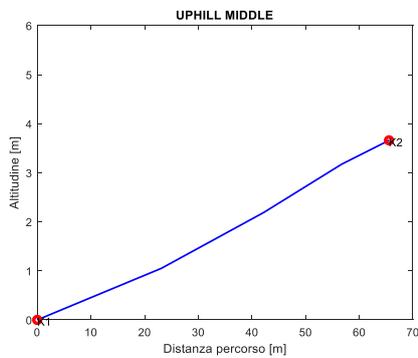


Figura 4.6: Tratto K1-K2 di leggera salita (+5.6%)

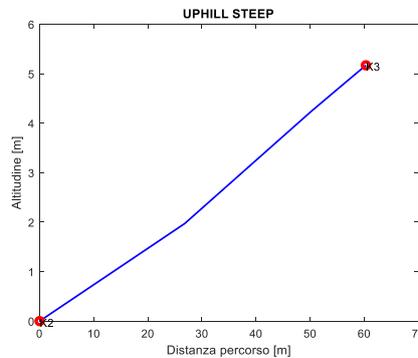


Figura 4.7: Tratto K2-K3 di salita ripida (+8.6%)

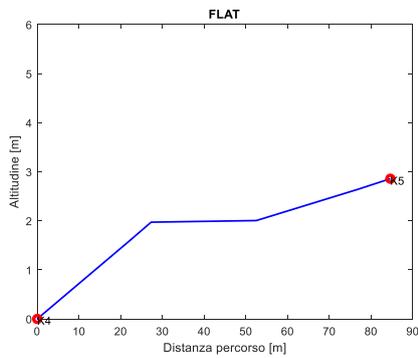


Figura 4.5: Tratto K4-K5 di falsopiano in salita (+3.4%)

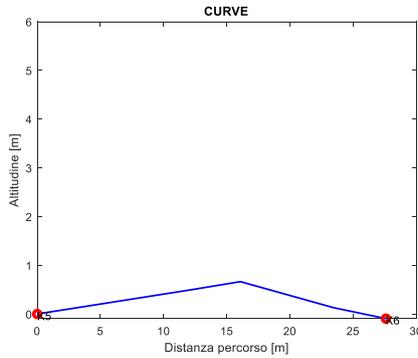


Figura 4.4: Tratto K5-K6 di curva piana e stretta (-0.3%)

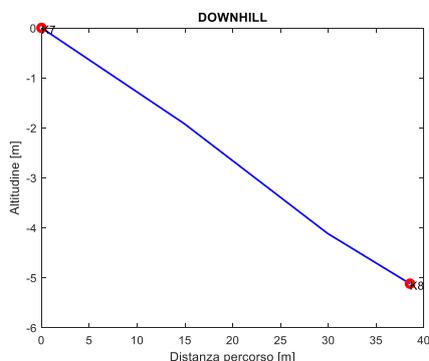


Figura 4.8: Tratto K7-K8 di discesa ripida (-13.3%)

Per ogni segmento descritto e per i segmenti intermedi non rappresentati sono stati calcolati:

- La lunghezza 2D, calcolata come

$$L_{2D} = \sqrt{(x_{K_{i+1}} - x_{K_i})^2 + (y_{K_{i+1}} - y_{K_i})^2}$$

- La lunghezza 3D, calcolata come

$$L_{3D} = \sqrt{(x_{K_{i+1}} - x_{K_i})^2 + (y_{K_{i+1}} - y_{K_i})^2 + (z_{K_{i+1}} - z_{K_i})^2}$$

- La variazione di altezza tra gli estremi del segmento  $\Delta h$ ;
- La pendenza media del tratto analizzato, valutata sia in gradi sia in valore percentuale e calcolate come:

$$\text{Pendenza } i - \text{esima } [^\circ] = \tan^{-1} \left( \frac{h_{K_{i+1}} - h_{K_i}}{L_{2D_{i-esima}}} \right)$$

$$\text{Pendenza } i - \text{esima } [\%] = \frac{h_{K_{i+1}} - h_{K_i}}{L_{2D_{i-esima}}} \cdot 100$$

Tali informazioni sono riportati nella Tabella 4.6:

K - K	TIPOLOGIA TERRENO	LUNG. 2D [m]	LUNG. 3D [m]	$\Delta h$ [m]	PENDENZA [°]	PENDENZA [%]
START - K1	Misto	477.98	478.65	-4.31	-0.52	-0.90
K1 - K2	Uphill middle	65.55	65.65	3.66	3.20	5.58
K2 - K3	Uphill steep	60.32	60.55	5.17	4.90	8.57
K1 - K3	Total uphill	125.87	126.20	8.83	4.01	7.02
K3 - K4	Misto	493.78	494.48	0.94	0.11	0.19
K4 - K5	Flat	84.64	84.72	2.86	1.93	3.38
K5 - K6	Curve	27.61	27.65	-0.09	-0.20	-0.34
K6 - K7	Misto	198.75	199.34	-4.02	-1.15	-2.02
K7 - K8	Downhill	38.55	38.89	-5.12	-7.57	-13.28

Tabella 4.6: Informazioni metriche di lunghezza e variazione di altezza dei segmenti analizzati. Sono inseriti anche i valori di pendenza in gradi e in percentuale.

Nella Tabella 4.7 sono infine riportate le condizioni meteo registrate durante lo svolgimento delle gare:

Gara	Meteo	Condizioni della neve	Temperatura	
			Aria	Neve
Biathlon sprint	Cielo sereno	Neve compatta	-12.0°C	-12.0°C
Biathlon individual	Cielo sereno	Neve farinosa	-17.0°C	-17.0°C
Cross country middle	Neve leggera	Neve farinosa	-13.0°C	-12.0°C
Cross country long	Nuvoloso	Neve farinosa	-6.0°C	-8.0°C

Tabella 4.7: Condizioni meteo, della neve e temperatura dell'aria e della neve durante ognuna delle quattro competizioni. I dati sono stati forniti insieme ai risultati ufficiali delle gare dalla Time Company.

Tutti gli script utilizzati per la visualizzazione del percorso e dei singoli segmenti sono riportati all'interno dell'Appendice E.

### 4.3 Raccolta dati

I dati temporali relativi al tempo di gara sono stati resi accessibili dalla Time Company. Per ogni atleta in gara la Time Company ha fornito l'orario di inizio gara. La Time Company ha inoltre fornito i tempi degli split time, l'orario dei punti contrassegnati come K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8 e il tempo finale in funzione dell'orario di partenza. Non tutti questi tempi sono stati forniti a causa di qualche malfunzionamento del sistema di rilevazione. Tale mancanza poteva essere sporadica, quindi solo per singoli atleti, o per tutti gli atleti appartenenti ad una certa gara (come accaduto durante il terzo giro delle prove maschili e femminili del biathlon sprint con il sensore posizionato in K7). È stato possibile ottenere i tempi di partenza e fine gara tramite l'utilizzo di appositi cancelletti di partenza e di fotocellule. Tali tempi sono stati confrontati con quelli registrati dai trasponder presenti sugli atleti in modo da poter effettuare un controllo incrociato dei dati registrati e verificarne la correttezza. I trasponder, inoltre, sono stati utilizzati per ottenere i parziali di gara degli atleti al passaggio dei checkpoint predisposti lungo il tracciato ed hanno permesso agli spettatori e ai tecnici di avere aggiornamenti in tempo reale dell'andamento della gara. I checkpoint registravano appunto il passaggio dei K scelti per l'indagine sottoforma di split time. Come descritto dal regolamento della WPNS il calcolo del real time di ogni atleta è calcolato sottraendo al tempo di finish il tempo di start, in modo da eliminare la dipendenza dall'orario di partenza degli atleti; il risultato ottenuto (il tempo calcolato), è arrotondato ad un decimo di secondo.

### 4.4 Data analysis

I dati forniti dalla Time company in formato hh:mm:ss in un file Excel sono stati importati su Matlab e quindi processati per ottenere i valori temporali in secondi. I dati così ottenuti sono stati raccolti in apposite strutture, una per ogni gara. In ogni struttura i dati sono stati organizzati secondo il genere e la classe degli atleti. Ogni atleta, a sua volta, comprendeva ulteriori campi che fornivano le informazioni riguardanti nome, cognome, nazionalità, start time e split time per ogni giro effettuato, sempre in funzione dell'orario di partenza.

Gli script utilizzati sono riportati all'interno dell'Appendice A.

Successivamente si sono calcolate le variabili di interesse eliminando la dipendenza dall'orario di start. Sono stati quindi calcolati il tempo di gara (finish time) realmente impiegato dagli atleti per completare il percorso (quindi senza la correzione coi coefficienti

percentuali) e gli split time per ogni atleta. Per ogni giro e per ogni atleta sono stati anche calcolati gli intertempi dei segmenti di interesse, calcolati come la differenza temporale tra due K successivi nel percorso. In questo modo i valori ottenuti sono diventati indipendenti sia dall'orario di partenza dell'atleta sia dal giro in cui sono stati registrati. Questo ha permesso di eseguire un confronto inter e intra atleta dei valori degli intertempi ottenuti durante ogni giro per una specifica gara, di poter eseguire un confronto inter-gara anche se le competizioni presentavano un numero di giri e distanze totali differenti e per ultimo di poter confrontare i diversi comportamenti medi degli atleti di genere femminile e maschile. I segmenti di cui sono stati calcolati gli intertempi corrispondevano a parti del tracciato con specifiche caratteristiche:

- Segmento K1-K2: tratto in salita media con pendenza media del 5.6 % con lunghezza di circa 65 m;
- Segmento K1-K3: tratto in salita ripida con pendenza media dell'8.6 % e con lunghezza di circa 60 m;
- Segmento K1-K3: comprende tutto il tratto di salita e presenta una pendenza media del 7 % ed una lunghezza di circa 125 m. La valutazione di tale tratto ha permesso di osservare il comportamento medio degli atleti delle varie classi in un unico e lungo tratto di salita;
- Segmento K4-K5: tratto di falsopiano in salita (considerato come tratto piano) con pendenza media del 3.4 % e con lunghezza di circa 85 m;
- Segmento K5-K6: tratto di soli circa 30 m e con andamento pianeggiante. Nel tratto è presente una curva abbastanza accentuata che può far evidenziare comportamenti diversi tra gli atleti che hanno il controllo dei muscoli del tronco e quelli che non lo hanno;
- Segmento K7-K8: tratto di discesa ripida con una pendenza media del -13.2 % e con una lunghezza di circa 40 m. I tratti di percorso in discesa non hanno lo scopo di far "riposare" gli atleti, ma di rappresentare una challenge.

Per ogni tratto del percorso analizzato sono stati calcolati la media e la deviazione standard per ogni classe in modo da poter rappresentare i risultati ottenuti in appositi grafici. I grafici di ogni variabile analizzata di tutte e quattro le competizioni, sia per uomini che per donne, sono riportati nel capitolo seguente.

Gli script utilizzati sono riportati all'interno dell'Appendice B.

#### **4.4.1 Confronto atleti migliori vs atleti peggiori**

In primo luogo, si sono estrapolati i dati temporali dei tre atleti migliori e dei tre atleti peggiori per ogni gara, separatamente per le gare femminili che maschili. Gli atleti sono stati scelti in base al tempo totale reale di gara, ovvero non ancora corretto con il coefficiente correttivo. Si è lavorato analizzando i sei segmenti di interesse K1-K2, K2-K3, K1-K3, K4-K5, K5-K6 e K7-K8. Per ognuno dei due gruppi e per ogni segmento è stata calcolata la media e la deviazione standard per ogni giro, ottenendo quindi un andamento medio del valore temporale di ogni segmento per ogni giro con la relativa deviazione in funzione del giro. Si è poi calcolata la differenza tra i valori medi dei due gruppi per ogni giro sottraendo il valore medio degli atleti migliori al valore medio degli atleti peggiori in modo da avere un valore di differenza positivo. I valori di differenza temporale di ogni giro sono stati quindi mediati tra di loro in modo da ottenere un unico valore di differenza delle medie per ogni segmento di tutte e quattro le gare. Si è quindi fatto un confronto dei risultati ottenuto in modo da cercare differenze tra il comportamento delle due classi di atleti nell'approccio alle

differenti pendenze analizzate a seconda della tipologia di gara, utilizzando la differenza delle medie per l'elaborazione dei dati.

I risultati sono riportati all'interno del Capitolo 5, mentre lo script utilizzato è riportato nella seconda sezione dell'Appendice D.

#### **4.4.2 Confronto gare**

La seconda analisi ha previsto un confronto degli atleti partecipanti a tutte e 4 le gare, indipendentemente dal genere o dalla loro classe. Si sono analizzati un totale di 5 atleti donne e 8 atleti uomini. Tale confronto è stato effettuato per tutti gli intertempi K1-K2, K2-K3, K1-K3, K4-K5, K5-K6 e K7-K8. Per ogni atleta sono stati calcolati i valori medi di ogni segmento sul numero di giri in modo da ottenere un unico valore per ogni segmento per il singolo atleta per ogni gara. Questi valori sono stati quindi utilizzati per fare una valutazione statistica in modo da osservare se tali valori fossero statisticamente differenti o meno tra loro. Per questa valutazione statistica si è scelto di utilizzare il Friedman Test poiché permette di confrontare tra loro variabili dipendenti tra loro, ovvero gli intertempi degli atleti che hanno gareggiato in tutte e quattro le gare. Se il p value presentava valori minori di 0.05 si sono andate ad individuare per quale/i coppia/e di classi fossero delle differenze statisticamente significative con un post-hoc test.

Gli atleti presi in esame ed i risultati ottenuti sono riportati all'interno del Capitolo 5, mentre lo script utilizzato è riportato nella prima sezione dell'Appendice D.

#### **4.4.3 Confronto classi**

Per ogni gara è stata anche eseguita un'analisi statistica sulla durata degli intertempi dei segmenti principali (K1-K2, K2-K3, K1-K3, K4-K5, K5-K6 e K7-K8) tra le classi per poter valutare la presenza o meno di una differenza statistica tra le classi. Prima della valutazione statistica, per ogni atleta i valori dei segmenti sono stati mediati sul numero di giri per ottenere un unico valore per il singolo atleta e confrontare quindi tra le varie classi.

Durante l'analisi di ogni singola gara si è scelto di utilizzare il Kruskal – Wallis Test, poiché si sono andati a valutare elementi indipendenti tra loro, ovvero gli intertempi degli atleti delle diverse classi. Se il test presentava una differenza statistica (il generico p value ottenuto presentava un valore minore di 0.05) si andavano ad indentificare per quale/i coppia/e di classi fossero presenti delle differenze statisticamente significative con un post-hoc test. I valori calcolati coi relativi box plot sono riportati all'interno del Capitolo 5.

Il processo appena descritto è stato seguito per tutte e quattro le gare, sia per il genere maschile e femminile, e gli script utilizzati sono riportati nell'Appendice C.

#### **4.4.4 Coefficienti correttivi e previsione dei tratti misti**

In questa analisi sono stati valutati i coefficienti correttivi percentuali utilizzando tre diverse metodiche, definite nel seguito metodo 1, metodo 2 e metodo 3, in modo da ottenere diversi valori da confrontare con quelli realmente utilizzati durante le competizioni. In ogni metodo utilizzato è stato considerato pari al 100 % il tempo medio di gara degli atleti appartenenti alla classe LW 12, poiché tale classe comprende gli atleti con la limitazione fisica meno importante. Le quattro restanti percentuali correttive sono state calcolate in modo tale da eguagliare i tempi delle altre quattro classi a quello della classe di riferimento. In pratica, calcolando le percentuali correttive in questo modo, si cerca di minimizzare e idealmente annullare l'influenza che le diverse limitazioni fisiche di ogni specifica classe hanno sul tempo finale di gara, in modo tale che il risultato finale dipenda solamente dall'allenamento

e dalle capacità fisiche e psicologiche dell'atleta. Questo è il principio cardine seguito dall'IPC e dalle singole federazioni per rendere le competizioni interclasse le più eque possibili e per favorire la partecipazione ad ogni tipologia di sport paralimpico a sempre più persone.

Di seguito è riportata una spiegazione dettagliata dei metodi utilizzati:

- Metodo 1: i coefficienti correttivi percentuali sono stati calcolati in funzione del tempo totale di gara. Nella pratica sono stati utilizzati i valori medi reali del tempo finale di gara di ogni classe per la valutazione delle percentuali da utilizzare. Ad esempio, supponendo che la classe LW 12 abbia impiegato un tempo medio di 50 s per completare il percorso di gara e le altre classi abbiamo impiegato 53 s (LW 11.5), 55 s (LW 11), 60 s (LW 10.5) e 68 s (LW 10), le percentuali correttive saranno calcolate come:

$$coeff_{\%} \text{ classe } LW_{i-esimo} = \frac{\text{tempo medio della classe LW 12}}{\text{tempo medio della classe } LW_{i-esimo}} \cdot 100$$

ottenendo come risultati 94 %, 91 %, 83 % e 74 % rispettivamente. Al posto del tempo medio di gara di ogni classe è possibile utilizzare anche la velocità media di gara di ogni classe. In questo caso le percentuali sono calcolate come:

$$coeff_{\%} \text{ classe } LW_{i-esimo} = \frac{\text{velocità media della classe } LW_{i-esimo}}{\text{velocità media della classe LW12}} \cdot 100$$

sostituendo semplicemente il tempo come  $t=l/v$  dove  $l$  è la lunghezza del segmento di interesse che si semplifica all'interno dell'equazione. I risultati che si ottengono sono i medesimi. È infine importante sottolineare come questo metodo non tenga in considerazione l'altimetria del percorso di gara: estremizzando questo concetto i coefficienti percentuali ottenuti in una gara con percorso prevalentemente scorrevole, con salite e discese a pendenza costante e curve dolci sarebbero applicati senza nessuna variazione ad una gara con percorso prevalentemente con salite e discese molto ripide, con curve strette e continui cambi di pendenza.

- Metodo 2: i coefficienti correttivi percentuali sono stati calcolati in funzione delle percentuali correttive calcolate per i segmenti K1-K2, K2-K3, K4-K4, K5-K5 e K7-K8. In questa analisi non è stato utilizzato il coefficiente percentuale riferito al segmento K1-K3, poiché la sua presenza avrebbe comportato un errore nel valore finale dei coefficienti poiché si sarebbe dato peso doppio ai segmenti con pendenza positiva. In questo caso è stato necessario utilizzare le velocità medie ottenute da ogni classe per poter calcolare le percentuali correttive relative ad ogni segmento. Nota infatti la diversa lunghezza di ogni tratto tramite l'elaborazione dei dati GPS forniti, è stato possibile risalire alla velocità di ogni atleta in ogni tratto del percorso di interesse, mediare quindi tali valori in funzione della classe di appartenenza e quindi calcolare i coefficienti di ogni segmento come:

$$coeff_{\%} \text{ seg}_{i-esimo} = \frac{\text{velocità media della classe } j-esimo \text{ nel seg}_{i-esimo}}{\text{velocità media della classe LW 12 nel seg}_{i-esimo}} \cdot 100$$

ottenendo 5 coefficienti percentuali, corrispondenti ai 5 segmenti, per ogni classe. I cinque coefficienti relativi così ottenuti sono stati mediati tra loro per ottenere il coefficiente correttivo percentuale di ogni classe.

- Metodo 3: il metodo 3 è una variante del metodo 2 che tiene in considerazione la lunghezza dei cinque segmenti nel momento in cui si utilizzano i coefficienti relativi per il calcolo della percentuale correttiva delle classi. In particolare, i cinque

coefficienti di ogni classe relativi ad ogni segmento sono stati pesati in funzione della loro lunghezza relativa rispetto alla lunghezza complessiva calcolata come somma delle lunghezze dei cinque segmenti. Per ogni classe si sono quindi ottenuti cinque valori pesati che sono stati sommati per ottenere il coefficiente relativo percentuale della rispettiva classe.

I tre metodi sono stati ripetuti per tutte e quattro le gare, sia per gli uomini che per le donne. I risultati trovati sono riportati nel Capitolo 6, mentre gli script utilizzati per il calcolo sono riportati all'interno dell'Appendice F.

I coefficienti correttivi calcolati con i tre differenti metodi sono stati poi utilizzati per il calcolo del tempo medio impiegato dagli atleti di ciascuna classe per percorrere i due tratti di percorso con andamento misto K3-K4 e K6-K7. I due tratti del percorso analizzati sono riportati nella Figura 4.9 e 4.10:

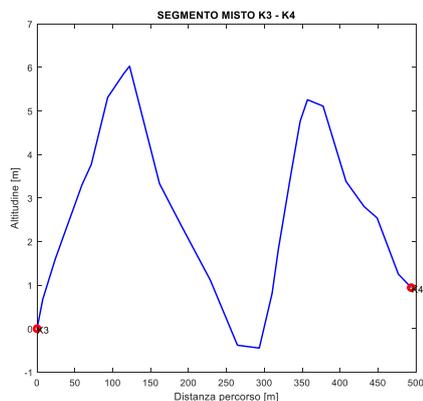


Figura 4.9

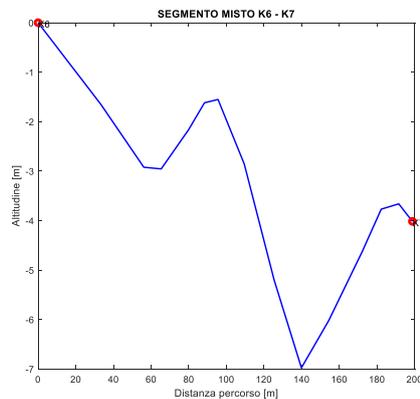


Figura 4.10

ha eliminato: 9

ha eliminato: 10

Tale calcolo è stato eseguito per valutare le capacità di previsione dei coefficienti correttivi calcolati con i tre metodi scelti. Il tempo reale medio di ogni classe, ovvero quello calcolato mediando i tempi di ogni atleta forniti dalla Time Company, è stato confrontato nel seguente modo:

- 0) Utilizzo dei coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC nella stagione 2017/2018 dei Mondiali Paralimpici svoltisi a Vuokatti e quelli attualmente in uso per la stagione 2019/2020;
- 1) Utilizzo dei coefficienti correttivi percentuali calcolati senza considerare l'andamento dei due tratti e separatamente per i due segmenti. Si sono calcolati i coefficienti correttivi dei segmenti K3-K4 e K6-K7 come:

$$\text{coef}_{\% \text{ classe } LW_{i-esima}} = \frac{\text{velocità media del seg}_{j-esimo} \text{ della classe } LW_{i-esima}}{\text{velocità media del seg}_{j-esimo} \text{ della classe } LW_{12}} \cdot 100$$

ovvero applicando la stessa formula utilizzata per il metodo 1, ma ridimensionata alla lunghezza dei due segmenti. Nel Capitolo 5 è definito come metodo 0;

- 2) Utilizzo dei coefficienti correttivi percentuali calcolati col metodo 1: il tempo impiegato da ogni classe per completare i segmenti è calcolato come:

$$t_{medio\ previsto\ classe\ LW_i-esima} = t_{medio\ reale\ LW\ 12} \cdot \frac{100}{coef\ f_1\ classe\ LW_i-esima}$$

dove 100 rappresenta il coefficiente correttivo percentuale associato alla classe LW12. Ciò significa che il tempo previsto per la classe LW12 corrisponderà sempre al tempo reale medio in base alle assunzioni fatte precedentemente durante il calcolo dei coefficienti correttivi percentuali;

- 3) Utilizzo dei coefficienti correttivi percentuali calcolati col metodo 2 (utilizzando la stessa formula descritta al punto 2);
- 4) Utilizzo dei coefficienti correttivi percentuali calcolati col metodo 3 (utilizzando la stessa formula descritta al punto 2);
- 5) Utilizzo delle velocità medie dei cinque segmenti di riferimento. Nel seguito è definito come metodo 4.

È importante sottolineare come nei metodi 0, 1, 2 e 3 e nei due metodi coi coefficienti dell'IPC non sia stato tenuto in considerazione l'andamento del percorso dei due segmenti misti; tale considerazione è stata infatti fatta solamente nel metodo 4. In particolare, in quest'ultimo i due tratti misti sono stati suddivisi in sotto segmenti tramite valutazione visiva e completamente soggettiva dell'andamento del percorso in quei tratti. La segmentazione è mostrata in Figura 4.11 e 4.12:

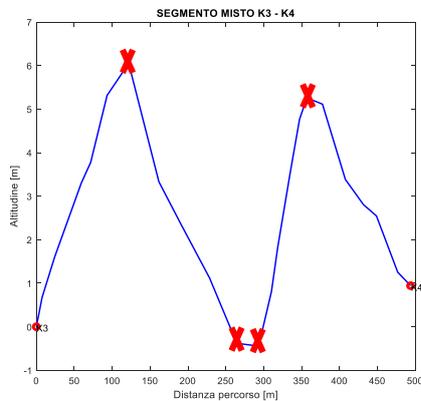


Figura 4.12

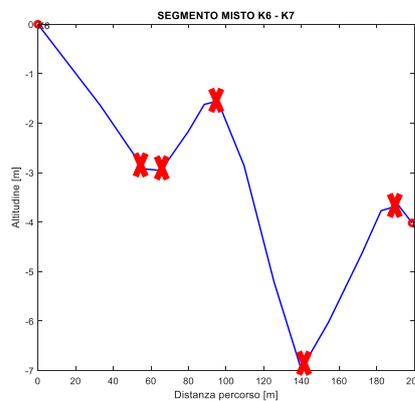


Figura 4.11

Sono state calcolate le pendenze medie dei sotto segmenti e quindi ad ognuno di essi si è associata una velocità media di uno dei cinque segmenti di riferimento in base al valore della pendenza sotto segmenti. I valori sono mostrati in Tabella 4.8 e 4.9:

#### SEGMENTO MISTO K3 – K4

Numero sotto segmento	Pendenza del sotto segmento [%]	Segmento di riferimento	Pendenza del segmento di riferimento [%]
1	4.94	K1-K2 Uphill middle	5.58
2	-4.50	K7-K8 Downhill	-13.28
3	-0.23	K4-K5 Flat	3.38
4	8.97	K2-K3 Uphill steep	8.57
5	-3.15	K7-K8 Downhill	-13.28

Tabella 4.8

SEGMENTO MISTO K6 – K7			
Numero sotto segmento	Pendenza del sotto segmento [%]	Segmento di riferimento	Pendenza del segmento di riferimento [%]
1	-5.21	K7-K8 Downhill	-13.28
2	-0.30	K4-K5 Flat	3.38
3	4.65	K1-K2 Uphill middle	5.58
4	-12.26	K7-K8 Downhill	-13.28
5	6.41	K2-K3 Uphill steep	8.57
6	-4.85	K7-K8 Downhill	-13.28

Tabella 4.9

Poiché, come era logico aspettarsi, non si sono mai ottenuti valori di pendenza media dei sotto segmenti coincidenti con quelli dei segmenti di riferimento si sono ovviamente scelte le velocità medie dei segmenti che presentavano una pendenza il più simile possibile a quella reale. Per ogni classe è stato quindi calcolato il tempo medio di percorrenza di ogni sotto segmento, calcolato come:

$$t_{\text{medio sottoseg}_{i-\text{esimo}}} = \frac{\text{lunghezza sottoseg}_{i-\text{esimo}}}{v_{\text{media associata al sottoseg}_{i-\text{esimo}}}}$$

Sommando tra loro i parziali di percorrenza di ogni sotto segmento si è ottenuto il tempo medio di percorrenza dei segmenti previsto per ogni classe. È importante sottolineare come in questo caso non sia certo che il tempo medio previsto per la classe LW 12 corrisponda a quello reale.

I risultati di entrambi i segmenti misti ottenuti utilizzando i metodi precedenti sono stati valutati calcolando l'errore percentuale come:

$$\text{err}_{\%} = \frac{|t_{\text{medio reale}} - t_{\text{medio previsto}}|}{t_{\text{medio reale}}} \cdot 100$$

ovvero calcolando l'errore tra il tempo medio realmente impiegato dagli atleti delle diverse classi per percorrere i due tratti misti e i tempi calcolati seguendo le sette precedenti procedure. I risultati sono stati considerati attendibili se l'errore percentuale presentava valori inferiori al 7-10 % o comunque simili agli errori relativi ai coefficienti dell'IPC analizzati.

I calcoli sono stati eseguiti solamente per tre gare, poiché durante la competizione di biathlon sprint non erano stati rilevati gli intertempi degli atleti al passaggio in K7, non consentendo quindi di calcolare il tempo impiegato a percorrere il segmento di riferimento K7-K8, il tempo del segmento misto K6-K7 e i tempi per i tratti in discesa da utilizzare per il segmento K3-K4.

I risultati ottenuti sono riportati all'interno del Capitolo 5, mentre gli script utilizzati per il calcolo sono riportati all'interno dell'Appendice F.

#### 4.5 Sensori inerziali

L'utilizzo dei sensori inerziali all'interno dello studio ha permesso una doppia analisi: un confronto dei tempi medi di alcuni segmenti di interesse calcolati dai dati acquisiti col MAG e quelli forniti dalla TC per alcune classi partecipanti alle gare di XCM e XCL e di aggiungere ulteriori informazioni sui singoli atleti riguardanti l'andamento dell'accelerazione lineare nei segmenti di interesse finora studiati. In totale si sono analizzati i segnali di 3 atleti uomini appartenenti alle classi LW11.5 (1) ed LW12 (2) acquisiti durante la gara di XCM ed i segnali acquisiti durante le gare di XCL per 6 atlete donne appartenenti alle classi LW10.5 (2), LW11 (2) ed LW12 (2) e per altri 5 atleti uomini appartenenti alla classe LW12 (5). I sensori sono stati posizionati sullo slittino degli atleti ed erano composti da tre componenti principali: il magnetometro, l'accelerometro e il giroscopio. È stata impostata una frequenza di acquisizione di 100 Hz e sono stati acquisiti simultaneamente 10 dati: il tempo, le accelerazioni lineari lungo gli assi cartesiani x, y e z, la velocità angolare attorno gli assi cartesiani x, y e z ed infine il valore registrato dal magnetometro, sempre lungo le tre direzioni. Al fine dell'analisi svolta, si è utilizzato il modulo del segnale del magnetometro, mentre è stato necessario individuare l'orientamento dei tre assi rispetto alla direzione principale, identificata dall'avanzamento dell'atleta sul percorso. Analizzando i dati grezzi acquisiti dall'accelerometro è stato possibile identificare la direzione degli assi:

- Asse 1: parallelo al senso di avanzamento della slitta (positivo posteriore);
- Asse 2: perpendicolare al suolo (positivo verso l'alto);
- Asse 3: perpendicolare al piano creato dai versori associati agli assi 1 e 2.

Per l'analisi, quindi, il segnale acquisito lungo la coordinata 1 è il segnale di interesse da valutare, mentre lungo la coordinata 2 è registrata l'accelerazione di gravità -g. È importante sottolineare come i tre assi 1, 2 e 3 non corrispondano sempre allo stesso asse cartesiano per ogni atleta, poiché l'associazione dipende dal modo in cui si è montato il sensore inerziale sullo slittino. In particolare, si è osservato come l'asse 1 sia stato associato nella maggior parte dei casi all'asse z, l'asse 2 all'asse y e l'asse 3 all'asse x.

Tutti i dati ottenuti sono stati elaborati tramite Matlab: si sono inizialmente sincronizzati i sensori tra loro cercando l'istante iniziale di ogni segnale. In questo modo i dati ottenuti sono sincroni tra loro e le tre grandezze possono essere legate in funzione del tempo di acquisizione.

### 4.5.1 Magnetometro

I dati acquisiti dal magnetometro permettono di individuare gli istanti temporali del passaggio dell'atleta nei punti intermedi, ovvero il passaggio ai vari K di interesse. Una volta calcolato il modulo del segnale del magnetometro acquisito, l'analisi dei picchi del segnale permette di individuare l'istante di tempo in cui l'atleta passa sul K di interesse. L'analisi del segnale fornito dal magnetometro è quindi di primaria importanza per poter poi leggere correttamente i dati forniti dagli altri due sensori, poiché dall'identificazione dei picchi è possibile risalire all'istante temporale di acquisizione e quindi utilizzare tali tempi per identificare gli estremi temporali dei segmenti di interesse del percorso che si sono già analizzati in precedenza.

Per eseguire tale analisi si è inizialmente confrontato il modulo del segnale del magnetometro originale con lo stesso segnale filtrato, in modo da osservare se il rumore generatosi durante l'acquisizione potesse aver compromesso la lettura dei dati. Si è scelto di utilizzare un filtro digitale di Butterworth passa basso per eliminare il rumore ad alta frequenza. Come parametri si sono scelti una frequenza di taglio di 15 Hz e un ordine del filtro pari a 4 in modo da filtrare meglio il segnale senza distorcerlo troppo. Le caratteristiche del filtro sono riportate in Figura 4.13:

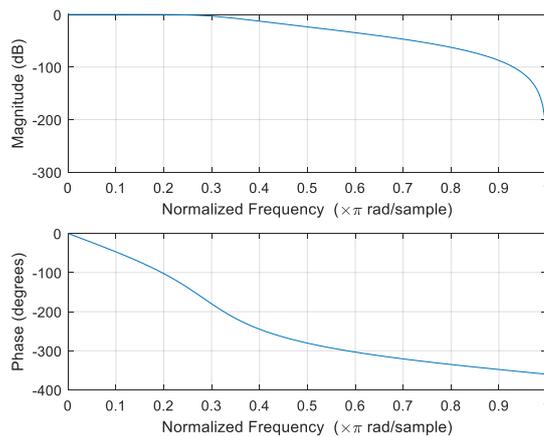


Figura 4.13

Per ogni atleta si sono confrontati i segnali dei magnetometri e quindi si è scelto di utilizzare il segnale non filtrato per tutti gli atleti, poiché il segnale è risultato poco affetto da rumore e in modo da non eliminare informazioni durante il filtraggio.

Per poter valutare la bontà degli istanti temporali individuati dal magnetometro, si sono comparati i tempi acquisiti dal magnetometro ed i tempi forniti dalla Time Company. Per ogni atleta sono stati quindi individuati i picchi coi relativi istanti temporali utilizzando una soglia temporale ed una sul valore assoluto del segnale. La prima soglia ha permesso di fissare una distanza minima tra due picchi successivi, in modo da evitare errori di lettura legati a picchi troppo ravvicinati tra loro indicanti lo stesso K, mentre il secondo valore è stato necessario per distinguere i picchi dal resto del segnale. I valori delle due soglie sono stati scelti in modo arbitrario dopo aver osservato l'andamento del segnale e il rumore presente su di esso. Si è scelto di utilizzare lo stesso valore per la distanza tra due picchi

successivi sia per le gare di XCM che XCL, mentre è stato necessario variare la soglia del valore del modulo del segnale per non registrare dei picchi legati al rumore.

Si è ipotizzato che tra gli istanti temporali ottenuti dal magnetometro e forniti dalla Time Company non vi fosse un errore così elevato da far confondere l'individuazione di due picchi appartenenti a K diversi. Per ogni atleta si sono quindi individuati quali picchi corrispondessero affettivamente ad un passaggio da un K, quale K fosse e quali passaggi non fossero stati invece registrati confrontando gli istanti temporali dei picchi coi dati dei K della Time Company. Inoltre, poiché i sensori sono stati accesi qualche tempo prima della partenza degli atleti, il magnetometro ha registrato il primo picco in corrispondenza del passaggio dello slittino al cancelletto dello start la cui informazione non è risultata utile nel seguito dell'analisi. Accoppiando i tempi registrati dal magnetometro con quelli della Time Company è stato possibile separare i K appartenenti ai diversi giri e verificare l'errore dei tempi acquisiti col magnetometro rispetto a quelli forniti dalla Time Company.

Per ogni atleta i dati temporali sono stati inseriti in un piano cartesiano con in ascissa i tempi della Time Company e in ordinata i tempi del magnetometro, tutti espressi in secondi. I dati sono stati quindi fittati con una funzione lineare: la corrispondenza ideale tra i tempi del magnetometro e quelli della Time Company dovrebbe essere rappresentata da una retta con funzione  $y = x$ . Ad ogni coppia di valori temporali è stato quindi associato il relativo errore percentuale, calcolato come:

$$err_{\%} = \frac{|TC - MAG|}{TC} * 100$$

Dove

TC = valore temporale reale registrato dalla Time Company;

MAG = valore temporale registrato dal magnetometro.

Gli errori percentuali ottenuti per ogni atleta appartenente alla stessa classe sono stati quindi mediati tra loro, separatamente per ogni K.

Il calcolo dell'errore percentuale medio è stato poi svolto per ogni classe anche sui valori medi degli intertempi dei segmenti di interesse, in modo da valutare la differenza percentuale tra i tempi ottenuti analizzando i dati forniti dalla TC e acquisiti dal MAG.

Gli script utilizzati per implementare il procedimento sono riportati separatamente in Appendice G, mentre i risultati sono riportati all'interno del Capitolo 5.

#### 4.5.2 Accelerometro

L'analisi della bontà dei segnali forniti dal magnetometro ha inoltre dato la possibilità di analizzare specifici segmenti dei segnali delle accelerazioni lineari per individuare pattern significativi per la suddivisione degli atleti nelle rispettive classi di appartenenza. Innanzitutto, è stato necessario individuare per ogni atleta quale asse cartesiano fosse parallelo al senso di avanzamento dell'atleta. L'analisi è stata eseguita visivamente osservando l'andamento dei segnali lungo i tre assi in ogni segmento e per tutti i giri analizzati, osservando come nella maggior parte dei casi l'asse z sia risultato essere l'asse principale, anche se per alcuni atleti il segnale di interesse è stato registrato sull'asse x o sull'asse y.

Una volta individuato l'asse principale per ogni atleta è stata calcolata la posizione temporale e il valore dei picchi positivi per il segnale lungo quell'asse per ogni segmento e per ogni

giro percorso. Per poter individuare un unico picco a ciclo si è scelto di inserire una soglia legata alla distanza minima tra due picchi successivi ed una legata al valore del modulo del segnale stesso. Tali valori sono stati scelti arbitrariamente osservando l'andamento del segnale: i valori potevano variare anche per segmenti diversi dello stesso atleta, ma per il singolo segmento sono sempre stati utilizzati gli stessi due valori per tutti i giri percorsi.

Questo ha permesso di ottenere il valor medio del segnale e i valori dei picchi, sempre per ogni atleta, per ogni segmento ed ogni giro percorso. I valori dei picchi trovati sono stati mediati prima al giro ottenendo i valori medi di ogni giro per ogni atleta e quindi i valori trovati sono stati mediati tra gli atleti appartenenti alla stessa classe. Anche i valori medi al giro dell'accelerazione lineare sono stati mediati tra gli atleti della stessa classe per ottenere un valor medio con la relativa deviazione standard per ogni giro analizzato. In questo modo è stato possibile eseguire un confronto interclasse tra i valori dei giri percorsi ed un confronto intraclasse tra l'andamento del valor medio durante la competizione per le diverse classi partecipanti e la distribuzione dei valori all'interno della stessa classe analizzando il corrispettivo valore di deviazione standard.

Gli script utilizzati per implementare il procedimento sono riportati separatamente in Appendice G, mentre i risultati sono riportati all'interno del Capitolo 5.

## CAPITOLO 5 : Risultati e discussioni

Nel seguito del capitolo sono riportati i risultati ottenuti nella fase di elaborazione dei dati descritti nel Capitolo 4.

### 5.1 Tempo totale di gara reale

Per ogni gara, nelle seguenti tabelle sono riportati i tempi medi di gara in funzione di ogni classe, considerando separatamente uomini e donne. Per ogni classe contenente più di un atleta sono stati inoltre riportati il valore massimo e minimo. Dopo ogni tabella sono riportati due grafici che rappresentano il tempo medio impiegato da ogni classe a completare il percorso di gara, rispettivamente per donne (sinistra) e per uomini (destra). Ad ogni colonna è stata aggiunta la relativa barra d'errore corrispondente a due volte la deviazione standard associata a ciascun valor medio. Inoltre, le ordinate riportano a sinistra il tempo percentuale impiegato da ogni classe rispetto a quello della classe LW 12, considerato questo con valore pari al 100 %, mentre a destra è riportato il tempo reale di gara espresso in secondi.

#### BIATHLON SPRINT

Classe	Tempo medio classe donne [s]	Tempo medio classe uomini [s]
LW 10	-	1901.2 ± 0.0
LW 10.5	2456.0 ± 862.6 [1851.5; 3443.8]	-
LW 11	1916.9 ± 0.0	1942.1 ± 0.0
LW 11.5	-	1795.0 ± 151.1 [1688.1; 1901.8]
LW 12	1607.6 ± 161.6 [1470.2; 1863.9]	1788.7 ± 162.5 [1568.2; 2079.5]

Tabella 5.1: Risultati temporali medi e std della gara di BS per ogni classe maschile e femminile partecipante. Per ogni classe sono riportati il valore più veloce e più lento tra parentesi quadre.

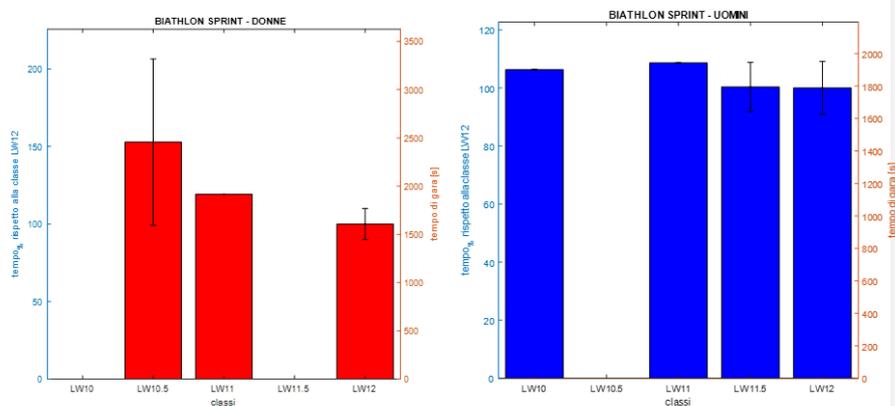


Figura 5.1: Rappresentazione grafica mediante istogrammi dei dati delle gare femminili (rosso) e maschili (blu) di BS presenti in Tabella 5.1.

#### BIATHLON INDIVIDUAL

Classe	Tempo medio classe donne [s]	Tempo medio classe uomini [s]
LW 10	-	-
LW 10.5	4770.4 ± 0.0	-
LW 11	4071.2 ± 0.0	-
LW 11.5	-	3436.5 ± 400.3 [3153.5; 3719.6]
LW 12	3484.8 ± 234.8 [3216.2; 3798.2]	3534.2 ± 281.1 [3183.5; 4158.4]

Tabella 5.2: Risultati temporali medi e std della gara di BI per ogni classe maschile e femminile partecipante. Per ogni classe sono riportati il valore più veloce e più lento tra parentesi quadre.

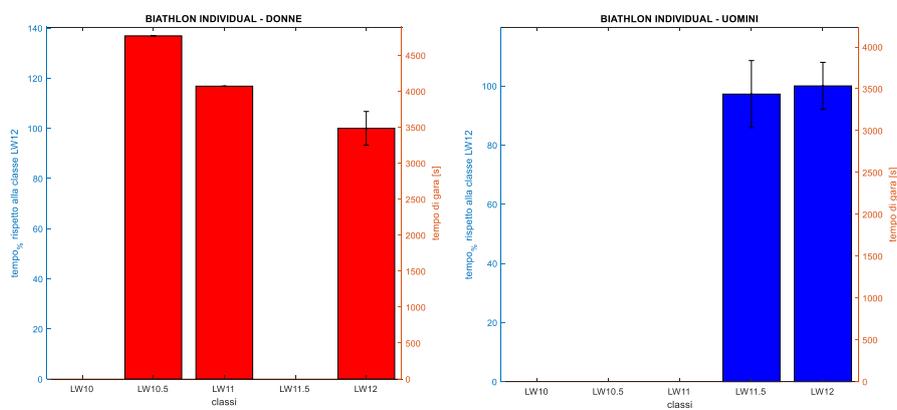


Figura 5.2: Rappresentazione grafica mediante istogrammi dei dati delle gare femminili (rosso) e maschili (blu) di BI presenti in Tabella 5.2.

### CROSS COUNTRY MIDDLE

Classe	Tempo medio classe donne [s]	Tempo medio classe uomini [s]
LW 10	-	2028.8 ± 251.6 [1850.9; 2206.7]
LW 10.5	1720.0 ± 393.4 [1441.6; 2298.0]	-
LW 11	1331.2 ± 147.5 [1226.8; 1435.5]	1766.6 ± 36.0 [1727.1; 1806.7]
LW 11.5	-	1672.4 ± 223.7 [1514.2; 1830.6]
LW 12	1257.1 ± 124.2 [1160.0; 1477.5]	1728.9 ± 165.1 [1480.5; 2147.0]

Tabella 5.3: Risultati temporali medi e std della gara di XCM per ogni classe maschile e femminile partecipante. Per ogni classe sono riportati il valore più veloce e più lento tra parentesi quadre.

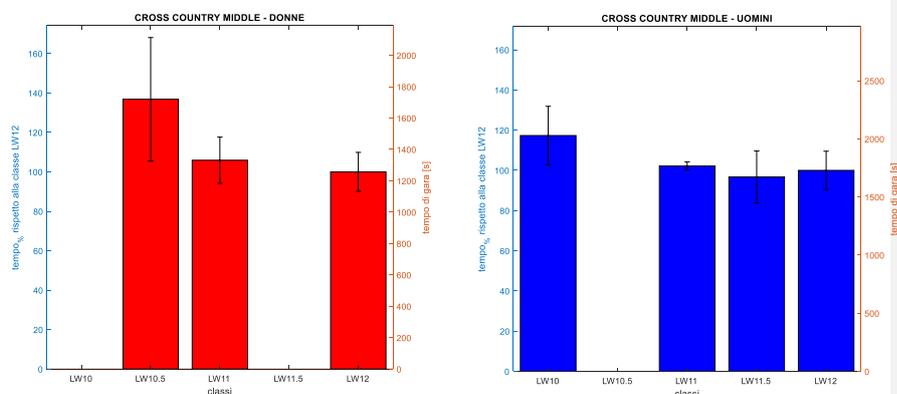


Figura 5.3: Rappresentazione grafica mediante istogrammi dei dati delle gare femminili (rosso) e maschili (blu) di BI presenti in Tabella 5.3.

#### CROSS COUNTRY LONG

Classe	Tempo medio classe donne [s]	Tempo medio classe uomini [s]
LW 10	-	3790.0 ± 571.0 [3386.2; 4193.8]
LW 10.5	3368.8 ± 186.9 [3236.6; 3501.0]	-
LW 11	3041.0 ± 254.7 [2860.9; 3221.0]	3337.2 ± 118.7 [3215.3; 3452.4]
LW 11.5	-	3172.8 ± 365.7 [2914.2; 3431.5]
LW 12	2842.7 ± 274.1 [2637.0; 3330.4]	3182.6 ± 259.2 [2857.9; 3895.0]

Tabella 5.4: Risultati temporali medi e std della gara di XCL per ogni classe maschile e femminile partecipante. Per ogni classe sono riportati il valore più veloce e più lento tra parentesi quadre.

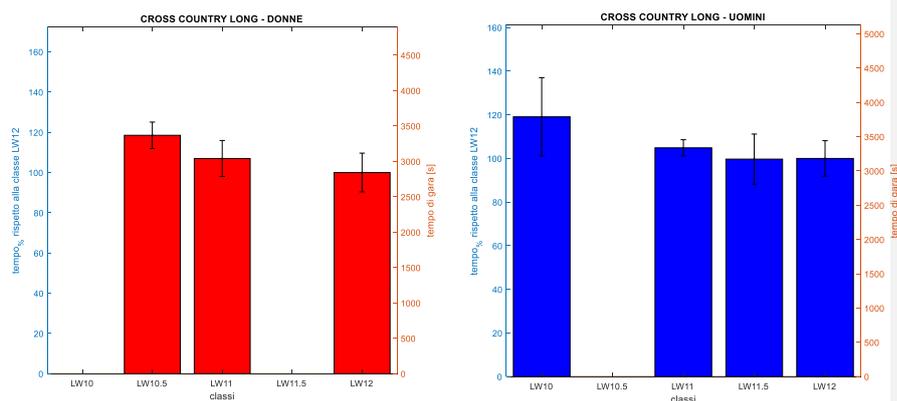


Figura 5.4: Rappresentazione grafica mediante istogrammi dei dati delle gare femminili (rosso) e maschili (blu) di BI presenti in Tabella 5.4.

Come si può osservare dalle tabelle e dai grafici tutte le classi non sono mai state rappresentate da almeno un atleta in almeno una gara né tra gli uomini né tra le donne. In particolare, in tutte e quattro le competizioni non si sono mai avute atlete appartenenti alle classi LW10 e LW11.5, mentre tra gli uomini non si è mai avuto almeno un atleta appartenente alla classe LW10.5 e nella competizione di BI sono mancati anche atleti delle classi LW10 e LW11. I numeri esatti degli atleti partecipanti alle quattro competizioni sono riportati nel precedente paragrafo 4.1.

Per il genere femminile si può osservare come in tutte le gare il tempo di gara medio maggiore sia stato sempre ottenuto dalla classe LW10, mentre il tempo migliore sia stato sempre ottenuto dalla classe LW12, con il tempo medio della classe LW11 tra i due, indipendentemente dalla lunghezza della gara stessa. Valutando i tempi percentuali delle classi rispetto alla classe LW12 di riferimento (il cui tempo di gara è posto uguale a 100%), si osserva come il valor medio sia più alto (circa 150%) nella gara di BS, leggermente inferiore al 140% nelle gare di BI e XCM e pari a circa il 120% nella gara di XCL, mentre per la classe LW11 si osservano valori di circa il 120% nelle competizioni di biathlon e di circa il 105% nelle gare di cross country. Inoltre, i valori più alti di deviazione standard si sono ottenuti per la classe LW10.5 nelle gare di BI e XCM, nonostante il numero totale di atlete, 3 e 4 rispettivamente, fosse minore del numero di atlete della classe LW12 (6 e 7 rispettivamente). La variazione del tempo medio di gara presenta un comportamento simile anche nelle gare di BI e XCL, come la variazione del tempo medio di gara della classe LW11 nelle gare di XCM e XCL. Questo sembrerebbe indicare una maggiore variazione delle prestazioni delle atlete inserite nella classe LW10.5 rispetto alle classi LW11 e LW12. È però importante sottolineare come sia noto che le prestazioni di un'atleta della classe LW10.5 fossero decisamente inferiori a quelle delle altre atlete della medesima classe e, poiché si ha un piccolo numero di atlete da analizzare, il risultato di una può influenzare l'output dell'intera classe sia in termini di valor medio che di deviazione standard.

Per il genere maschile si può osservare un livellamento delle prestazioni medie delle classi in ogni gara analizzata: i valori medi più alti, ottenuti nelle gare di XCM e XCL della classe LW10, superano infatti il tempo della classe LW12 di meno del 20%. Inoltre, come per le donne, anche per gli uomini non si osservano variazioni significative del tempo medio delle classi al variare della lunghezza delle competizioni. Nella gara di BS si osserva che il tempo medio impiegato dalla classe LW11 risulta maggiore di quello della classe LW10; è necessario però notare come vi fosse un solo atleta in entrambe le classi, per cui il risultato finale risulta fortemente influenzato dalle capacità dei singoli individui e non è quindi rappresentativo delle classi. La classe LW11.5, inoltre, presenta valori temporali leggermente migliori della classe LW12 nelle gare di BI, XCM e XCL, ma una maggiore variazione degli stessi. Anche in questo caso, come per il genere femminile, è importante sottolineare come fosse noto che le prestazioni di un atleta della classe LW11.5 fossero decisamente migliori rispetto a quelle degli altri atleti. Tale informazione si riflette sia nella diminuzione del valor medio del tempo di gara, poiché avendo pochi atleti della classe LW11.5 il risultato di un solo atleta può influenzare quello dell'intera classe, sia nella maggiore variazione associata alla classe.

In generale, quindi, sembra esserci una maggiore differenza interclasse delle prestazioni temporali medie per il genere femminile rispetto a quelle del genere maschile. Si potrebbe ipotizzare che ciò possa essere dovuto al differente impatto che limitazioni fisiche simili comportano sulle prestazioni di uomini e donne. L'influenza dell'allenamento è un altro fattore che potrebbe essere considerato come concausa di tale differenza tra uomini e donne, poiché lo sviluppo della muscolatura e della forza muscolare potrebbero essere differenti

nonostante limitazioni fisiche di partenza simili, andando quindi ad influire sulle capacità aerobiche e lattacide degli atleti dei due generi. Vale la pena ricordare che queste considerazioni sono state fatte avendo a disposizione un numero di atleti distribuiti in modo disomogeneo tra le classi e per alcune classi il numero di atleti analizzati era nullo. Quindi, per poter generalizzare queste considerazioni sarebbe opportuno ampliare il campione in analisi e quindi poter valutare le prestazioni di un maggior numero di atleti.

Nel seguito del capitolo saranno analizzati solo determinati tratti del percorso con caratteristiche altimetriche specifiche, in modo da poter andare a valutare se e in quali tratti si possono osservare differenze di comportamento tra le classi dello stesso genere e tra i due generi appartenenti alla stessa classe.

## 5.2 Confronto atleti migliori vs atleti peggiori

In questo paragrafo ci si è concentrati sull'analisi dei tempi di due gruppi formati da tre atleti ciascuno: il gruppo degli atleti migliori e il gruppo degli atleti peggiori (Tabella 5.5). La scelta degli atleti è stata fatta valutando il tempo reale di gara non ancora corretto coi coefficienti percentuali, scegliendo i tre migliori atleti, che vi hanno quindi impiegato il minor tempo a terminare la competizione, e i tre peggiori, che invece vi hanno messo il tempo maggiore. Utilizzando tale criterio di scelta non è detto che gli atleti appartenenti ad ognuno dei due gruppi fossero sempre gli stessi per ogni gara. Il procedimento è stato eseguito per tutte e quattro le competizioni, sia per il genere femminile che maschile. Si è scelto di valutare i tempi medi di tre atleti distinti in modo tale da rendere i risultati ottenuti il meno soggetto – dipendenti possibile. L'analisi dei tempi di un solo atleta avrebbe potuto comportare una lettura sbagliata o comunque estremizzata dei risultati: un atleta molto bravo o viceversa un atleta poco competitivo, infatti, avrebbero compromesso l'analisi. Utilizzando tre atleti per gruppo la loro relativa influenza anche se ancora ovviamente presente è diminuita.

### 5.2.1 Analisi della distribuzione degli atleti

Una prima analisi generale è stata fatta sulle classi degli atleti appartenenti ai due gruppi e sul numero di volte in cui un atleta rientrava all'interno di uno dei due gruppi in funzione delle gare a cui ha partecipato. I risultati sono riportati all'interno della Tabella 5.5:

Genere	Gruppo	Biathlon sprint		Biathlon individual		Cross country middle		Cross country long	
		Atleta	Classe	Atleta	Classe	Atleta	Classe	Atleta	Classe
Donne	Peggiori	4	LW 10.5	8	LW 12	4	LW 10.5	3	LW 10.5
		1	LW 10.5	5	LW 11	1	LW 10.5	2	LW 10.5
		5	LW 11	1	LW 10.5	3	LW 10.5	14	LW 12
	Migliori	10	LW 12	9	LW 12	10	LW 12	10	LW 12
		11	LW 12	11	LW 12	12	LW 12	12	LW 12
		12	LW 12	12	LW 12	11	LW 12	11	LW 12
Uomini	Peggiori	18	LW 12	9	LW 12	18	LW 12	20	LW 12
		19	LW 12	18	LW 12	20	LW 12	5	LW 11
		3	LW 11	7	LW 11.5	2	LW 10	2	LW 10
	Migliori	13	LW 12	13	LW 12	15	LW 12	13	LW 12
		17	LW 12	15	LW 12	13	LW 12	17	LW 12
		15	LW 12	8	LW 11.5	8	LW 11.5	8	LW 11.5

Tabella 5.5: Atleti migliori e peggiori in ognuna delle quattro gare e relativa classe di appartenenza.

Si può notare come nessun atleta appartenente al gruppo “peggiori” si sia mai spostato nel gruppo “migliori”: ciò evidenzia il livello simile delle quattro competizioni e quindi la coerenza di confrontare i risultati medi dei due gruppi tra loro. Questo è valido ipotizzando che tutti gli atleti abbiano ottenuto la migliore prestazione possibile durante le competizioni a cui hanno partecipato e che nessuno si sia volontariamente “risparmiato” in una di essere per poter far meglio in un'altra.

Senza andare a considerare gli atleti che compaiono più volte all'interno dello stesso gruppo si è valutata la distribuzione generali delle classi, riportata nella Tabella 5.6:

Genere	Gruppo	n° complessivo in ogni classe (12 atleti totali per gruppo)				
		LW 10	LW 10.5	LW 11	LW 11.5	LW 12
Donne	Peggiori	-	8	2	-	2
	Migliori	-	0	0	-	12
Uomini	Peggiori	2	-	2	1	7
	Migliori	0	-	0	3	9

Tabella 5.6: Distribuzione delle classi nei gruppi “migliori” e “peggiori” maschili e femminili.

Si può osservare come tra le donne vi sia una netta separazione i due gruppi e le classi appartenenti ad essi. In particolare, quasi il 70 % del gruppo “peggiori” è composto da esponenti della classe LW10.5 mentre il gruppo “migliori” è composto solo dalla classe LW12. Tra gli uomini, invece, non si osserva una netta distinzione tra classi e appartenenza ai gruppi, poiché in entrambi i casi la classe preponderante è la LW12 che copre circa il 60 % del gruppo “peggiori” e il 75 % del gruppo “migliori”. Nonostante ciò, le classi LW10 e LW11 sono comunque presenti solamente nel gruppo peggiori. Questa differenza può essere spiegata dalla differente distribuzione della partecipazione degli atleti appartenenti alle diverse classi: osservando le tabelle 4.2 e 4.3 relative agli uomini e alle donne, si può osservare come vi sia un picco di partecipazione percentuale maggiore degli atleti uomini della classe LW12 rispetto alle altre tre classi rappresentate, mentre tra le donne, nonostante la classe più rappresentata sia sempre la LW12, si ha un maggior numero di soggetti nelle altre due classi rappresentate. Bisogna inoltre tenere in considerazione che alla gara di biathlon maschile hanno partecipato solo due atleti della classe LW11.5 e undici della LW12, fornendo quindi una maggiore probabilità di avere più di un atleta all'interno del gruppo “peggiori” per quella competizione. Ciò permette quindi di spiegare la diversa distribuzione totale delle classi all'interno dei due gruppi fra uomini e donne. Dalla tabella 4.1 si evidenzia comunque una distribuzione di atleti appartenenti a classi diverse più omogenea nel genere femminile rispetto al maschile, nonostante il numero minore di atlete (14 totali) rispetto agli atleti (23 totali).

Considerando ora le atlete e gli atleti nello specifico, si è andato a valutare quante volte lo stesso atleta compaia nel conteggio della Tabella 5.6 in relazione alle gare a cui hanno partecipato. I risultati sono riportati in Tabella 5.7 e 5.8:

Genere	Gruppo	Classe	Atleti	n° di comparse (frequenza)	n° di gare a cui ha partecipato
--------	--------	--------	--------	----------------------------	---------------------------------

Donne	Peggiori	LW 10.5	Atleta 1	3	3
			Atleta 2	1	3
			Atleta 3	2	2
			Atleta 4	2	2
		LW 11	Atleta 5	2	2
	LW 12	Atleta 8	1	4	
		Atleta 14	1	2	
	Migliori	LW 12	Atleta 9	1	4
			Atleta 10	3	4
			Atleta 11	4	4
Atleta 12			4	4	

Tabella 5.7: Numero di volte in cui un'atleta donna appartiene ad uno dei due gruppi in relazione al numero totale di gare a cui ha partecipato.

Genere	Gruppo	Classe	Atleti	n° di comparse (frequenza)	n° di gare a cui ha partecipato
Uomini	Peggiori	LW 10	Atleta 2	2	2
		LW 11	Atleta 3	1	3
			Atleta 5	1	2
		LW 11.5	Atleta 7	1	3
		LW 12	Atleta 9	1	4
	Atleta 18		3	3	
	Atleta 19		1	3	
	Migliori	LW 11.5	Atleta 20	2	2
			Atleta 8	3	4
		LW 12	Atleta 13	4	4
Atleta 15			3	4	
Atleta 17			2	3	

Tabella 5.8: Numero di volte in cui un atleta uomo appartiene ad uno dei due gruppi in relazione al numero totale di gare a cui ha partecipato.

Dalla Tabella 5.7 è possibile osservare un totale di 7 atlete che compongono il gruppo “peggiori”. In particolare, si osserva che le atlete 1, 3 e 4 della classe LW10.5 e l’atleta 5 della classe LW11 hanno ottenuto sempre uno degli ultimi tre tempi a tutte quante le gare a cui hanno partecipato. All’interno del gruppo “migliori”, invece, sono presenti solo 4 atlete, tutte appartenenti alla classe LW12. In particolare, si osserva che le atlete 11 e 12 hanno sempre ottenuto uno dei primi tre tempi, mentre l’atleta 10 vi è riuscita tre volte su quattro, evidenziando quindi come la partecipazione a tutte e quattro le gare non abbia influito negativamente sulla loro performance. Dalla Tabella 5.8 si osserva che il gruppo “peggiori” è composto da 8 atleti, tra i quali tre (atleta 2, 18 e 20) hanno ottenuto sempre uno degli ultimi tre tempi ad ogni gara a cui hanno partecipato. Il gruppo “migliori” è invece composto da soli 4 atleti, uno appartenente alla classe LW11.5 e i restanti alla classe LW12. All’interno del gruppo si può notare come solo l’atleta 13 abbia ottenuto uno dei tre migliori tempi ad ogni gara a cui ha partecipato, mentre gli atleti 8 e 15 vi sono riusciti tre volte su quattro, denotando anche in questo caso una buona tenuta fisica per tutte e quattro le competizioni.

### 5.2.2 Analisi degli intertempi

All’interno di questo paragrafo sono stati valutati gli intertempi medi impiegati dagli atleti dei due gruppi a percorrere i sei segmenti di interesse K1-K2, K2-K3, K1-K3, K4-K5, K5-

K6 e K7-K8. Di seguito sono riportate 4 tabelle, una per ogni gara, comprendenti i due gruppi per entrambi i generi. All'interno di ogni tabella sono stati riportati i tempi medi di percorrenza dei sei segmenti analizzati con la relativa deviazione standard e la differenza delle medie (tempo medio del gruppo "peggiori" – tempo medio del gruppo "migliori") per entrambi i gruppi di entrambi i generi.

Nella Tabella 5.9 si riportano i risultati ottenuti relativi alla gara di BS, sia per il genere femminile che maschile. Si ricorda come i tempi medi del segmento K4-K5 siano stati ottenuti considerando solo i primi due giri a causa di un mancato rilevamento dei tempi di ogni atleta al checkpoint K4 del giro 3, mentre non è stato possibile analizzare i dati del segmento K7-K8 a causa di un malfunzionamento del sistema di rilevazione al checkpoint K7 durante tutto l'intervallo temporale della gara.

BIATHLON SPRINT							
Genere	Atleti	Segmenti [s]					
		K1-K2 uphill middle	K2-K3 uphill steep	K1-K3 total uphill	K4-K5 flat	K5-K6 curve	K7-K8 downhill
Donne	Peggiori	30.88 ± 13.36	50.84 ± 27.41	81.72 ± 40.77	30.94 ± 8.98	14.91 ± 6.10	-
	Migliori	16.76 ± 0.31	22.51 ± 0.77	39.27 ± 1.07	19.33 ± 0.35	8.86 ± 0.20	-
	Differenza peggiore - migliore	14.12	28.33	42.45	11.61	6.05	-
Uomini	Peggiori	16.92 ± 0.68	22.46 ± 1.93	39.38 ± 2.60	20.25 ± 1.57	9.77 ± 0.43	-
	Migliori	13.39 ± 0.23	17.20 ± 0.68	30.59 ± 0.82	16.22 ± 0.46	7.87 ± 0.26	-
	Differenza peggiore - migliore	3.53	5.26	8.79	4.03	1.90	-

Tabella 5.9: Tempi medi con deviazioni standard con la differenza delle medie dei sei segmenti di interesse per i gruppi "migliori" e "peggiori" per il genere femminile e maschile per la gara di BS.

Dai dati presenti in Tabella 5.9 si osserva come le differenze delle medie del genere femminile di ogni segmento analizzato siano sempre maggiori rispetto alle corrispondenti differenze del genere maschile. In particolare, si osservano dei valori molto diversi per i primi tre segmenti analizzati (K1-K2, K2-K3 e K1-K3), ovvero quelli relativi ai due tratti in salita, coi valori femminili circa cinque volte maggiori rispetto ai corrispettivi maschili. Per i tratti in falsopiano e con la presenza di una curva piana si osservano dei valori delle differenze femminili di circa tre volte maggiori rispetto a quelli maschili. È inoltre importante sottolineare che analizzando la deviazione standard associata a ciascun gruppo, vi sia una distribuzione molto più ampia di valori all'interno del gruppo delle atlete peggiori rispetto a tutti gli altri tre gruppi presi in esame per tutti e cinque i segmenti analizzati. Tra i due gruppi maschili si ha comunque una distribuzione dei valori leggermente più ampia

sempre per gli atleti “peggiori”, evidenziando quindi una similitudine con il corrispettivo gruppo femminile, anche se la differenza è molto meno accentuata.

Nella Tabella 5.10 si riportano i risultati ottenuti relativi alla gara di BI, sia per il genere femminile che maschile:

BIATHLON INDIVIDUAL							
Genere	Atleti	Segmenti [s]					
		K1-K2 uphill middle	K2-K3 uphill steep	K1-K3 total uphill	K4-K5 flat	K5-K6 curve	K7-K8 downhill
Donne	Peggiori	23.17 ± 4.29	35.64 ± 8.32	58.81 ± 12.56	25.09 ± 3.70	12.16 ± 1.27	7.11 ± 0.52
	Migliori	16.87 ± 0.30	22.17 ± 0.39	39.04 ± 0.18	19.69 ± 0.10	9.17 ± 0.20	6.52 ± 0.18
	Differenza peggiore - migliore	6.30	13.47	19.77	5.40	2.99	0.58
Uomini	Peggiori	17.14 ± 1.66	23.03 ± 2.97	40.17 ± 4.63	20.22 ± 1.50	10.29 ± 0.60	6.63 ± 0.16
	Migliori	13.41 ± 0.25	17.62 ± 1.24	31.03 ± 1.47	16.27 ± 0.13	7.89 ± 0.64	5.89 ± 0.17
	Differenza peggiore - migliore	3.73	5.41	9.14	3.95	2.39	0.74

Tabella 5.10: Tempi medi con deviazioni standard con la differenza delle medie dei sei segmenti di interesse per i gruppi “migliori” e “peggiori” per il genere femminile e maschile per la gara di BI.

Dai presenti in Tabella 5.10 si osserva come le differenze delle medie del genere femminile siano ancora maggiori rispetto alle corrispettive maschili, ad esclusione del segmento di discesa K7-K8, nel quale si osservano due differenze comparabili. Come nella gara di BS, le differenze maggiori tra i valori femminili e maschili sono state ottenute nei tre segmenti relativi ai due tratti di salita analizzati; la differenza tra i valori è però nettamente inferiore rispetto alla gara precedente, poiché i valori di differenze delle medie femminili sono solamente circa il doppio di quelle maschili. Anche le differenze tra i valori di uomini e donne del tratto in falsopiano e con curva piana sono inferiori rispetto alla gara di BS, ed anzi possono essere abbastanza comparabili tra di loro. Inoltre, si può osservare come il gruppo delle atlete peggiori presenti ancora la distribuzione di valori più ampia rispetto agli altri tre gruppi in analisi per ogni segmento analizzato. Infine, si osserva ancora una distribuzione più ampia dei valori del gruppo degli atleti peggiori rispetto a quelli degli atleti migliori, ad esclusione del segmento di discesa, per il quale le deviazioni standard sono comparabili, evidenziando quindi ancora una similitudine coi corrispettivi gruppi femminili, sempre però con una differenza meno accentuata.

Nella Tabella 5.11 si riportano i risultati ottenuti relativi alla gara di XCM, sia per il genere femminile che maschile:

CROSS COUNTRY MIDDLE							
Genere	Atleti	Segmenti [s]					
		K1-K2 uphill middle	K2-K3 uphill steep	K1-K3 total uphill	K4-K5 flat	K5-K6 curve	K7-K8 downhill
Donne	Peggiori	32.52 ± 8.90	46.80 ± 16.94	79.33 ± 25.84	30.37 ± 5.27	13.97 ± 3.86	7.21 ± 1.26
	Migliori	18.80 ± 0.30	22.07 ± 0.52	40.87 ± 0.78	20.53 ± 0.30	8.80 ± 0.30	6.04 ± 0.13
	Differenza peggiore - migliore	13.73	24.73	38.46	9.84	5.17	1.17
Uomini	Peggiori	22.49 ± 1.85	27.50 ± 2.49	50.67 ± 5.55	24.20 ± 1.49	10.87 ± 1.04	6.60 ± 0.38
	Migliori	15.83 ± 0.83	17.12 ± 1.75	32.91 ± 2.60	16.98 ± 0.48	7.43 ± 0.64	5.51 ± 0.09
	Differenza peggiore - migliore	6.65	10.39	17.76	7.22	3.44	1.09

Tabella 5.11: Tempi medi con deviazioni standard con la differenza delle medie dei sei segmenti di interesse per i gruppi “migliori” e “peggiori” per il genere femminile e maschile per la gara di XCM.

Dai dati presenti in Tabella 5.11 per la gara di XCM si osserva lo stesso comportamento già evidenziato analizzando i dati delle gare di BS e BI, con le differenze delle medie del genere femminile di ogni segmento analizzato sempre maggiori rispetto alle corrispettive differenze del genere maschile. L'andamento della differenza dei valori tra i due generi è molto più simile a quello della gara di BI. In particolare, è possibile osservare valori del genere femminile pari a circa il doppio di quelli del genere maschile per i primi tre segmenti analizzati relativi ai tratti di salita, mentre per i restanti tre segmenti di falsopiano, curva piana e discesa le differenze tra i due generi risultano comparabili. Infine, si può ancora osservare come il gruppo delle atlete e degli atleti peggiori presentino sempre delle distribuzioni di valori più ampie rispetto ai corrispettivi gruppi “migliori”, con il gruppo delle atlete peggiori che presenta sempre valori di deviazione standard più elevati tra tutti e quattro i gruppi.

Nella Tabella 5.12 si riportano i risultati ottenuti relativi alla gara di XCL, sia per il genere femminile che maschile:

CROSS COUNTRY LONG							
Genere	Atleti	Segmenti [s]					
		K1-K2 uphill middle	K2-K3 uphill steep	K1-K3 total uphill	K4-K5 flat	K5-K6 curve	K7-K8 downhill
Donne	Peggiori	22.27 ± 1.50	32.14 ± 3.26	54.40 ± 4.64	23.65 ± 1.36	11.28 ± 1.17	6.70 ± 0.12

	Migliori	16.45 ± 0.48	21.94 ± 0.86	38.39 ± 1.25	19.08 ± 0.49	8.40 ± 0.14	6.21 ± 0.10
	Differenza peggiore - migliore	5.82	10.19	16.01	4.56	2.88	0.49
Uomini	Peggiori	19.33 ± 3.11	27.72 ± 4.65	47.05 ± 7.69	22.20 ± 2.06	10.39 ± 1.51	6.59 ± 0.42
	Migliori	13.94 ± 0.48	17.29 ± 0.44	31.23 ± 0.91	16.56 ± 0.23	7.47 ± 0.54	5.71 ± 0.25
	Differenza peggiore - migliore	5.39	10.42	15.82	5.64	2.92	0.88

Tabella 5.12: Tempi medi con deviazioni standard con la differenza delle medie dei sei segmenti di interesse per i gruppi “migliori” e “peggiori” per il genere femminile e maschile per la gara di XCL.

Dai dati presenti in Tabella 5.12 è possibile osservare come nella gara di XCL le differenze tra i valori delle differenze delle medie femminili e maschili presentino un comportamento diverso rispetto alle tre gare precedentemente analizzate. Si osserva, infatti, come i valori di differenze delle medie ottenuti per i primi tre segmenti analizzati, ovvero quelli di salita, risultino molto simili e comparabili tra i due generi, mentre per i tre segmenti finali si osserva come le differenze delle medie femminili siano minori rispetto a quelle maschili. Anche la distribuzione dei valori all'interno dei gruppi delle atlete e degli atleti peggiori risulta diversa dai tre casi precedentemente analizzati. Si osserva, infatti, come le deviazioni standard delle atlete peggiori risultino sempre minori rispetto alle corrispettive deviazioni degli atleti peggiori, anche se con una differenza meno accentuata rispetto alle altre tre competizioni. In questo caso, infine, i valori di deviazione standard del gruppo degli atleti peggiori risultano essere quelli più elevati rispetto agli altri tre gruppi in analisi.

In generale, quindi, si può osservare come la variazione dei valori delle differenze delle medie femminili e maschili nelle competizioni di biathlon risultino maggiori rispetto a quelle osservate nelle due gare di cross country. In particolare, si è osservato come le differenze maggiori tra uomini e donne siano riscontrabili nei tre segmenti dei tratti di salita analizzati, con la sola esclusione dei valori ottenuti per la gara di XCL, in cui i valori dei sei segmenti risultano tutti comparabili tra loro. Per i tre rimanenti segmenti (piano curva e discesa), invece, le differenze calcolate per gli atleti e le atlete non sono così diverse tra loro, evidenziando quindi un comportamento abbastanza simile tra i gruppi delle atlete e degli atleti peggiori e migliori. Da questi risultati è possibile ipotizzare che i ritardi maggiori accumulati dagli atleti peggiori rispetto ai migliori si ottengano lungo i tratti salita piuttosto che in tratti di pianura o discesa, sia per il genere femminile che maschile. Escludendo dall'analisi i valori della gara di XCL, i risultati mostrano come le atlete peggiori accusino un maggiore distacco da quelle migliori rispetto ai corrispettivi atleti maschili, rendendo possibile ipotizzare che il diverso sviluppo della muscolatura e della forza muscolare tra uomini e donne, a parità di allenamento, possa influire sulle capacità aerobiche e lattacide degli atleti in modo più marcato sulle donne e sui tratti del percorso in salita. È da considerare che il limitato numero di atleti (tre) inseriti nei gruppi possa essere vantaggioso perché si è sicuri di prendere quegli atleti che hanno avuto le migliori e le peggiori prestazioni, però può comportare la comparsa di bias nei dati medi ottenuti per ciascun gruppo e quindi influire fortemente sui risultati. Tali differenze tra atleti appartenenti allo stesso gruppo possono per esempio essere causate dai differenti livelli di allenamento degli atleti o, estremizzando,

dalla presenza all'interno dei gruppi di atleti particolarmente capaci e/o particolarmente scarsi.

### 5.3 Confronto Gare

All'interno di questo paragrafo si sono andati a valutare tra loro gli intertempi dei sei segmenti di interesse per ogni atleta che ha partecipato a tutte e quattro le competizioni in esame. In particolare, dalla Tabella 4.2 e 4.3 si può osservare che tutte le atlete e gli atleti che hanno partecipato a tutte le competizioni appartengono alla classe LW12, fatta eccezione per l'atleta 8 uomo appartenente alla classe LW11.5. Il fatto che solo gli atleti seduti con il minor livello di limitazione fisica abbiano partecipato a tutte e quattro le competizioni può probabilmente indicare che per gli atleti delle classi inferiori fosse energeticamente troppo dispendioso partecipare a quattro gare in un breve lasso di tempo.

All'inizio dei seguenti sotto paragrafi in tabelle sono stati riportati i valori dei segmenti per ogni atleta mediati su tutti i giri con la relativa deviazione standard. La distribuzione dei valori è stata riportata tramite rappresentazione con i box plot, in modo da fornire una rappresentazione grafica della possibile differenza statistica tra le gare.

#### 5.3.1 Uphill middle – segmento K1 – K2

ATLETA DONNA	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 8	19.56 ± 0.51	19.59 ± 1.05	23.72 ± 0.84	19.39 ± 0.15
Atleta 9	18.19 ± 0.89	16.76 ± 0.78	19.48 ± 0.58	17.55 ± 0.36
Atleta 10	16.92 ± 0.32	17.26 ± 1.36	19.13 ± 0.00	16.80 ± 0.29
Atleta 11	16.40 ± 0.59	17.20 ± 0.63	18.69 ± 0.97	15.91 ± 0.47
Atleta 12	16.96 ± 0.49	16.64 ± 0.78	18.57 ± 0.53	16.65 ± 0.13

Tabella 5.13: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K1-K2 delle 5 atlete partecipanti a tutte e quattro le gare.

ATLETA UOMO	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 9	15.04 ± 0.50	15.89 ± 0.99	18.04 ± 0.49	15.95 ± 0.43
Atleta 10	15.10 ± 0.42	15.02 ± 0.40	17.97 ± 0.22	15.13 ± 0.50
Atleta 12	15.90 ± 0.39	15.46 ± 0.56	18.55 ± 0.28	15.99 ± 0.35
Atleta 11	13.92 ± 0.84	14.09 ± 0.32	15.63 ± 0.39	13.98 ± 0.25
Atleta 13	13.17 ± 0.15	13.17 ± 0.20	15.29 ± 0.40	13.58 ± 0.44
Atleta 14	15.50 ± 1.29	14.71 ± 0.30	18.36 ± 0.96	15.01 ± 0.65
Atleta 15	13.38 ± 0.44	13.67 ± 0.68	16.80 ± 0.35	14.66 ± 0.70
Atleta 8	13.44 ± 0.72	13.37 ± 0.38	15.42 ± 0.69	13.75 ± 0.42

Tabella 5.14: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K1-K2 degli 8 atleti partecipanti a tutte e quattro le gare.

L'analisi statistica mostra che sia le donne che gli uomini presentano una differenza significativa ( $p < 0.05$ ); i valori del p value calcolati col Friedman Test sono stati pari a 0.0136 e 3.55e-04 rispettivamente.

In particolare, eseguendo un post hoc test si sono evidenziate delle differenze significative dei valori del segmento K1-K2 tra le gare femminili di XCM e XCL ( $p = 0.0079 < 0.01$ ) e tra le gare maschili di BS e XCM ( $p = 0.0013 < 0.01$ ) e di BI e XCM ( $p = 0.0013 < 0.01$ ).

Le distribuzioni dei valori del segmento delle quattro gare femminili e maschili sono riportati rispettivamente nei box plot di Figura 5.5(a) e 5.5(b).

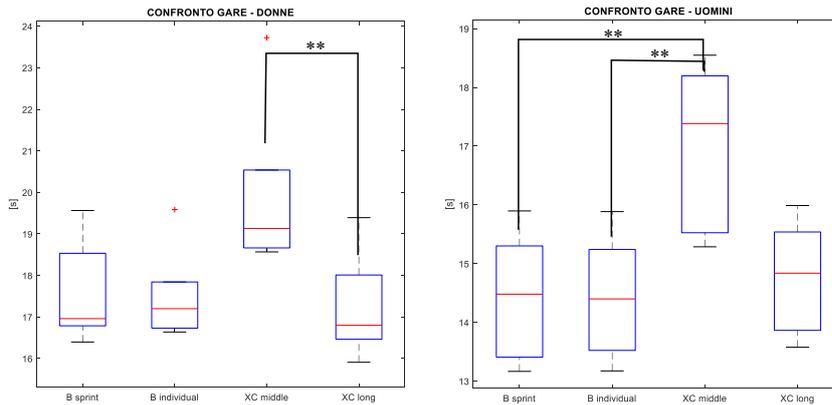


Figura 5.5: Distribuzione dei valori del segmento K1-K2 per le gare femminili (a) e maschili (b).

### 5.3.2 Uphill steep – segmento K2 – K3

ATLETA DONNA	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 8	27.79 ± 1.16	30.05 ± 2.99	27.97 ± 1.90	27.35 ± 1.15
Atleta 9	24.13 ± 1.86	22.11 ± 0.96	21.93 ± 0.88	21.98 ± 0.82
Atleta 10	23.19 ± 0.57	24.23 ± 2.38	22.62 ± 0.00	22.60 ± 0.76
Atleta 11	21.67 ± 1.47	21.81 ± 0.91	21.59 ± 1.46	20.97 ± 0.25
Atleta 12	22.67 ± 1.22	22.59 ± 1.36	22.00 ± 1.06	22.24 ± 0.44

Tabella 5.15: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K2-K3 delle 5 atlete partecipanti a tutte e quattro le gare.

ATLETA UOMO	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 9	19.38 ± 0.51	20.93 ± 1.91	19.06 ± 0.62	19.52 ± 1.09
Atleta 10	19.54 ± 0.75	19.33 ± 1.00	19.12 ± 0.18	19.01 ± 0.67
Atleta 12	20.92 ± 0.88	20.66 ± 0.53	19.42 ± 0.44	20.86 ± 0.76
Atleta 11	18.46 ± 0.69	18.59 ± 0.67	17.08 ± 0.24	17.56 ± 0.98
Atleta 13	16.50 ± 0.38	16.87 ± 0.48	16.44 ± 0.09	17.08 ± 0.61
Atleta 14	21.40 ± 2.45	20.41 ± 0.96	19.83 ± 0.72	19.97 ± 0.61
Atleta 15	17.86 ± 1.06	19.05 ± 0.97	19.10 ± 0.42	19.56 ± 1.20
Atleta 8	16.94 ± 0.96	16.94 ± 0.73	15.81 ± 0.87	17.00 ± 0.53

Tabella 5.16: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K2-K3 degli 8 atleti partecipanti a tutte e quattro le gare.

L'analisi statistica mostra che sia le donne che gli uomini presentano una differenza significativa ( $p < 0.05$ ); i valori del p value calcolati col Friedman Test sono stati pari a 0.0169 e 0.0440 rispettivamente.

In particolare, eseguendo un post-hoc test si sono evidenziate delle differenze significative dei valori del segmento K2-K3 tra le gare femminili di BI e XCL ( $p = 0.0355 < 0.05$ ). Il post-hoc test non ha individuato nessuna coppia tra le gare maschili con p value inferiore a 0.05, ma solamente tre coppie (BS-XCM, BI-XCM e XCM-XCL) con un p value pari a 0.0926. La differenza dei valori di p value è legata al diverso algoritmo utilizzato da Matlab durante il post-hoc test.

Le distribuzioni dei valori del segmento delle quattro gare femminili e maschili sono riportati rispettivamente nei box plot di Figura 5.6(a) e 5.6(b).

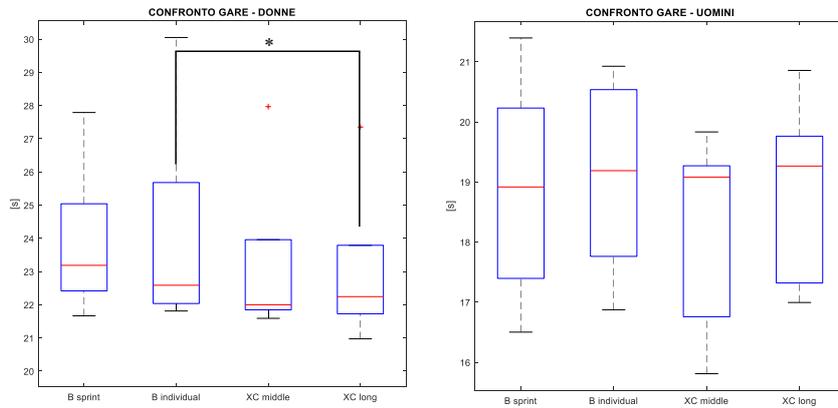


Figura 5.6: Distribuzione dei valori del segmento K2-K3 per le gare femminili (a) e maschili (b).

### 5.3.3 Total uphill – segmento K1 – K3

ATLETA DONNA	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 8	47.35 ± 1.57	49.64 ± 3.99	51.69 ± 1.06	46.75 ± 1.29
Atleta 9	42.31 ± 2.72	38.87 ± 1.72	41.41 ± 1.46	39.53 ± 1.15
Atleta 10	40.10 ± 0.70	41.49 ± 3.73	41.75 ± 0.00	39.40 ± 0.98
Atleta 11	38.06 ± 1.97	39.01 ± 1.49	40.29 ± 2.43	37.00 ± 0.65
Atleta 12	39.63 ± 1.70	39.23 ± 2.14	40.57 ± 1.59	38.78 ± 0.51

Tabella 5.17: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K1-K3 delle 5 atlete partecipanti a tutte e quattro le gare.

ATLETA UOMO	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 9	34.42 ± 1.00	36.81 ± 2.89	37.38 ± 0.92	35.47 ± 1.36
Atleta 10	34.65 ± 1.16	34.35 ± 1.36	36.67 ± 0.74	34.21 ± 1.12
Atleta 12	36.81 ± 1.22	36.12 ± 1.00	37.96 ± 0.59	36.85 ± 1.06
Atleta 11	32.38 ± 1.53	32.67 ± 0.82	32.71 ± 0.37	31.54 ± 0.97
Atleta 13	29.67 ± 0.44	30.05 ± 0.59	31.59 ± 0.42	30.66 ± 1.04
Atleta 14	36.90 ± 3.72	35.12 ± 1.09	38.19 ± 1.68	34.98 ± 1.18

Atleta 15	31.23 ± 1.49	32.72 ± 1.62	35.90 ± 0.77	34.27 ± 1.58
Atleta 8	30.38 ± 1.66	30.31 ± 1.10	31.23 ± 1.55	30.75 ± 0.88

Tabella 5.18: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K1-K3 degli 8 atleti partecipanti a tutte e quattro le gare.

L'analisi statistica mostra che sia le donne che gli uomini presentano una differenza significativa ( $p < 0.05$ ); i valori del p value calcolati col Friedman Test sono stati pari a 0.0169 e 0.0022 rispettivamente.

In particolare, eseguendo un post hoc test si sono evidenziate delle differenze significative dei valori del segmento K1-K3 tra le gare femminili di XCM e XCL ( $p = 0.0079 < 0.01$ ) e tra le gare maschili di BS e XCM ( $p = 0.0055 < 0.01$ ), di BI e XCM ( $p = 0.0105 < 0.05$ ) e di XCM e XCL ( $p = 0.0193 < 0.05$ ).

Le distribuzioni dei valori del segmento delle quattro gare femminili e maschili sono riportati rispettivamente nei box plot di Figura 5.7(a) e 5.7(b).

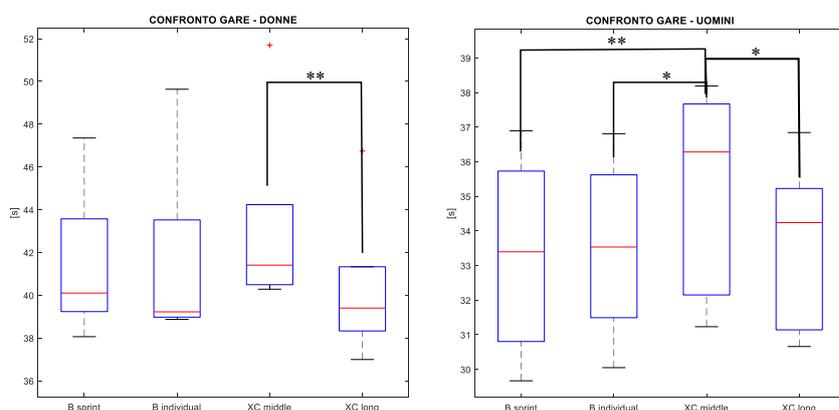


Figura 5.7: Distribuzione dei valori del segmento K1-K3 per le gare femminili (a) e maschili (b).

### 5.3.4 Flat – segmento K4 – K5

ATLETA DONNA	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 8	23.49 ± 0.37	21.76 ± 1.31	23.77 ± 0.75	21.52 ± 0.48
Atleta 9	20.34 ± 0.90	19.78 ± 0.37	21.11 ± 0.09	19.60 ± 0.58
Atleta 10	18.98 ± 0.10	20.73 ± 1.26	20.45 ± 0.22	19.25 ± 0.55
Atleta 11	19.34 ± 0.68	19.58 ± 0.34	20.27 ± 0.22	18.53 ± 0.33
Atleta 12	19.68 ± 0.90	19.70 ± 0.44	20.86 ± 0.53	19.47 ± 0.50

Tabella 5.19: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K4-K5 delle 5 atlete partecipanti a tutte e quattro le gare.

ATLETA UOMO	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
-------------	--------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	-------------------------------

Atleta 9	18.62 ± 0.25	19.35 ± 1.04	20.05 ± 0.25	19.42 ± 0.48
Atleta 10	18.82 ± 0.07	17.98 ± 0.33	19.86 ± 0.50	18.44 ± 0.22
Atleta 12	18.25 ± 0.06	18.26 ± 0.47	19.63 ± 0.34	18.44 ± 0.34
Atleta 11	17.06 ± 0.19	17.53 ± 0.32	17.75 ± 0.72	16.84 ± 0.36
Atleta 13	16.10 ± 0.45	16.13 ± 0.27	16.50 ± 0.37	16.35 ± 0.40
Atleta 14	17.48 ± 0.59	17.83 ± 0.48	17.94 ± 0.16	18.04 ± 0.40
Atleta 15	15.83 ± 0.21	16.29 ± 0.62	17.47 ± 0.67	17.09 ± 0.64
Atleta 8	16.34 ± 0.68	16.38 ± 0.32	16.96 ± 0.51	16.81 ± 0.47

Tabella 5.20: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K4-K5 degli 8 atleti partecipanti a tutte e quattro le gare.

L'analisi statistica mostra che sia le donne che gli uomini presentano una differenza significativa ( $p < 0.05$ ); i valori del p value calcolati col Friedman Test sono stati pari a 0.0136 e 8.34e-04 rispettivamente.

In particolare, eseguendo un post hoc test si sono evidenziate delle differenze significative dei valori del segmento K4-K5 tra le gare femminili di XCM e XCL ( $p = 0.0079 < 0.01$ ) e tra le gare maschili di BS e XCM ( $p = 0.0006 < 0.001$ ) e di BI e XCM ( $p = 0.0193 < 0.05$ ).

Le distribuzioni dei valori del segmento delle quattro gare femminili e maschili sono riportati rispettivamente nei box plot di Figura 5.8(a) e 5.8(b).

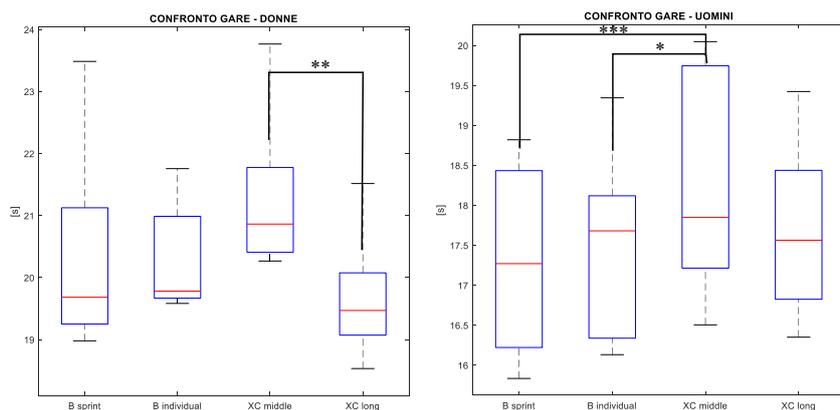


Figura 5.8: Distribuzione dei valori del segmento K4-K5 per le gare femminili (a) e maschili (b).

### 5.3.5 Curve – segmento K5 – K6

ATLETA DONNA	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 8	11.45 ± 0.63	11.45 ± 0.42	11.82 ± 0.26	10.78 ± 0.63
Atleta 9	9.01 ± 0.40	9.38 ± 0.46	9.24 ± 0.22	8.37 ± 0.14
Atleta 10	9.08 ± 0.18	9.42 ± 0.58	8.95 ± 0.09	8.32 ± 0.32
Atleta 11	8.81 ± 0.25	9.13 ± 0.31	8.98 ± 0.40	8.32 ± 0.38
Atleta 12	8.68 ± 0.28	8.99 ± 0.24	8.45 ± 0.18	8.56 ± 0.31

Tabella 5.21: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K5-K6 delle 5 atlete partecipanti a tutte e quattro le gare.

ATLETA UOMO	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 9	10.10 ± 0.17	10.28 ± 0.54	9.78 ± 0.37	9.87 ± 0.61
Atleta 10	9.51 ± 0.22	9.40 ± 0.26	8.95 ± 0.16	8.10 ± 0.43
Atleta 12	9.02 ± 0.29	9.07 ± 0.13	9.24 ± 0.10	9.11 ± 0.46
Atleta 11	8.22 ± 0.27	8.97 ± 0.51	8.16 ± 0.32	8.02 ± 0.29
Atleta 13	7.58 ± 0.16	7.88 ± 0.18	7.97 ± 0.44	7.88 ± 0.23
Atleta 14	8.74 ± 0.92	8.65 ± 0.25	7.89 ± 0.11	8.28 ± 0.38
Atleta 15	8.06 ± 0.58	8.54 ± 0.84	7.60 ± 0.09	7.88 ± 0.27
Atleta 8	6.91 ± 0.21	7.25 ± 0.61	6.72 ± 0.20	6.86 ± 0.24

Tabella 5.22: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K5-K6 degli 8 atleti partecipanti a tutte e quattro le gare.

L'analisi statistica mostra che solo le donne presentano una differenza significativa ( $p < 0.05$ ); i valori del p value calcolati col Friedman Test sono stati infatti pari a 0.0169 per le donne e 0.1447 ( $p > 0.05$ ) per gli uomini.

In particolare, eseguendo un post hoc test si sono evidenziate delle differenze significative dei valori del segmento K5-K6 tra le gare femminili di BI e XCL ( $p = 0.0079 < 0.01$ ).

Le distribuzioni dei valori del segmento delle quattro gare femminili e maschili sono riportati rispettivamente nei box plot di Figura 5.9(a) e 5.9(b).

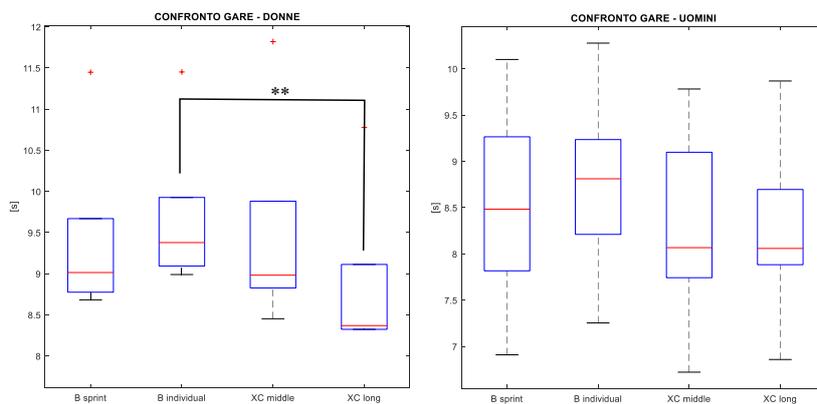


Figura 5.9: Distribuzione dei valori del segmento K5-K6 per le gare femminili (a) e maschili (b).

### 5.3.6 Downhill – segmento K7 – K8

ATLETA DONNA	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 8	-	6.51 ± 0.20	6.25 ± 0.04	6.29 ± 0.09
Atleta 9	-	6.68 ± 0.29	6.00 ± 0.22	6.40 ± 0.26
Atleta 10	-	6.92 ± 0.41	6.16 ± 0.00	6.17 ± 0.06
Atleta 11	-	6.34 ± 0.21	5.90 ± 0.00	6.32 ± 0.11
Atleta 12	-	6.55 ± 0.11	6.06 ± 0.05	6.15 ± 0.16

Tabella 5.23: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K7-K8 delle 5 atlete partecipanti a tutte e quattro le gare.

ATLETA UOMO	TEMPO MEDIO REALE B SPRINT [s]	TEMPO MEDIO REALE B INDIVIDUAL [s]	TEMPO MEDIO REALE XC MIDDLE [s]	TEMPO MEDIO REALE XC LONG [s]
Atleta 9	-	6.60 ± 0.14	5.82 ± 0.38	6.09 ± 0.04
Atleta 10	-	6.32 ± 0.16	6.03 ± 0.06	6.04 ± 0.11
Atleta 12	-	6.00 ± 0.11	5.70 ± 0.13	5.89 ± 0.12
Atleta 11	-	5.96 ± 0.14	5.34 ± 0.38	5.57 ± 0.09
Atleta 13	-	5.76 ± 0.10	5.41 ± 0.11	5.69 ± 0.18
Atleta 14	-	6.19 ± 0.24	5.87 ± 0.18	6.01 ± 0.32
Atleta 15	-	5.82 ± 0.15	5.53 ± 0.11	5.90 ± 0.12
Atleta 8	-	6.08 ± 0.21	5.59 ± 0.11	5.97 ± 0.13

Tabella 5.24: Tempi medi e deviazioni standard per il segmento K7-K8 degli 8 atleti partecipanti a tutte e quattro le gare.

L'analisi statistica mostra che sia le donne che gli uomini presentano una differenza significativa ( $p < 0.05$ ); i valori del p value calcolati col Friedman Test sono stati pari a 0.0067 e 8.05e-04 rispettivamente.

In particolare, eseguendo un post hoc test si sono evidenziate delle differenze significative dei valori del segmento K7-K8 tra le gare femminili di BI e XCM ( $p = 0.0045 < 0.01$ ) e tra le gare maschili di BI e XCM ( $p = 0.0005 < 0.001$ ).

Le distribuzioni dei valori del segmento delle quattro gare femminili e maschili sono riportati rispettivamente nei box plot di Figura 5.10(a) e 5.10(b).

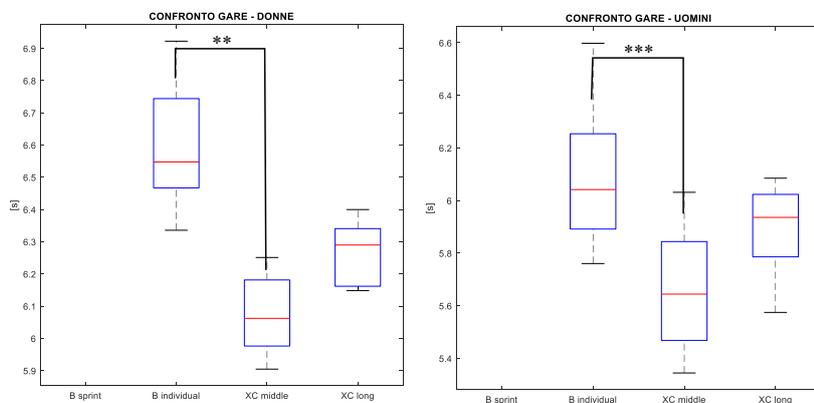


Figura 5.10: Distribuzione dei valori del segmento K7-K8 per le gare femminili (a) e maschili (b).

Ad esclusione dei segmenti K2-K3 e K5-K6 per i quali non si sono identificate differenze significative tra le quattro gare maschili, è stata identificata almeno una coppia di gare con differenza significativa per ogni segmento, sia per gli uomini che per le donne. Senza considerare la tipologia dei segmenti, per le donne si sono osservate 3 differenze statisticamente significative tra le gare di XCM e XCL, 2 tra le gare di BI e XCL ed 1 tra le

gare di BI e XCM. Per gli uomini, invece, tutte le differenze statisticamente significative trovate sono legate alla gara di XCM: in particolare si sono calcolati 3 differenze significative tra le gare di BS e XCM, 4 tra le gare di BI e XCM ed 1 tra le gare di XCL e XCM. Non sono quindi state identificate differenze significative tra le due gare di biathlon per nessun segmento, né per gli uomini né per le donne, mentre la maggior parte delle differenze identificate sono legate alla gara di XCM (12 su 14, circa l'86% delle differenze significative trovate).

In generale, sia per gli uomini che per le donne, la comparazione statistica delle quattro gare ha individuato delle differenze significative delle gare di BS, BI e XCL con la gara di XCM. Per poter interpretare questi risultati, si può ricordare che questa gara si è svolta dopo un'intera giornata di riposo, come riportato nel paragrafo 4.2. Inoltre, osservando le condizioni meteo riportate in Tabella 4.7, è possibile ipotizzare che la leggera nevicata durante la gara di XCM possa aver influenzato l'approccio degli atleti alla gara stessa e/o aver reso le condizioni della neve del percorso diverse a tal punto da influire sul comportamento medio degli atleti.

I risultati ottenuti sono purtroppo limitati alla sola classe LW12, poiché nessun altro atleta delle altre quattro classi ha partecipato a tutte le competizioni, ad esclusione dell'atleta 8 uomo appartenente alla classe LW11.5. Per generalizzare queste considerazioni, sarebbe quindi utile poter analizzare anche il comportamento di atleti delle altre classi partecipanti a tutte le competizioni, in modo da poter effettuare dei confronti interclasse.

#### 5.4 Confronto classi

In questo paragrafo si sono andati ad analizzare i valori medi dei sei segmenti di interesse. In particolare, si sono mediati i valori in funzione del giro e della classe e quindi confrontati tra loro. Tutti i dati calcolati sono stati riportati all'interno di apposite tabelle e quindi rappresentati graficamente tramite istogrammi con in ascissa le cinque classi degli atleti seduti e in ordinata i valori temporali dei segmenti espressi sia in secondi che in percentuale rispetto al tempo medio della classe LW12. Ad ogni classe è associato un numero di barre pari al numero di giri percorsi durante la specifica gara. Infine, si sono riportati i risultati dell'analisi statistica tra le classi e la distribuzione dei valori mediante rappresentazione con box plot.

##### 5.4.1 Uphill middle – segmento K1 – K2

Nella Tabella 5.25 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K1-K2 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon sprint.

BIATHLON SPRINT								
Classe	Tempo medio donne [s]				Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri
LW 10	-	-	-	-	16.27 ± 0.00	15.40 ± 0.00	15.90 ± 0.00	15.85 ± 0.00
LW 10.5	28.73 ± 11.10	31.37 ± 12.26	32.54 ± 16.81	30.88 ± 13.36	-	-	-	-
LW 11	19.27 ± 0.00	21.02 ± 0.00	20.77 ± 0.00	20.35 ± 0.00	16.28 ± 0.00	16.33 ± 0.00	17.40 ± 0.00	16.67 ± 0.00
LW 11.5	-	-	-	-	14.33 ± 2.30	15.77 ± 3.27	16.11 ± 2.79	15.41 ± 2.78
LW 12	17.18 ± 1.20	17.86 ± 1.10	17.99 ± 1.30	17.67 ± 1.15	14.32 ± 1.06	15.14 ± 1.69	15.46 ± 1.79	14.97 ± 1.46

Tabella 5.25: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K1-K2 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BS.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.25, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K1-K2 per ogni classe.

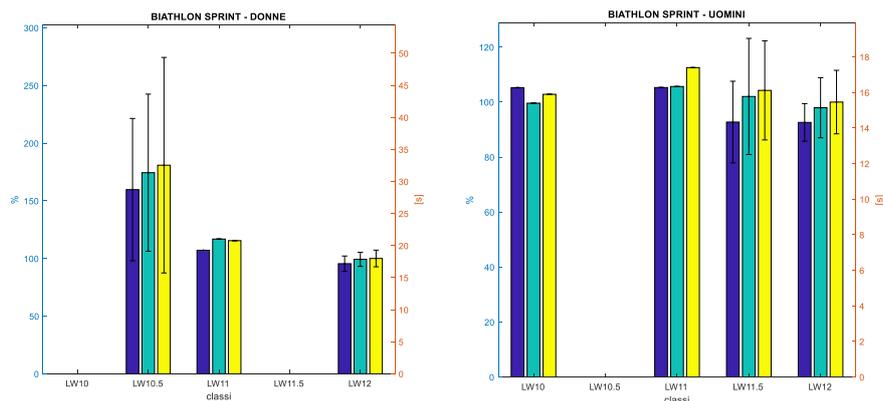


Figura 5.11: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K1-K2 per ogni giro della gara di BS e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K1-K2 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test mostra una differenza statistica per le donne ( $p = 0.04 < 0.05$ ), in particolare tra la classe LW10.5 e la classe LW12 ( $p = 0.04$ ), mentre non si trovano differenze significative comparando le altre classi. Per gli uomini invece non si sono trovate differenze statistiche tra le classi ( $p = 0.66$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.12.

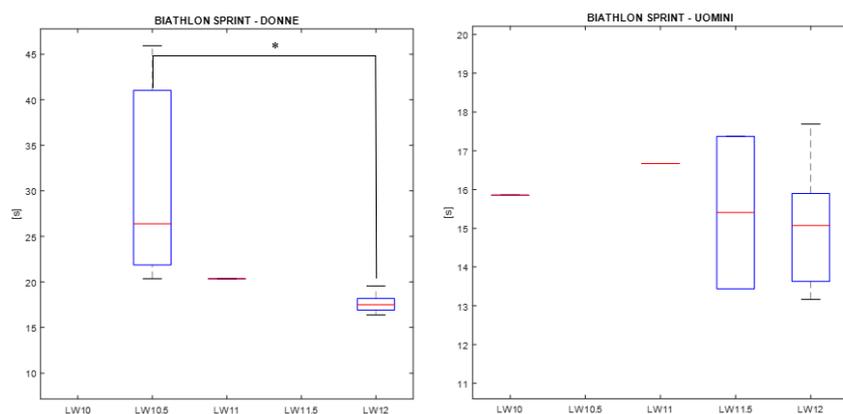


Figura 5.12: Distribuzione dei valori del segmento K1-K2 per ogni classe della gara di BS femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.26 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K1-K2 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon individual.

BIATHLON INDIVIDUAL												
Classe	Tempo medio donne [s]					Media giri	Tempo medio uomini [s]					Media giri
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5		Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	24.51 ± 0.00	28.14 ± 0.00	27.01 ± 0.00	29.64 ± 0.00	30.32 ± 0.00	27.92 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11	19.45 ± 0.00	21.38 ± 0.00	22.39 ± 0.00	23.07 ± 0.00	23.70 ± 0.00	22.00 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	15.10 ± 2.88	14.92 ± 2.78	14.48 ± 1.55	14.64 ± 1.50	15.54 ± 2.34	14.94 ± 2.21
LW 12	16.48 ± 1.13	17.01 ± 0.90	17.36 ± 1.18	18.00 ± 1.17	18.31 ± 1.50	17.43 ± 1.08	14.71 ± 1.89	14.78 ± 1.58	15.17 ± 1.73	15.54 ± 1.81	15.22 ± 1.74	15.09 ± 1.70

Tabella 5.26: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K1-K2 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BI.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.26, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K1-K2 per ogni classe.

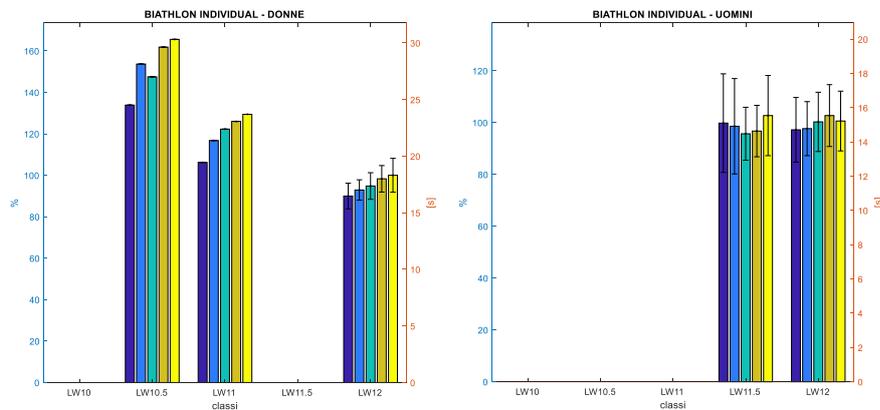


Figura 5.13: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K1-K2 per ogni giro della gara di BI e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K1-K2 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.13$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 1.00$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.14.

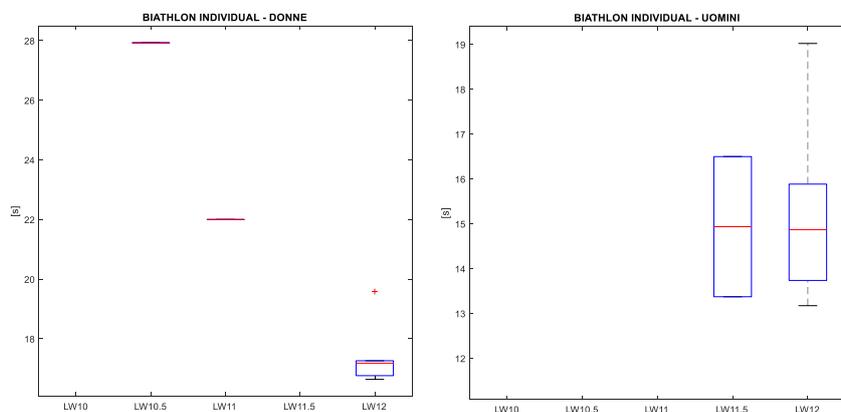


Figura 5.14: Distribuzione dei valori del segmento K1-K2 per ogni classe della gara di BI femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.27 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K1-K2 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country middle.

#### CROSS COUNTRY MIDDLE

Classe	Tempo medio donne [s]			Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri
LW 10	-	-	-	21.01 ± 2.92	18.63 ± 0.00	22.19 ± 4.33	21.53 ± 3.72
LW 10.5	29.21 ± 7.38	34.28 ± 9.62	30.52 ± 8.30	-	-	-	-
LW 11	23.38 ± 3.45	22.76 ± 4.24	23.07 ± 3.84	17.82 ± 0.68	18.80 ± 0.96	18.76 ± 1.17	18.46 ± 0.91
LW 11.5	-	-	-	17.72 ± 4.37	18.10 ± 3.32	18.13 ± 3.18	17.98 ± 3.62
LW 12	20.73 ± 2.81	21.03 ± 2.52	20.88 ± 2.62	17.60 ± 1.79	18.61 ± 1.87	18.10 ± 2.03	18.15 ± 1.87

Tabella 5.27: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K1-K2 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCM.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.27, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K1-K2 per ogni classe.

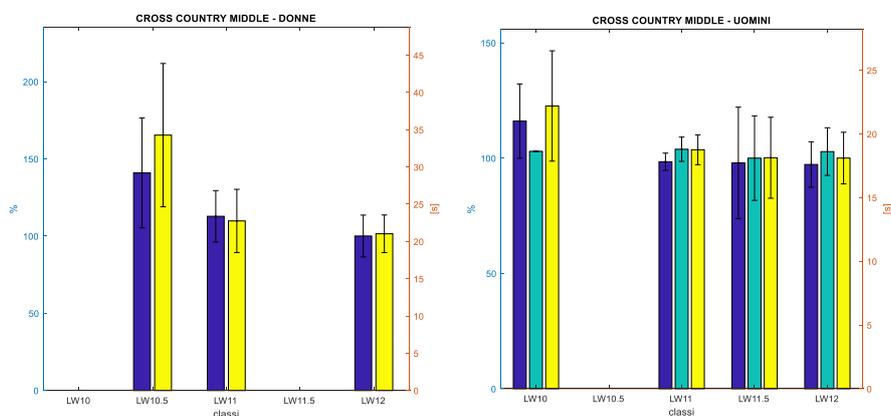


Figura 5.15: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K1-K2 per ogni giro della gara di XCM e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K1-K2 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test mostra una differenza statistica per le donne ( $p = 0.03 < 0.05$ ), in particolare tra la classe LW10.5 e la classe LW12 ( $p = 0.02$ ), mentre non si trovano differenze significative comparando le altre classi. Per gli uomini invece non si sono trovate differenze statistiche tra le classi ( $p = 0.31$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.16.

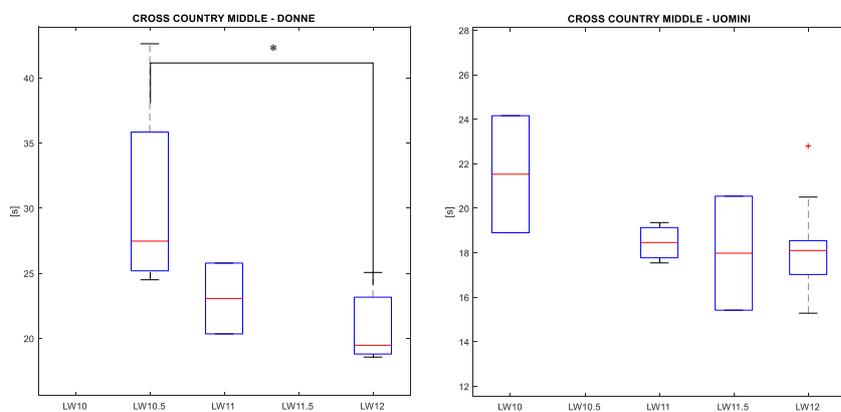


Figura 5.16: Distribuzione dei valori del segmento K1-K2 per ogni classe della gara di XCM femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.28 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K1-K2 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country long.

### CROSS COUNTRY LONG

Classe	Tempo medio donne [s]					Tempo medio uomini [s]					
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	Media giri
LW 10	-	-	-	-	-	19.56 ± 3.45	19.10 ± 4.29	20.10 ± 4.55	19.82 ± 5.13	19.59 ± 4.82	19.63 ± 4.45
LW 10.5	21.69 ± 1.15	21.94 ± 2.30	21.91 ± 1.45	22.66 ± 3.31	22.05 ± 2.05	-	-	-	-	-	-
LW 11	19.44 ± 2.12	20.06 ± 2.56	20.22 ± 3.14	20.47 ± 4.29	20.05 ± 3.03	15.98 ± 0.65	15.73 ± 0.34	15.67 ± 1.34	16.57 ± 1.38	16.19 ± 0.53	16.03 ± 0.72
LW 11.5	-	-	-	-	-	15.50 ± 3.27	15.41 ± 2.78	16.31 ± 3.01	16.19 ± 3.10	16.35 ± 3.40	15.95 ± 3.11
LW 12	18.19 ± 2.67	18.10 ± 2.84	18.41 ± 2.57	18.23 ± 2.24	18.17 ± 2.52	15.43 ± 1.36	14.98 ± 1.31	15.46 ± 1.31	15.57 ± 1.51	15.79 ± 1.41	15.41 ± 1.26

Tabella 5.28: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K1-K2 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCL.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.28, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K1-K2 per ogni classe.

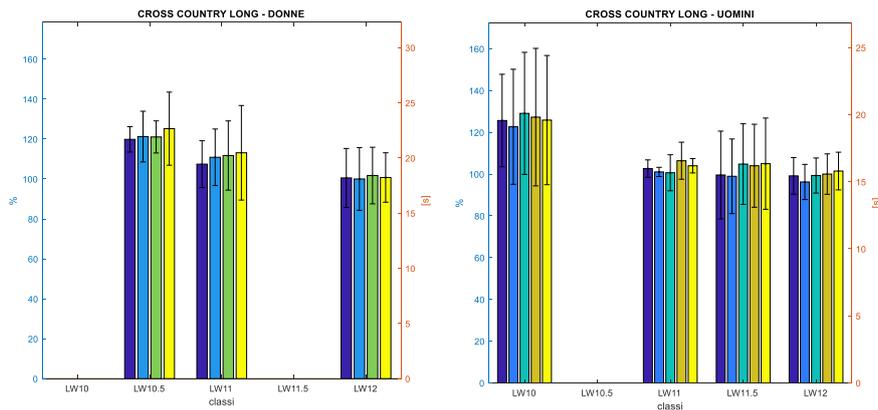


Figura 5.17: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K1-K2 per ogni giro della gara di XCL e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K1-K2 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.19$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.21$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.18.

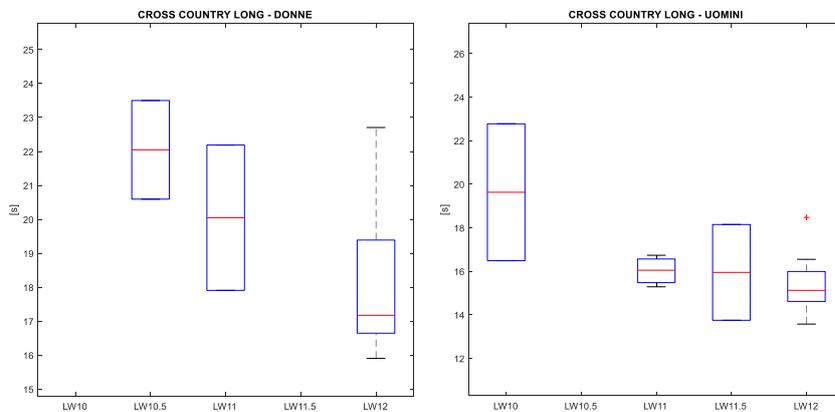


Figura 5.18: Distribuzione dei valori del segmento K1-K2 per ogni classe della gara di XCL femminile (sinistra) e maschile (destra).

Dai dati presenti nelle tabelle e mostrati negli istogrammi è possibile osservare come vi siano maggiori differenze del tempo medio di percorrenza del segmento K1-K2 tra le classi del genere femminile rispetto a quelle del genere maschile per le gare di BS, BI e XCM. In particolare, si può osservare come i tempi medi di ogni giro della classe LW10.5 nella gara femminile di BS e XCM siano molto maggiori rispetto a quelli ottenuti dalle altre due classi partecipanti alle competizioni e risultino maggiori del 50 % rispetto al tempo della classe di riferimento LW12 in entrambe le competizioni. Nella gara femminile di BI si osserva una differenza simile solamente negli ultimi due giri della competizione, mentre nella gara femminile di XCL il tempo medio della classe LW10.5 è circa sempre il 20 % maggiore. Si sottolinea comunque che in campo femminile i tempi medi migliori di ogni giro e per ogni gara sono stati sempre ottenuti dalla classe LW12. Durante tutte e quattro le competizioni maschili, invece, si può osservare come i tempi medi ottenuti dalle classi LW11, LW11.5 e LW12 siano abbastanza simili tra loro, mentre come i tempi medi della classe LW10 siano più elevati durante le gare di XCM e XCL e simili durante la gara di BS. Infine, si può notare come i tempi medi al giro di ogni classe durante la gara femminile e maschile di XCM siano mediamente più alti rispetto a quelli delle altre tre competizioni, evidenziando quindi una possibile influenza delle condizioni meteo su tali prestazioni.

Osservando l'andamento medio dei tempi di ogni giro all'interno di ogni classe, è possibile notare come vi siano alcune classi il cui tempo medio del giro tende sempre ad aumentare al giro successivo, mentre come altre classi non presentino un continuo aumento del tempo medio col passare dei giri. Si può osservare tale comportamento per le classi LW10.5 e LW12 nelle gare femminili di BS e XCM, per le classi LW11 e LW12 nella gara femminile di BI e per la classe LW12 per la gara femminile di XCL. In particolare, si osserva un incremento maggiore al giro per la classe LW10.5 nelle gare di BS e XCM e per la classe LW11 nella gara di BI. Per quanto riguarda le gare maschili, si può osservare tale comportamento durante la gara di BS per le classi LW11.5 e LW12 e durante la gara di XCM per la classe LW11.5. In particolare, durante la gara di BS è evidente l'aumento temporale al giro, mentre durante la gara di XCM l'aumento è molto piccolo.

Si osserva come i valori di deviazione standard varino in funzione della classe, della gara e del genere degli atleti analizzati. In particolare, si osserva un'elevata deviazione standard per

la classe LW10.5 nella gara femminile di BS rispetto alle deviazioni standard delle altre classi per la medesima gara, mentre si può osservare un aumento generale della deviazione standard di ogni classe durante le gare femminili e maschili di XCM e XCL.

L'analisi statistica delle quattro competizioni maschili e femminili tramite il Kruskal – Wallis test ha evidenziato differenze statisticamente significative solamente tra le classi femminili LW10.5 e LW12 nelle gare di BS e XCM. Nella gara maschile di BI, invece, il test ha evidenziato una perfetta corrispondenza ( $p = 1.00$ ) tra i tempi ottenuti dalla classe LW11.5 e LW12.

#### 5.4.2 Uphill steep – segmento K2 – K3

Nella Tabella 5.29 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K2-K3 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon sprint.

BIATHLON SPRINT								
Classe	Tempo medio donne [s]				Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri
LW 10	-	-	-	-	22.48 ± 0.00	23.80 ± 0.00	24.36 ± 0.00	23.55 ± 0.00
LW 10.5	47.11 ± 20.38	52.21 ± 28.54	54.11 ± 32.33	51.14 ± 27.07	-	-	-	-
LW 11	27.86 ± 0.00	31.17 ± 0.00	31.86 ± 0.00	30.29 ± 0.00	20.60 ± 0.00	22.23 ± 0.00	23.80 ± 0.00	22.21 ± 0.00
LW 11.5	-	-	-	-	18.57 ± 2.78	20.10 ± 3.98	20.67 ± 4.24	19.53 ± 3.67
LW 12	22.46 ± 2.19	24.32 ± 2.11	24.46 ± 2.26	23.75 ± 2.14	18.57 ± 1.86	20.11 ± 2.44	20.26 ± 3.00	19.64 ± 2.35

Tabella 5.29: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K2-K3 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BS.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.29, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K2-K3 per ogni classe.

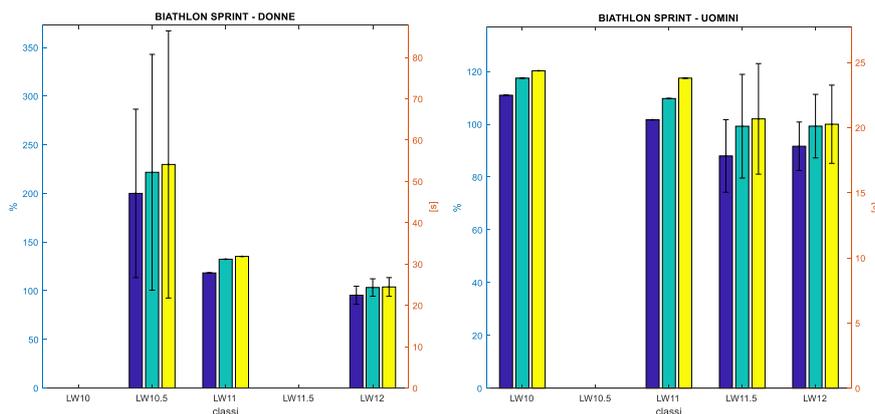


Figura 5.19: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K2-K3 per ogni giro della gara di BS e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K2-K3 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test mostra una differenza statistica per le donne ( $p = 0.03 < 0.05$ ), in particolare tra la classe LW10.5 e la classe LW12 ( $p = 0.03$ ), mentre non si trovano differenze significative comparando le altre classi. Per gli uomini invece non si sono trovate differenze statistiche tra le classi ( $p = 0.34$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.20.

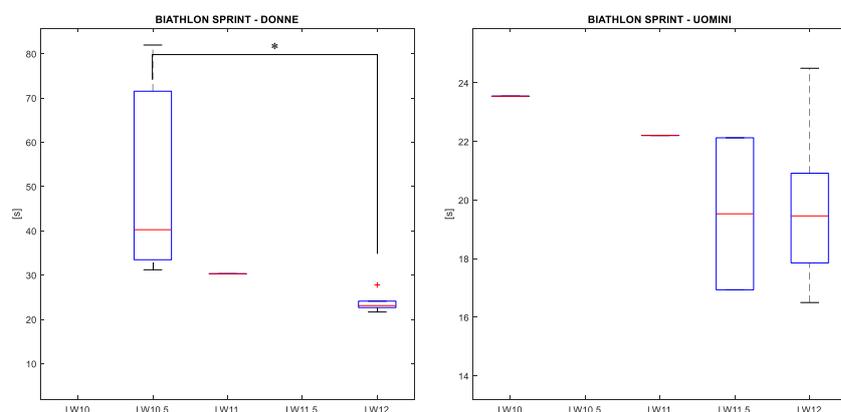


Figura 5.20: Distribuzione dei valori del segmento K2-K3 per ogni classe della gara di BS femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.30 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K2-K3 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon individual.

BIATHLON INDIVIDUAL												
Classe	Tempo medio donne [s]					Media giri	Tempo medio uomini [s]					Media giri
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5		Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	40.65 ± 0.00	44.65 ± 0.00	43.59 ± 0.00	47.85 ± 0.00	49.28 ± 0.00	45.20 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11	27.46 ± 0.00	29.90 ± 0.00	31.46 ± 0.00	33.65 ± 0.00	35.84 ± 0.00	31.66 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	18.40 ± 3.27	18.74 ± 3.49	19.81 ± 3.58	19.18 ± 2.79	20.59 ± 3.89	19.34 ± 3.40
LW 12	22.14 ± 2.42	23.36 ± 2.57	24.19 ± 2.79	24.98 ± 3.33	25.88 ± 4.56	24.11 ± 3.06	19.09 ± 2.77	19.72 ± 2.14	20.11 ± 2.66	20.92 ± 2.64	20.80 ± 2.81	20.13 ± 2.53

Tabella 5.30: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K2-K3 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BI.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.30, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K2-K3 per ogni classe.

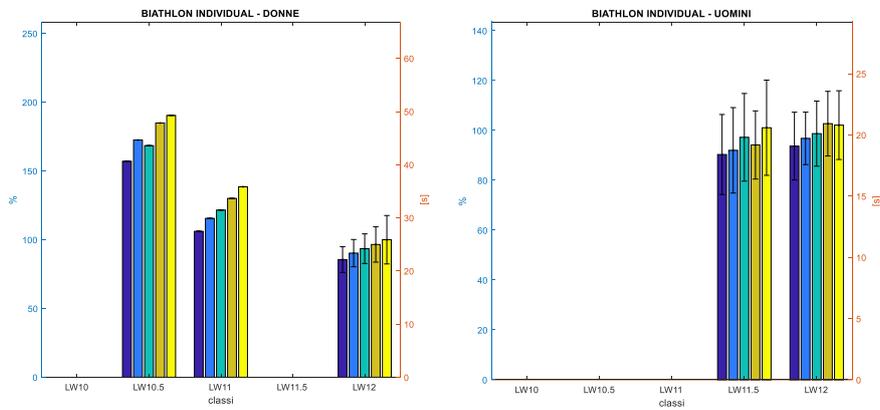


Figura 5.21: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K2-K3 per ogni giro della gara di BI e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K2-K3 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.13$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 1.00$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.22.

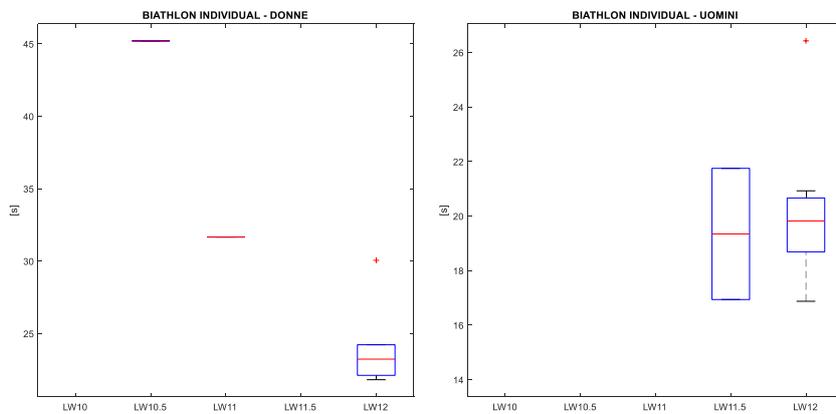


Figura 5.22: Distribuzione dei valori del segmento K2-K3 per ogni classe della gara di BI femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.31 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K2-K3 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country middle.

CROSS COUNTRY MIDDLE							
Classe	Tempo medio donne [s]			Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri

LW 10	-	-	-	26.62 ± 2.92	26.06 ± 0.00	27.72 ± 1.99	27.27 ± 2.30
LW 10.5	41.03 ± 15.01	48.67 ± 18.23	42.43 ± 16.37	-	-	-	-
LW 11	27.94 ± 3.62	33.87 ± 0.00	28.78 ± 4.82	19.94 ± 0.83	21.12 ± 1.31	21.08 ± 2.23	20.71 ± 1.27
LW 11.5	-	-	-	19.34 ± 6.41	20.81 ± 6.36	20.50 ± 5.92	20.22 ± 6.23
LW 12	23.90 ± 3.55	25.75 ± 4.82	24.82 ± 4.16	19.44 ± 2.98	20.93 ± 3.12	20.03 ± 3.57	20.24 ± 3.16

Tabella 5.31: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K2-K3 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCM.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.31, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K2-K3 per ogni classe.

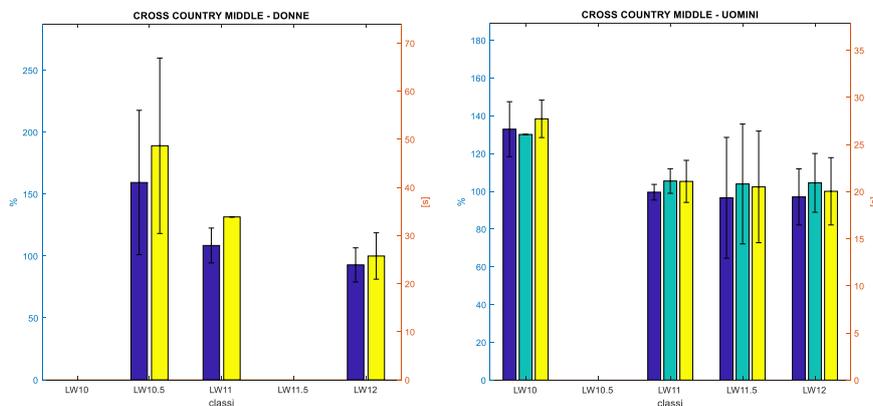


Figura 5.23: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K2-K3 per ogni giro della gara di XCM e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K2-K3 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test mostra una differenza statistica per le donne ( $p = 0.03 < 0.05$ ), in particolare tra la classe LW10.5 e la classe LW12 ( $p = 0.02$ ), mentre non si trovano differenze significative comparando le altre classi. Per gli uomini invece non si sono trovate differenze statistiche tra le classi ( $p = 0.19$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.24.

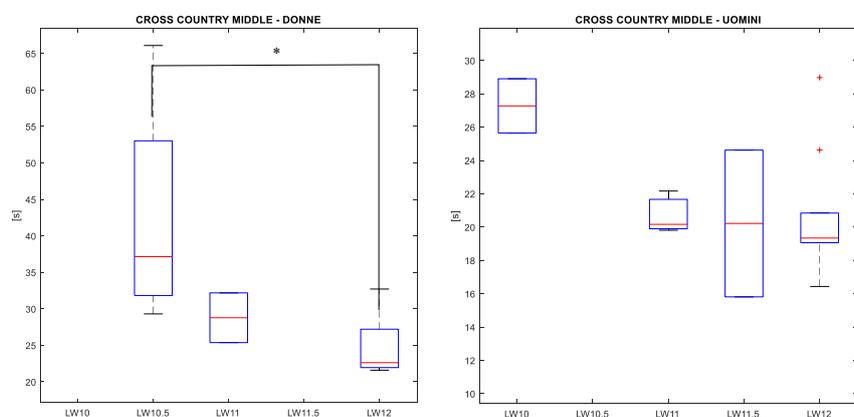


Figura 5.24: Distribuzione dei valori del segmento K2-K3 per ogni classe della gara di XCM femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.32 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K2-K3 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country long.

#### CROSS COUNTRY LONG

Classe	Tempo medio donne [s]					Tempo medio uomini [s]					
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	Media giri
LW 10	-	-	-	-	-	26.93 ± 3.18	26.18 ± 2.21	29.03 ± 5.26	32.59 ± 11.18	28.37 ± 4.16	28.62 ± 5.20
LW 10.5	31.49 ± 3.36	31.96 ± 5.53	32.68 ± 3.53	34.15 ± 5.53	32.57 ± 4.49	-	-	-	-	-	-
LW 11	25.68 ± 0.00	26.71 ± 1.55	28.31 ± 2.83	28.50 ± 4.16	27.82 ± 2.87	20.62 ± 0.91	20.87 ± 1.65	22.15 ± 2.70	22.33 ± 2.27	22.02 ± 1.11	21.45 ± 1.49
LW 11.5	-	-	-	-	-	18.84 ± 3.66	19.53 ± 3.49	20.18 ± 4.07	20.65 ± 4.29	20.78 ± 5.70	20.00 ± 4.24
LW 12	24.23 ± 4.33	24.62 ± 4.17	24.26 ± 3.57	25.44 ± 4.65	24.04 ± 4.03	19.41 ± 2.56	19.96 ± 2.58	19.60 ± 2.50	20.59 ± 3.60	20.99 ± 3.20	19.83 ± 2.67

Tabella 5.32: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K2-K3 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCL.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.32, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K2-K3 per ogni classe.

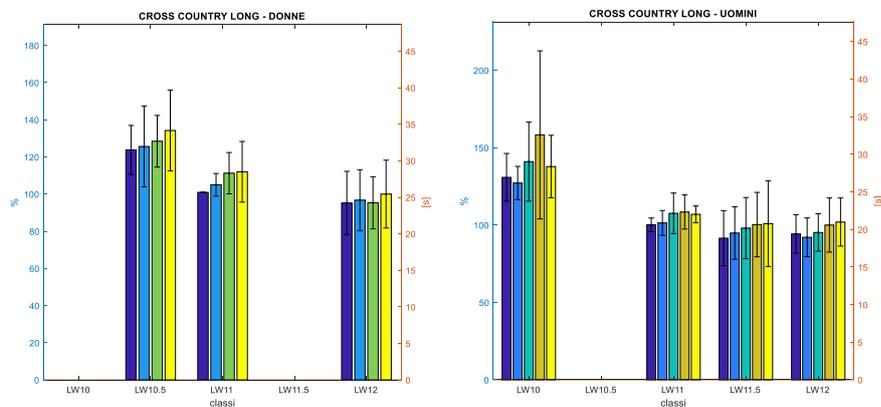


Figura 5.25: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K2-K3 per ogni giro della gara di XCL e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K2-K3 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.19$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.06$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.26.

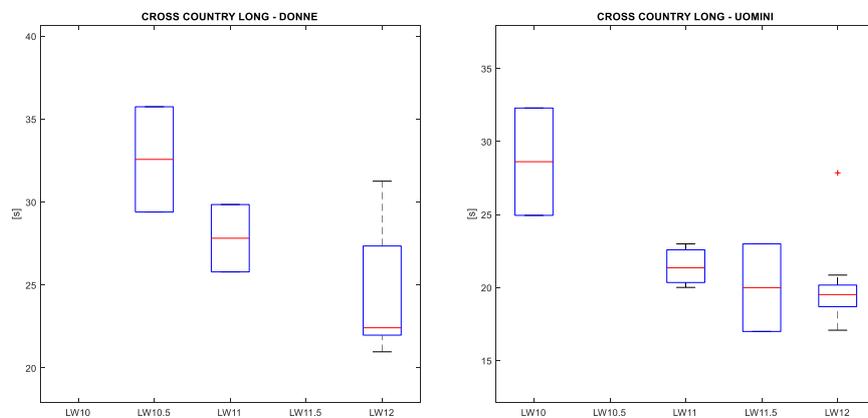


Figura 5.26: Distribuzione dei valori del segmento K2-K3 per ogni classe della gara di XCL femminile (sinistra) e maschile (destra).

Dai dati presenti nelle tabelle e mostrati negli istogrammi è possibile osservare come vi siano maggiori differenze del tempo medio di percorrenza del segmento K2-K3 tra le classi del genere femminile rispetto a quelle del genere maschile per le gare di BS, BI e XCM. In particolare, si può osservare come i tempi medi di ogni giro della classe LW10.5 nella gara femminile di BS, BI e XCM siano di molto maggiori rispetto a quelli ottenuti dalle altre due classi partecipanti alle competizioni. In particolare, nella gara di BS i tempi medi al giro

risultano superiori al doppio rispetto a quelli della classe di riferimento LW12, mentre nelle due gare di BI e XCM si osservano valori temporali sempre maggiori del 50%, ma comunque minori del doppio della classe LW12. Nella gara femminile di BI, invece, l'aumento temporale resta compreso tra il 20% e il 40%. Si sottolinea comunque che in campo femminile i tempi medi migliori di ogni giro e per ogni gara sono stati sempre ottenuti dalla classe LW12. Durante le competizioni maschili si può osservare come i tempi medi ottenuti dalla classe LW10 siano più elevati durante le gare di BS, XCM e XCL. È necessario però sottolineare come la differenza percentuale rispetto alla classe LW12 sia molto inferiore rispetto alla classe LW10.5 femminile: si è infatti osservato come l'aumento medio non sia comunque superiore al 20% rispetto alla classe LW12 nella gara di BS e con un aumento compreso tra il 20% e il 40-50% nelle gare di XC. Un aumento analogo si può osservare per la classe LW11 durante la gara di BS, mentre nella gara di BI non esistono differenze temporali medie tra le due classi partecipanti LW11.5 e LW12.

Osservando l'andamento medio dei tempi di ogni giro all'interno di ogni classe, è possibile notare come vi siano più classi il cui tempo medio del giro tende sempre ad aumentare al giro successivo rispetto al numero di classi evidenziate per il segmento K1-K2. Si può infatti osservare tale comportamento per tutte le classi sia maschili che femminili che hanno partecipato alla gara di BS, per le classi LW11 e LW12 nella gara femminile di BI, per tutte le classi partecipanti alla gara femminile di XCM e per le classi LW10.5 e LW11 nella gara femminile di XCL e per la sola classe LW11.5 nella medesima gara maschile. In particolare, si osserva un incremento maggiore al giro per la classe LW10.5 nelle gare femminili di BS e XCM e per la classe LW11 nella gara maschile di BI. Durante lo svolgersi di quest'ultima gara maschile si è osservato un aumento più marcato del tempo medio di percorrenza del segmento tra il primo e il secondo giro rispetto alla coppia secondo-terzo per le classi LW11.5 e LW12.

Si osserva come i valori di deviazione standard varino in funzione della classe, della gara e del genere degli atleti analizzati. In particolare, si osserva un'elevata deviazione standard per la classe LW10.5 nelle gare femminili di BS e XCM rispetto alle deviazioni standard delle altre classi per la medesima gara. In particolare, durante la gara di BS si osserva un aumento della deviazione standard ad ogni giro percorso. Tra le quattro gare maschili si osserva una deviazione standard più elevata per la classe LW11.5 rispetto alle altre nella gara di XCM. Nelle gare maschili di BS, BI e XCL e nella gara femminile di XCL, invece, non si osservano valori di una classe molto maggiori delle altre, ma comunque il valore di deviazione standard risulta maggiore rispetto a quello calcolato per il segmento K1-K2.

L'analisi statistica delle quattro competizioni maschili e femminili tramite il Kruskal – Wallis test ha evidenziato, come per il segmento precedente, differenze statisticamente significative solamente tra le classi femminili LW10.5 e LW12 nelle gare di BS e XCM. Nella gara maschile di BI, invece, il test ha evidenziato una perfetta corrispondenza ( $p = 1.00$ ) tra i tempi ottenuti dalla classe LW11.5 e LW12.

### 5.4.3 Total uphill – segmento K1 – K3

Nella Tabella 5.33 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K1-K3 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon sprint.

BIATHLON SPRINT								
Classe	Tempo medio donne [s]				Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri

LW 10	-	-	-	-	38.75 ± 0.00	39.19 ± 0.00	40.25 ± 0.00	39.40 ± 0.00
LW 10.5	75.84 ± 31.44	83.58 ± 40.76	86.65 ± 49.14	82.02 ± 40.42	-	-	-	-
LW 11	47.13 ± 0.00	52.19 ± 0.00	52.63 ± 0.00	50.65 ± 0.00	36.88 ± 0.00	38.56 ± 0.00	41.19 ± 0.00	38.88 ± 0.00
LW 11.5	-	-	-	-	32.16 ± 5.08	35.88 ± 7.25	36.78 ± 7.03	34.94 ± 6.45
LW 12	39.64 ± 3.33	42.18 ± 3.10	42.45 ± 3.50	41.42 ± 3.24	32.88 ± 2.87	35.25 ± 4.09	35.71 ± 4.70	34.62 ± 3.78

Tabella 5.33: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K1-K3 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BS.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.33, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K1-K3 per ogni classe.

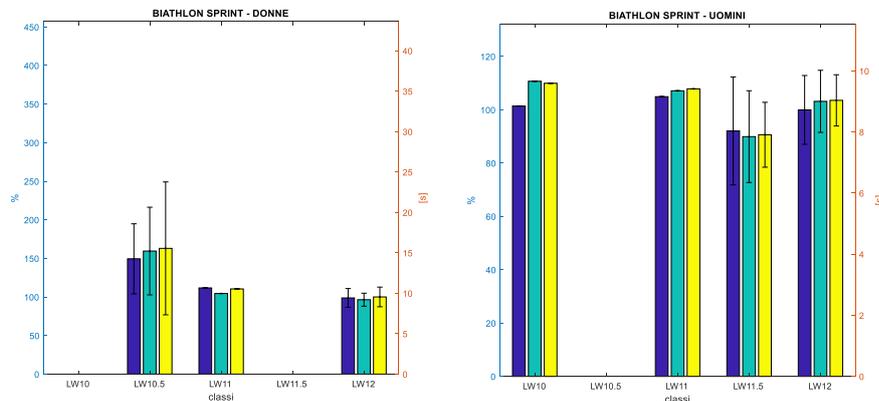


Figura 5.27: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K1-K3 per ogni giro della gara di BS e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K1-K3 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test mostra una differenza statistica per le donne ( $p = 0.03 < 0.05$ ), in particolare tra la classe LW10.5 e la classe LW12 ( $p = 0.03$ ), mentre non si trovano differenze significative comparando le altre classi. Per gli uomini invece non si sono trovate differenze statistiche tra le classi ( $p = 0.53$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.28.

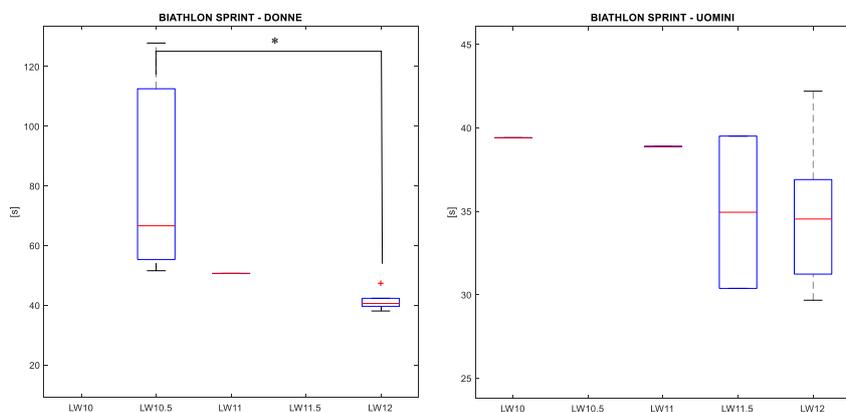


Figura 5.28: Distribuzione dei valori del segmento K1-K3 per ogni classe della gara di BS femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.34 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K1-K3 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon individual.

#### BIATHLON INDIVIDUAL

Classe	Tempo medio donne [s]					Media giri	Tempo medio uomini [s]					Media giri
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5		Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	65.16 ± 0.00	72.79 ± 0.00	70.60 ± 0.00	77.48 ± 0.00	79.60 ± 0.00	73.13 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11	46.91 ± 0.00	51.28 ± 0.00	53.85 ± 0.00	56.73 ± 0.00	59.54 ± 0.00	53.66 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	33.50 ± 6.15	33.66 ± 6.27	34.29 ± 5.13	33.82 ± 4.29	36.02 ± 6.23	34.28 ± 5.61
LW 12	38.62 ± 3.52	40.37 ± 3.33	41.56 ± 3.92	42.99 ± 4.40	44.19 ± 6.04	41.55 ± 4.11	33.80 ± 4.60	34.50 ± 3.66	35.28 ± 4.31	36.46 ± 4.34	36.13 ± 4.53	35.21 ± 4.18

Tabella 5.34: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K1-K3 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BI.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.34, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K1-K3 per ogni classe.

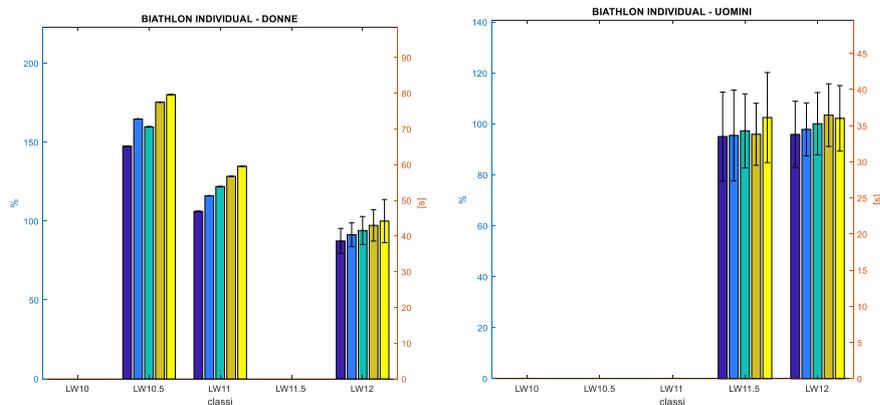


Figura 5.30; Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K1-K3 per ogni giro della gara di BI e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

ha eliminato: 29

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K1-K3 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.13$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 1.00$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.30.

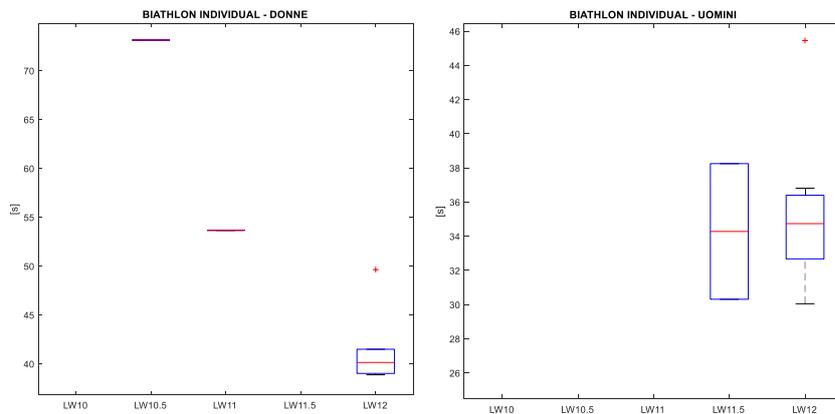


Figura 5.29; Distribuzione dei valori del segmento K1-K3 per ogni classe della gara di BI femminile (sinistra) e maschile (destra).

ha eliminato: 30

Nella Tabella 5.35 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K1-K3 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country middle.

CROSS COUNTRY MIDDLE							
Classe	Tempo medio donne [s]			Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri
LW 10	-	-	-	47.63 ± 5.83	52.66 ± 11.27	49.91 ± 6.32	50.07 ± 7.81
LW 10.5	70.24 ± 22.35	76.05 ± 26.57	73.14 ± 24.45	-	-	-	-

LW 11	51.32 ± 7.07	59.63 ± 0.00	52.14 ± 8.24	37.75 ± 1.46	39.92 ± 2.16	39.84 ± 3.34	39.17 ± 2.14
LW 11.5	-	-	-	37.07 ± 10.78	38.91 ± 9.68	38.63 ± 9.10	38.20 ± 9.85
LW 12	44.63 ± 6.27	46.78 ± 7.33	45.70 ± 6.74	37.35 ± 4.61	38.83 ± 5.04	38.76 ± 5.82	38.37 ± 4.96

Tabella 5.35: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K1-K3 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCM.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.35, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K1-K3 per ogni classe.

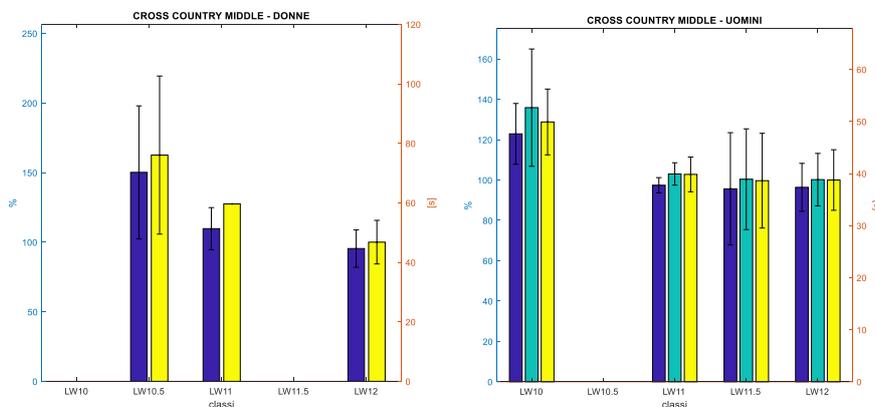


Figura 5.31: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K1-K3 per ogni giro della gara di XCM e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K1-K3 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test mostra una differenza statistica per le donne ( $p = 0.03 < 0.05$ ), in particolare tra la classe LW10.5 e la classe LW12 ( $p = 0.02$ ), mentre non si trovano differenze significative comparando le altre classi. Per gli uomini invece non si sono trovate differenze statistiche tra le classi ( $p = 0.26$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.32.

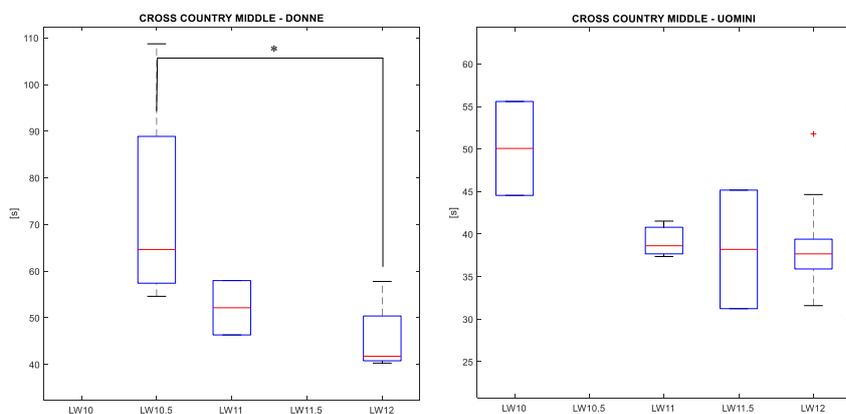


Figura 5.32: Distribuzione dei valori del segmento K1-K3 per ogni classe della gara di XCM femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.36 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K1-K3 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country long.

CROSS COUNTRY LONG											
Classe	Tempo medio donne [s]					Tempo medio uomini [s]					
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	Media giri
LW 10	-	-	-	-	-	46.50 ± 6.63	45.28 ± 6.50	49.12 ± 9.81	52.41 ± 16.31	47.97 ± 8.97	48.25 ± 9.64
LW 10.5	53.18 ± 4.51	53.90 ± 7.82	54.59 ± 4.99	56.81 ± 8.84	54.62 ± 6.54	-	-	-	-	-	-
LW 11	43.62 ± 0.00	46.78 ± 4.11	48.53 ± 5.96	48.97 ± 8.44	48.08 ± 6.19	36.60 ± 1.54	36.60 ± 1.73	38.50 ± 3.62	38.89 ± 3.65	38.21 ± 1.64	37.56 ± 2.10
LW 11.5	-	-	-	-	-	34.34 ± 6.94	34.93 ± 6.27	36.50 ± 7.07	36.84 ± 7.38	37.12 ± 9.10	35.95 ± 7.35
LW 12	41.76 ± 6.45	43.22 ± 6.97	42.66 ± 6.06	43.67 ± 6.85	42.57 ± 6.51	34.74 ± 3.69	33.94 ± 3.66	35.08 ± 3.50	36.03 ± 4.82	36.64 ± 4.31	35.26 ± 3.84

Tabella 5.36: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K1-K3 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCL.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.36, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K1-K3 per ogni classe.

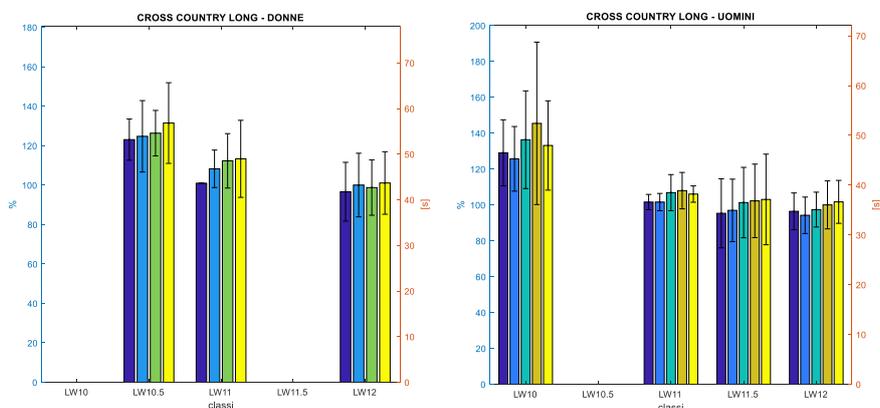


Figura 5.33: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K1-K3 per ogni giro della gara di XCL e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K1-K3 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.19$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.07$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.34.

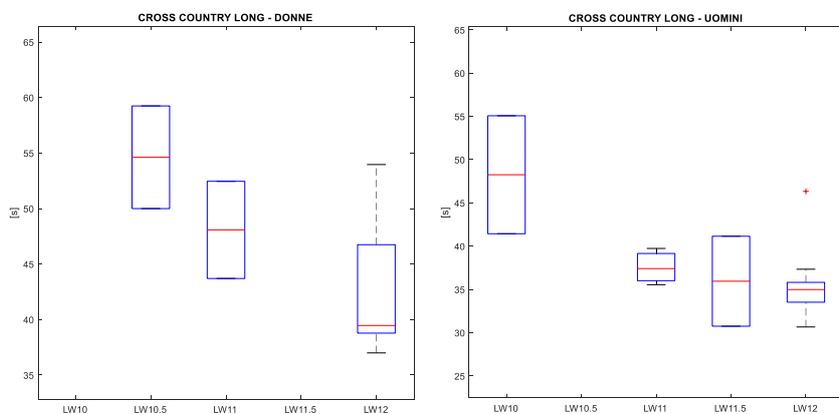


Figura 5.34: Distribuzione dei valori del segmento K1-K3 per ogni classe della gara di XCL femminile (sinistra) e maschile (destra).

In generale, valutando la somma dei tempi medi dei due segmenti in salita è possibile osservare come vi siano maggiori differenze del tempo medio di percorrenza del segmento K1-K3 tra le classi del genere femminile rispetto a quelle del genere maschile per le gare di BS, BI e XCM. In particolare, si può osservare come i tempi medi di ogni giro della classe LW10.5 nelle tre gare presentino un incremento di circa il 50 % rispetto al tempo della classe di riferimento LW12. Si sottolinea comunque che in campo femminile i tempi medi migliori di ogni giro e per ogni gara sono stati sempre ottenuti dalla classe LW12. Durante le

competizioni maschili di XCM e XCL si può osservare come i tempi medi ottenuti dalla classe LW10 presentino un aumento temporale medio compreso tra il 20% e il 40% rispetto al tempo di riferimento della classe LW12. Infine, come già evidenziato per il segmento K2-K3, i tempi medi al giro delle classi LW11.5 e LW12 ottenuti durante la gara di BI maschili sono tra loro molto simili, non evidenziando quindi nessuna differenza tra le classi.

Osservando l'andamento medio dei tempi ad ogni giro all'interno di ogni classe, è possibile notare come vi siano alcune classi il cui tempo medio del giro tende sempre ad aumentare al giro successivo, mentre come altre classi presentino un andamento più altalenante dei tempi del segmento. Nelle gare femminili si osserva tale andamento del segmento durante la competizione per la classe LW10.5 nella gara di BS, per le classi LW11 e LW12 nella gara di BI, per tutte e tre le classi partecipanti alla gara di XCM ed infine per le classi LW10.5 e LW11 nella gara di XCL. Per quanto riguarda le gare maschili, si può osservare questo comportamento durante la gara di BS per le classi LW11 e LW12 e per la sola classe LW11.5 nella gara di XCL. Per tutte e tre le classi è comunque necessario sottolineare come l'aumento dei tempi al giro sia molto ridotto e comunque minore rispetto agli aumenti osservati per le classi femminili.

Si osserva come i valori di deviazione standard varino in funzione della classe, della gara e del genere degli atleti analizzati. In particolare, nelle gare femminili di BS e XCM si osserva un'elevata deviazione standard per la classe LW10.5, pari a circa la media del tempo medio della stessa classe e circa pari al tempo medio impiegato dalla classe LW12 per percorrere l'intero segmento. In campo maschile si osserva una maggiore deviazione standard nella gara di XCM per la classe LW11.5 e nella gara di XCL per le classi LW10 e LW11.5 rispetto alle altre classi partecipanti.

L'analisi statistica delle quattro competizioni maschili e femminili tramite il Kruskal – Wallis test ha evidenziato, come per i due segmenti separati, differenze statisticamente significative solamente tra le classi femminili LW10.5 e LW12 nelle gare di BS e XCM. Nella gara maschile di BI, invece, il test ha evidenziato una perfetta corrispondenza ( $p = 1.00$ ) tra i tempi ottenuti dalla classe LW11.5 e LW12.

#### 5.4.4 Flat – segmento K4 – K5

Nella Tabella 5.37 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K4-K5 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon sprint. A causa di un problema tecnico non si sono rilevati i tempi di passaggio in K4 durante il giro 3 e ciò non ha permesso il calcolo del tempo per il segmento K4-K5.

Classe	Tempo medio donne [s]				Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri
LW 10	-	-	-	-	17.51 ± 0.00	18.48 ± 0.00	-	17.99 ± 0.00
LW 10.5	29.81 ± 9.53	31.46 ± 9.08	-	30.64 ± 9.30	-	-	-	-
LW 11	23.66 ± 0.00	25.80 ± 0.00	-	24.73 ± 0.00	18.87 ± 0.00	20.21 ± 0.00	-	19.54 ± 0.00
LW 11.5	-	-	-	-	17.82 ± 2.77	18.41 ± 2.24	-	18.11 ± 2.51
LW 12	20.18 ± 1.76	20.89 ± 1.63	-	20.54 ± 1.68	17.95 ± 1.77	18.07 ± 1.91	-	18.01 ± 1.82

Tabella 5.37: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K4-K5 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BS.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.37, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K4-K5 per ogni classe.

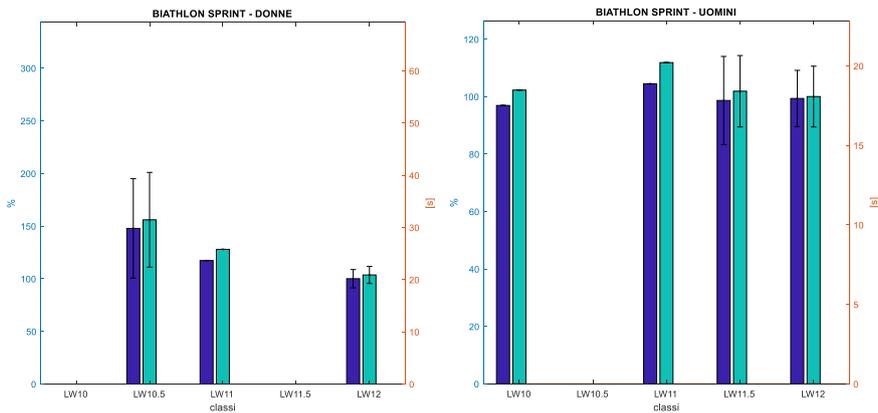


Figura 5.35: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K4-K5 per ogni giro della gara di BS e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K4-K5 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test mostra una differenza statistica per le donne ( $p = 0.04 < 0.05$ ), in particolare tra la classe LW10.5 e la classe LW12 ( $p = 0.04$ ), mentre non si trovano differenze significative comparando le altre classi. Per gli uomini invece non si sono trovate differenze statistiche tra le classi ( $p = 0.72$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.36.

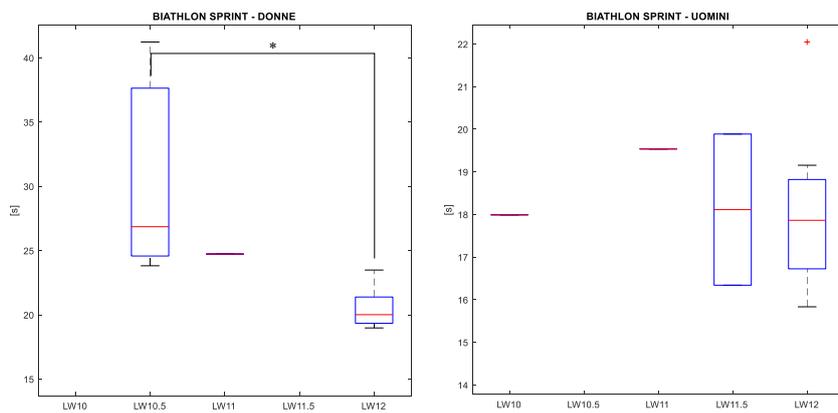


Figura 5.36: Distribuzione dei valori del segmento K4-K5 per ogni classe della gara di BS femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.38 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K4-K5 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon individual.

BIATHLON INDIVIDUAL												
Classe	Tempo medio donne [s]					Media giri	Tempo medio uomini [s]					Media giri
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5		Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	27.59 ± 0.00	28.47 ± 0.00	29.47 ± 0.00	28.47 ± 0.00	31.35 ± 0.00	29.07 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11	22.97 ± 0.00	23.59 ± 0.00	24.16 ± 0.00	25.66 ± 0.00	25.79 ± 0.00	24.43 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	17.38 ± 1.99	17.75 ± 2.26	17.91 ± 1.68	17.75 ± 1.90	18.56 ± 2.70	17.87 ± 2.11
LW 12	20.17 ± 1.10	19.75 ± 0.55	20.31 ± 0.58	20.82 ± 1.10	20.91 ± 1.76	20.39 ± 0.86	17.83 ± 1.67	17.84 ± 1.51	17.87 ± 1.79	18.24 ± 1.60	18.65 ± 2.09	18.08 ± 1.69

Tabella 5.38: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K4-K5 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BI.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.38, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K4-K5 per ogni classe.

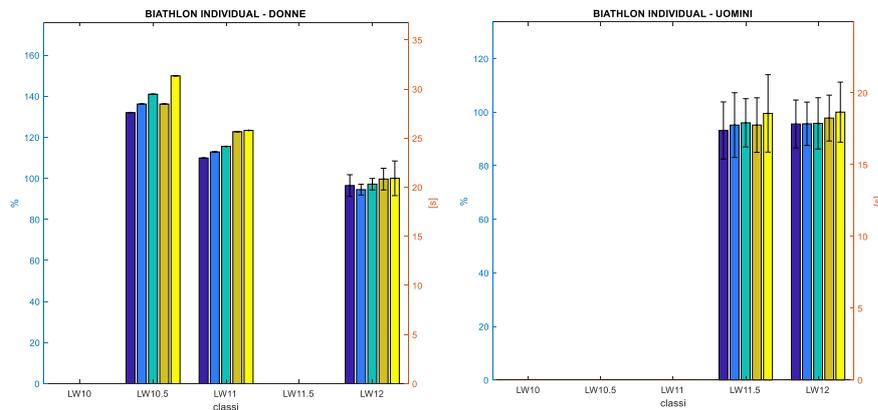


Figura 5.37: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K4-K5 per ogni giro della gara di BI e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K4-K5 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.13$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.83$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.38.

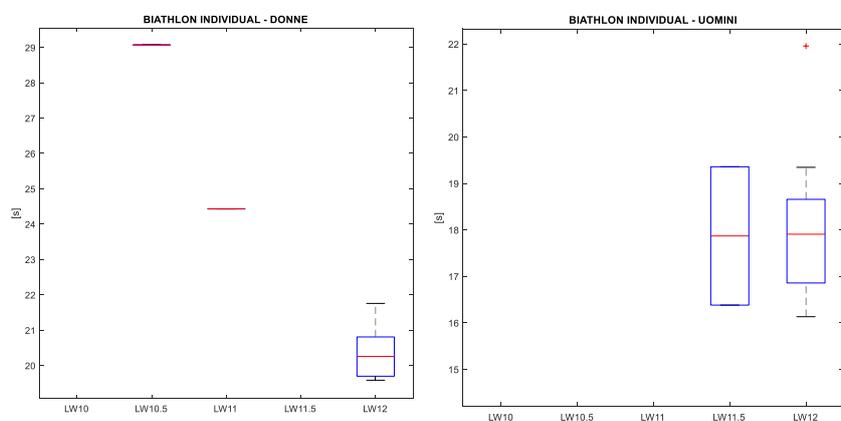


Figura 5.38: Distribuzione dei valori del segmento K4-K5 per ogni classe della gara di BI femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.39 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K4-K5 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country middle.

#### CROSS COUNTRY MIDDLE

Classe	Tempo medio donne [s]			Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri
LW 10	-	-	-	21.92 ± 4.33	22.33 ± 4.73	22.92 ± 3.36	22.39 ± 4.14
LW 10.5	29.22 ± 5.29	28.64 ± 5.09	28.93 ± 5.18	-	-	-	-
LW 11	23.05 ± 2.74	22.64 ± 3.40	22.84 ± 3.07	20.13 ± 0.07	19.30 ± 0.12	19.36 ± 0.27	19.60 ± 0.12
LW 11.5	-	-	-	19.30 ± 3.18	18.67 ± 3.18	19.05 ± 2.29	19.00 ± 2.89
LW 12	21.72 ± 1.40	21.92 ± 1.95	21.82 ± 1.66	19.50 ± 2.15	19.41 ± 2.41	19.52 ± 1.94	19.48 ± 2.12

Tabella 5.39: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K4-K5 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCM.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.39, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K4-K5 per ogni classe.

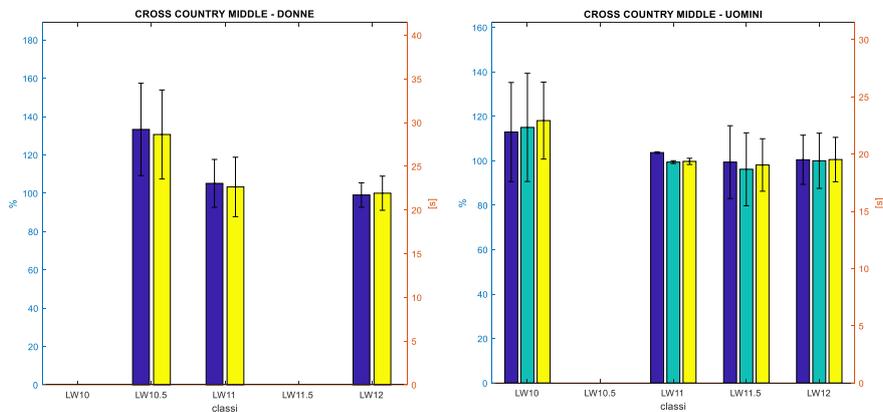


Figura 5.39: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K4-K5 per ogni giro della gara di XCM e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K4-K5 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test mostra una differenza statistica per le donne ( $p = 0.03 < 0.05$ ), in particolare tra la classe LW10.5 e la classe LW12 ( $p = 0.02$ ), mentre non si trovano differenze significative comparando le altre classi. Per gli uomini invece non si sono trovate differenze statistiche tra le classi ( $p = 0.75$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.40.

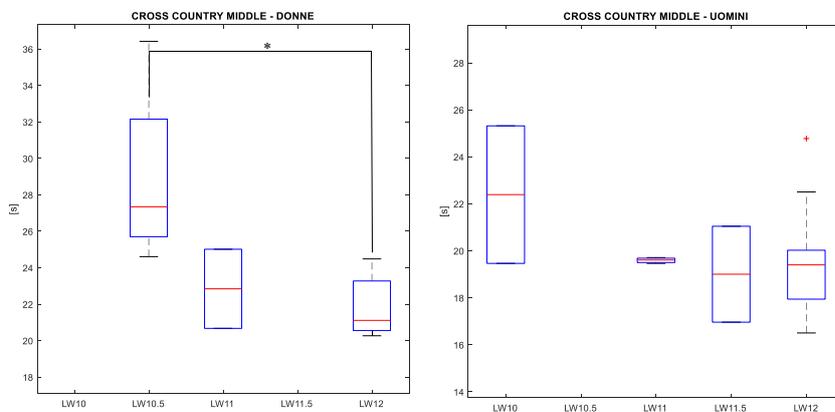


Figura 5.40: Distribuzione dei valori del segmento K4-K5 per ogni classe della gara di XCM femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.40 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K4-K5 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country long.

CROSS COUNTRY LONG										
Classe	Tempo medio donne [s]				Media giri	Tempo medio uomini [s]				
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4		Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5

LW 10	-	-	-	-	-	20.34 ± 3.23	21.31 ± 4.60	20.63 ± 3.18	21.94 ± 4.86	21.47 ± 4.02	21.14 ± 3.98
LW 10.5	22.31 ± 1.50	23.72 ± 1.73	24.25 ± 2.92	24.07 ± 1.50	23.59 ± 1.91	-	-	-	-	-	-
LW 11	21.50 ± 3.00	21.44 ± 2.65	22.50 ± 2.30	22.47 ± 3.23	21.98 ± 2.80	19.27 ± 0.56	19.02 ± 0.63	19.19 ± 1.03	19.04 ± 1.44	19.63 ± 0.06	19.23 ± 0.64
LW 11.5	-	-	-	-	-	17.72 ± 2.08	18.44 ± 2.83	18.44 ± 2.03	18.41 ± 1.37	18.72 ± 2.52	18.34 ± 2.17
LW 12	20.25 ± 2.12	20.31 ± 1.83	20.22 ± 2.07	20.64 ± 1.90	20.35 ± 1.94	17.80 ± 1.60	17.98 ± 1.79	18.36 ± 1.49	18.33 ± 1.81	18.38 ± 1.73	18.17 ± 1.64

Tabella 5.40: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K4-K5 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCL.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.40, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K4-K5 per ogni classe.

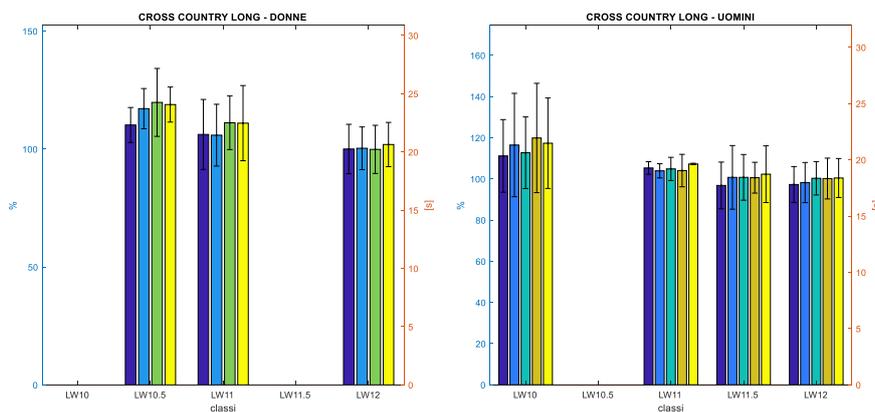


Figura 5.41: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K4-K5 per ogni giro della gara di XCL e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K4-K5 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.14$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.23$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.42.

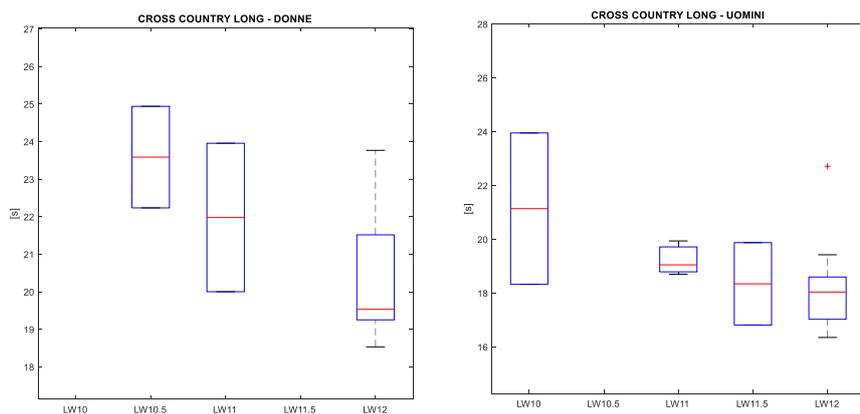


Figura 5.42: Distribuzione dei valori del segmento K4-K5 per ogni classe della gara di XCL femminile (sinistra) e maschile (destra).

Dai dati presenti nelle tabelle e mostrati negli istogrammi è possibile osservare come vi siano maggiori differenze del tempo medio di percorrenza del segmento K4-K5 tra le classi del genere femminile rispetto a quelle del genere maschile per le gare di BS, BI e XCM. In particolare, si può osservare come i tempi medi di ogni giro della classe LW10.5 nella gara femminile di BS abbiano un aumento temporale di circa il 50% rispetto al tempo della classe di riferimento LW12, di circa il 40% nella gara di BI e di circa il 35% nella gara di XCM. Si sottolinea comunque che in campo femminile i tempi medi migliori di ogni giro e per ogni gara sono stati sempre ottenuti dalla classe LW12. Durante la gara femminile di XCL si sono invece registrati dei parziali al giro abbastanza simili tra tutte e tre le classi partecipanti. Durante tutte e quattro le competizioni maschili, invece, si può osservare come i tempi medi ottenuti dalle classi partecipanti siano abbastanza simili tra loro. Infine, si può notare come i tempi medi al giro di ogni classe durante la gara femminile e maschile di XCM siano mediamente più alti rispetto a quelli delle altre tre competizioni, evidenziando quindi una possibile influenza delle condizioni meteo su tali prestazioni.

Osservando l'andamento medio dei tempi di ogni giro all'interno di ogni classe, è possibile notare come vi siano alcune classi il cui tempo medio del giro tende sempre ad aumentare al giro successivo, mentre come altre classi non presentino un continuo aumento del tempo medio col passare dei giri. Si osserva tale comportamento per ogni classe femminile e maschile partecipante alla gara di BS, evidenziando comunque un incremento molto piccolo dei tempi parziali per entrambe le classi LW12. Durante le gare di BI e XCM si sono osservate piccolissimi aumenti dei tempi al giro per le classi femminili LW11 (BI) e LW12 (XCM) e per le classi maschili LW12 (BI) e LW10 (XCM). Durante le gare di XCL non si è invece mai presentato un aumento costante dell'intertempo al passare dei giri né in campo femminile né maschile.

Si osserva inoltre come i valori di deviazione standard varino in funzione della classe, della gara e del genere degli atleti analizzati. In particolare, si osserva un'elevata deviazione standard per la classe LW10.5 nella gara femminile di BS rispetto alle deviazioni standard delle altre classi per la medesima gara. Si osserva un aumento generale della deviazione standard di ogni classe durante le gare femminili e maschili di XCM: in particolare si osservano valori elevati di deviazione standard per la classe femminile LW10.5 e per quella maschile LW10, mentre non si osservano aumenti particolari della deviazione standard della classe maschile LW11 rispetto alle altre tre competizioni. Nella gara maschile di XCL, infine, si osserva un valore di deviazione standard della classe LW10 di circa 2-3 secondi maggiore rispetto a quelli delle altre classi.

L'analisi statistica delle quattro competizioni maschili e femminili tramite il Kruskal – Wallis test ha evidenziato differenze statisticamente significative solamente tra le classi femminili LW10.5 e LW12 nelle gare di BS e XCM. L'analisi non ha evidenziato nessuna differenza statisticamente significativa tra le classi delle quattro gare maschili.

#### 5.4.5 Curve – segmento K5 – K6

Nella Tabella 5.41 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K5-K6 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon sprint.

Classe	Tempo medio donne [s]				Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri
LW 10	-	-	-	-	8.85 ± 0.00	9.66 ± 0.00	9.60 ± 0.00	9.37 ± 0.00
LW 10.5	14.26 ± 4.33	15.22 ± 5.43	15.55 ± 8.22	15.01 ± 5.98	-	-	-	-
LW 11	10.66 ± 0.00	9.97 ± 0.00	10.54 ± 0.00	10.39 ± 0.00	9.16 ± 0.00	9.35 ± 0.00	9.41 ± 0.00	9.31 ± 0.00
LW 11.5	-	-	-	-	8.04 ± 1.77	7.85 ± 1.50	7.91 ± 1.06	7.93 ± 1.44
LW 12	9.42 ± 1.16	9.20 ± 0.80	9.54 ± 1.22	9.39 ± 1.03	8.72 ± 1.13	9.00 ± 1.02	9.04 ± 0.84	8.92 ± 0.95

Tabella 5.41: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K5-K6 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BS.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.41, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K5-K6 per ogni classe.

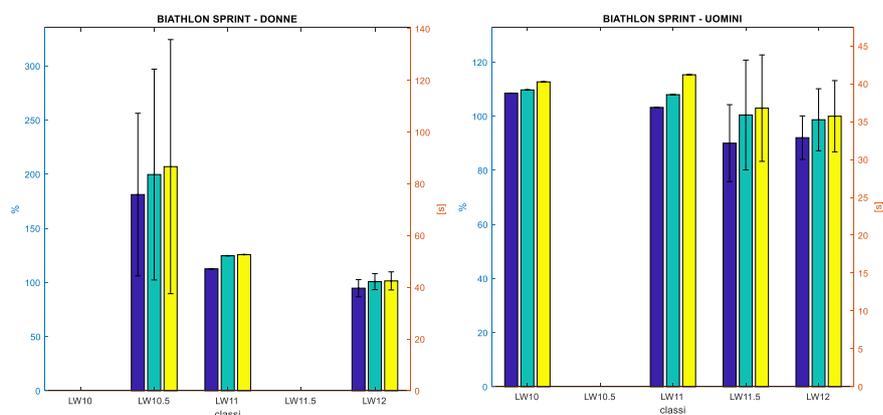


Figura 5.43: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K5-K6 per ogni giro della gara di BS e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K5-K6 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.08$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.59$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.44.

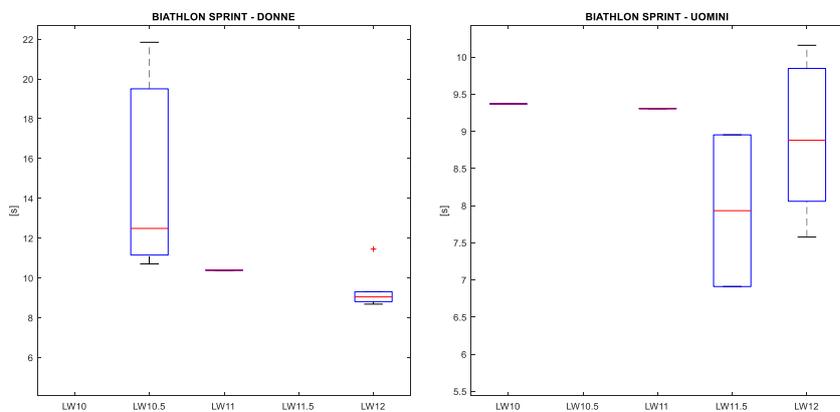


Figura 5.44: Distribuzione dei valori del segmento K5-K6 per ogni classe della gara di BS femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.42 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K5-K6 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon individual.

#### BIATHLON INDIVIDUAL

Classe	Tempo medio donne [s]					Media giri	Tempo medio uomini [s]					Media giri
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5		Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

LW 10.5	12.60 ± 0.00	13.41 ± 0.00	12.60 ± 0.00	14.53 ± 0.00	14.97 ± 0.00	13.62 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11	10.53 ± 0.00	11.04 ± 0.00	11.17 ± 0.00	12.04 ± 0.00	12.22 ± 0.00	11.40 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	8.04 ± 1.68	8.92 ± 1.06	8.60 ± 2.56	7.89 ± 1.46	8.92 ± 1.86	8.47 ± 1.72
LW 12	9.75 ± 1.16	9.38 ± 0.81	9.46 ± 0.91	9.84 ± 1.00	9.96 ± 0.88	9.68 ± 0.90	8.90 ± 0.76	9.12 ± 0.89	9.43 ± 1.17	9.05 ± 1.02	9.57 ± 1.08	9.21 ± 0.91

Tabella 5.42: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K5-K6 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BI.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.42, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K5-K6 per ogni classe.

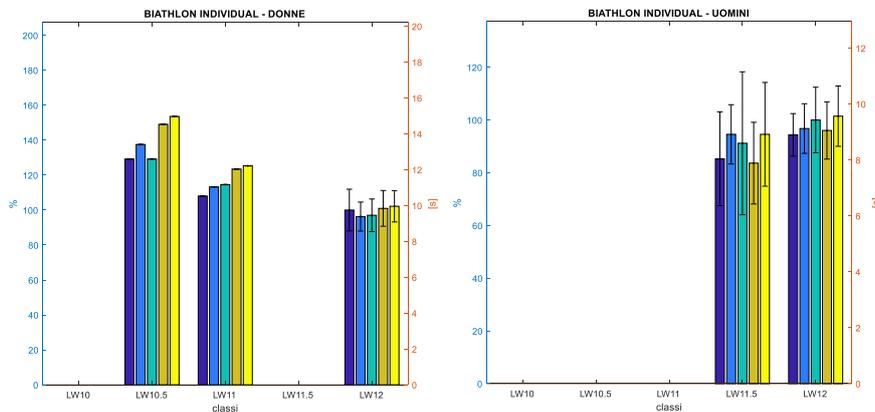


Figura 5.45: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K5-K6 per ogni giro della gara di BI e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K5-K6 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.21$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.52$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.46.

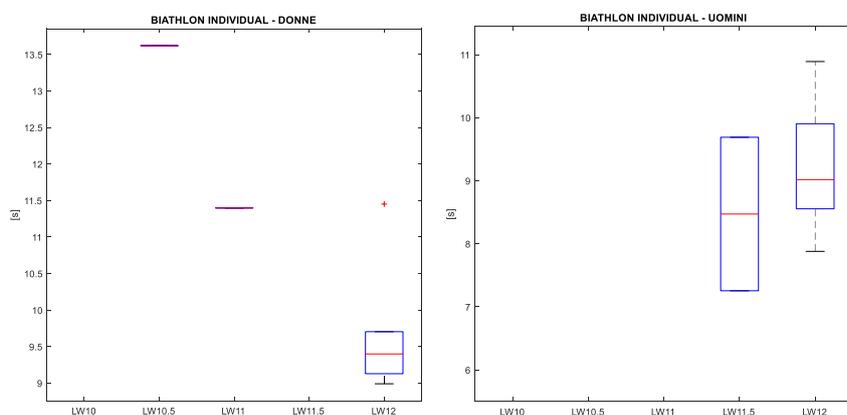


Figura 5.46: Distribuzione dei valori del segmento K5-K6 per ogni classe della gara di BI femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.43 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K5-K6 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country middle.

#### CROSS COUNTRY MIDDLE

Classe	Tempo medio donne [s]			Tempo medio uomini [s]			Media giri
	Giro 1	Giro 2	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	
LW 10	-	-	-	9.95 ± 0.88	9.83 ± 1.33	9.86 ± 0.39	9.88 ± 0.87
LW 10.5	13.52 ± 3.54	13.04 ± 3.33	13.28 ± 3.43	-	-	-	-
LW 11	10.42 ± 0.93	10.17 ± 1.28	10.30 ± 1.11	9.02 ± 0.49	8.47 ± 0.31	9.01 ± 0.41	8.83 ± 0.19
LW 11.5	-	-	-	7.98 ± 1.46	8.08 ± 2.12	7.89 ± 1.77	7.98 ± 1.78
LW 12	9.51 ± 1.18	9.74 ± 1.33	9.63 ± 1.23	8.97 ± 1.12	9.03 ± 1.18	9.25 ± 1.23	9.08 ± 1.14

Tabella 5.43: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K5-K6 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCM.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.43, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K5-K6 per ogni classe.

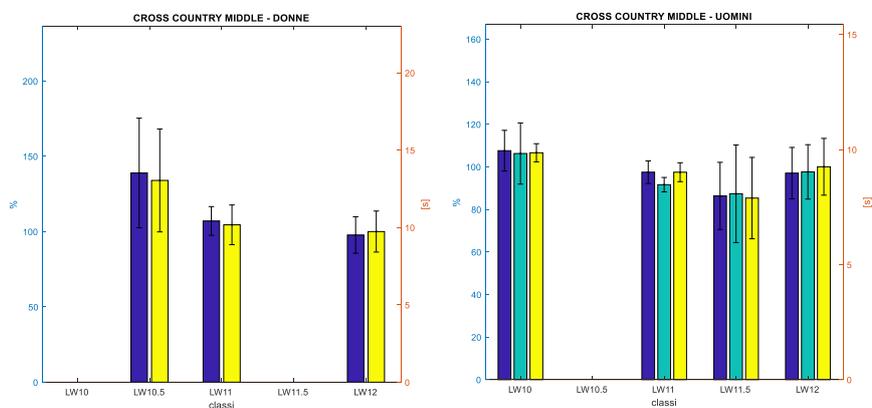


Figura 5.47: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K5-K6 per ogni giro della gara di XCM e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K5-K6 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test mostra una differenza statistica per le donne ( $p = 0.04 < 0.05$ ), in particolare tra la classe LW10.5 e la classe LW12 ( $p = 0.03$ ), mentre non si trovano differenze significative comparando le altre classi. Per gli uomini invece non si sono trovate differenze statistiche tra le classi ( $p = 0.33$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.48.

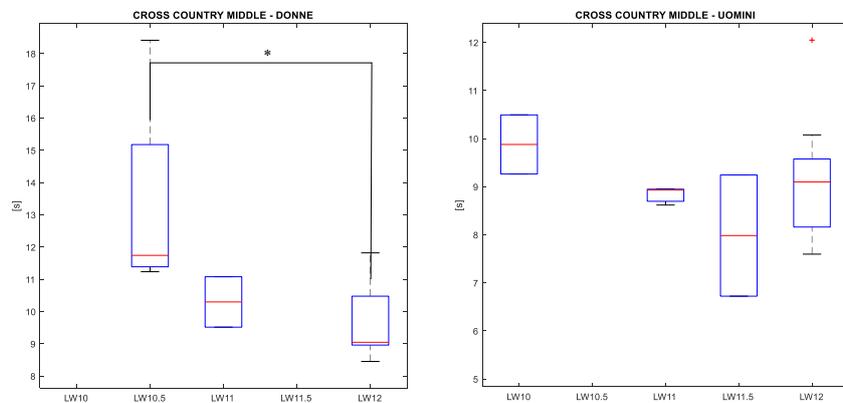


Figura 5.48: Distribuzione dei valori del segmento K5-K6 per ogni classe della gara di XCM femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.44 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K5-K6 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country long.

<b>CROSS COUNTRY LONG</b>		
<u>Classe</u>	Tempo medio donne [s]	Tempo medio uomini [s]

	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	Media giri
LW 10	-	-	-	-	-	9.15 ± 1.19	9.25 ± 0.80	9.74 ± 0.09	9.90 ± 1.28	9.71 ± 0.40	9.55 ± 0.75
LW 10.5	11.21 ± 0.66	11.24 ± 0.52	12.52 ± 2.87	12.05 ± 0.71	11.75 ± 1.19	-	-	-	-	-	-
LW 11	9.78 ± 0.84	10.03 ± 0.57	10.18 ± 0.18	10.46 ± 0.93	10.11 ± 0.54	8.52 ± 0.35	8.45 ± 0.44	8.93 ± 0.75	8.72 ± 0.25	8.95 ± 0.04	8.72 ± 0.34
LW 11.5	-	-	-	-	-	7.59 ± 1.37	7.90 ± 1.28	7.62 ± 1.41	7.97 ± 1.10	7.87 ± 1.42	7.79 ± 1.32
LW 12	9.05 ± 1.03	8.69 ± 0.85	9.19 ± 1.30	9.53 ± 1.40	9.11 ± 1.13	8.59 ± 1.03	8.33 ± 1.17	8.97 ± 1.54	9.02 ± 1.32	8.85 ± 1.32	8.75 ± 1.22

Tabella 5.44: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K5-K6 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCL.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.44, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K5-K6 per ogni classe.

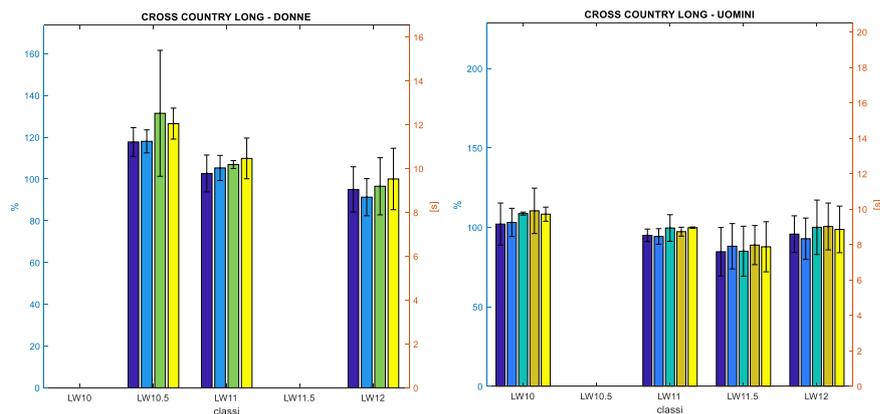


Figura 5.49: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K5-K6 per ogni giro della gara di XCL e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K5-K6 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.08$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.35$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.50.

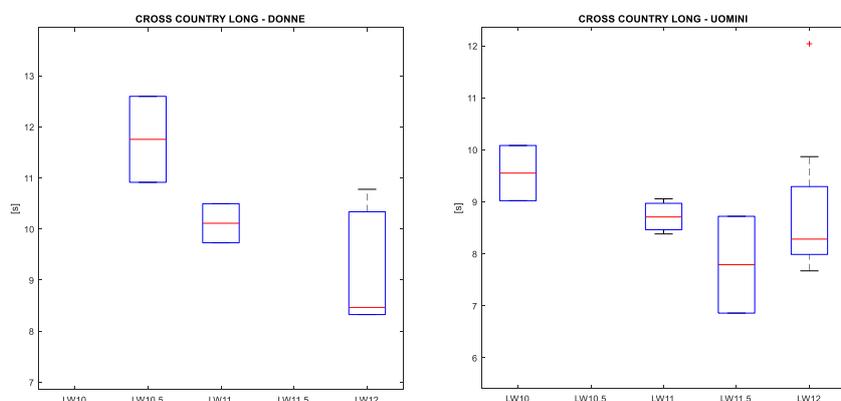


Figura 5.50: Distribuzione dei valori del segmento K5-K6 per ogni classe della gara di XCL femminile (sinistra) e maschile (destra).

Dai dati presenti nelle tabelle e mostrati negli istogrammi è possibile osservare come vi siano maggiori differenze del tempo medio di percorrenza del segmento K5-K6 tra le classi del genere femminile rispetto a quelle del genere maschile per le gare di BS, BI e XCM. In particolare, si può osservare come i tempi medi di ogni giro della classe LW10.5 nella gara femminile di BS siano incrementati del 80% - 100% rispetto al tempo della classe di riferimento LW12, siano incrementati di circa il 50% durante la gara di BI e di circa il 40% durante la gara di XCM. Si sottolinea comunque che in campo femminile i tempi medi migliori di ogni giro e per ogni gara sono stati sempre ottenuti dalla classe LW12. Nelle competizioni maschili di BS e BI non si sono evidenziate differenze temporali significative tra le classi partecipanti alle due competizioni. È invece da notare come sia nella gara di XCM che di XCL i tempi medi migliori siano stati ottenuti dalla classe LW11.5: tale classe è stata in media più veloce di circa 1 secondo rispetto alle altre tre classi partecipanti che invece hanno registrato tempi molto simili tra loro.

Osservando l'andamento medio dei tempi di ogni giro all'interno di ogni classe, è possibile notare come vi siano alcune classi il cui tempo medio del giro tende sempre ad aumentare al giro successivo, mentre come altre classi non presentino un continuo aumento del tempo medio col passare dei giri. Si può osservare questo comportamento in ogni classe maschile e femminile partecipante alla gara di BS, con la classe femminile LW10.5 che presenta gli incrementi al giro maggiori. Durante le altre tre gare, invece, si sono registrate poche classi con un andamento incrementale del parziale al giro. In particolare, si è osservato un leggero aumento per la classe femminile LW11 durante le gare di BI e XCL, per le classi femminili e maschili LW12 durante la gara di XCM. gli incrementi sono risultati comunque molto piccoli e poco significativi.

Si osserva come i valori di deviazione standard varino in funzione della classe, della gara e del genere degli atleti analizzati. In particolare, si osserva un'elevata deviazione standard per la classe LW10.5 durante le gare femminili di BS, XCM e XCL rispetto alle deviazioni standard delle altre classi per la medesima gara. In particolare, i valori maggiori si sono registrati durante la gara di BS, mentre durante la gara di XCL si è evidenziato un aumento del valore della deviazione standard solamente durante il terzo giro. Durante le quattro competizioni maschili, invece, non si sono registrati valori di deviazione standard elevati rispetto alle altre classi.

L'analisi statistica delle quattro competizioni maschili e femminili tramite il Kruskal – Wallis test ha evidenziato differenze statisticamente significative solamente tra le classi femminili LW10.5 e LW12 nella gara di XCM. Nelle gare maschili l'analisi statistica non ha invece evidenziato nessuna differenza significativa.

#### 5.4.6 Downhill – segmento K7 – K8

All'interno di questo paragrafo non è stato purtroppo possibile riportare i valori temporali di ogni giro per la gara di BS sia maschile che femminile a causa di problemi di rilevazione temporale del passaggio degli atleti nel punto K7.

Nella Tabella 5.45 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K7-K8 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di biathlon individual.

BIATHLON INDIVIDUAL												
Classe	Tempo medio donne [s]						Tempo medio uomini [s]					
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	Media giri
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	7.19 ± 0.00	7.37 ± 0.00	7.38 ± 0.00	7.50 ± 0.00	7.62 ± 0.00	7.41 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11	7.63 ± 0.00	7.56 ± 0.00	7.50 ± 0.00	7.25 ± 0.00	7.06 ± 0.00	7.40 ± 0.00	-	-	-	-	-	-
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	6.06 ± 0.26	6.06 ± 0.27	6.37 ± 0.27	6.34 ± 0.31	6.59 ± 0.31	6.29 ± 0.28
LW 12	6.88 ± 0.47	6.58 ± 0.19	6.55 ± 0.31	6.58 ± 0.24	6.62 ± 0.25	6.64 ± 0.22	6.09 ± 0.29	6.09 ± 0.36	6.19 ± 0.32	6.16 ± 0.40	6.25 ± 0.41	6.16 ± 0.34

Tabella 5.45: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K7-K8 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di BI.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.45, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K7-K8 per ogni classe.

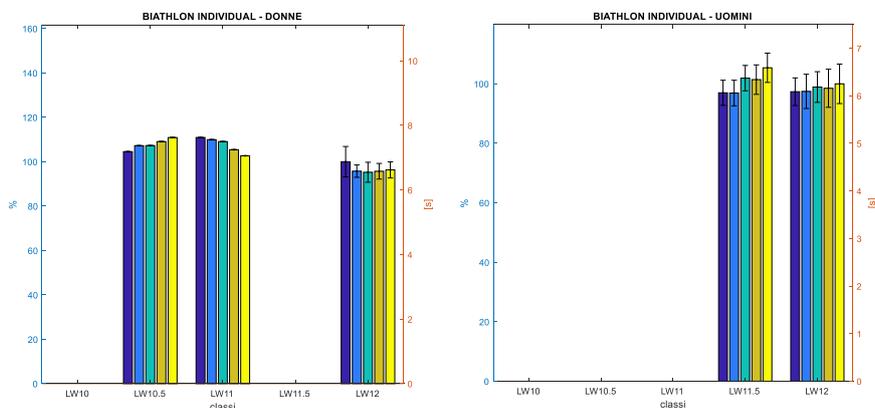


Figura 5.51: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K7-K8 per ogni giro della gara di BI e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K7-K8 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.13$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.52$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.52.

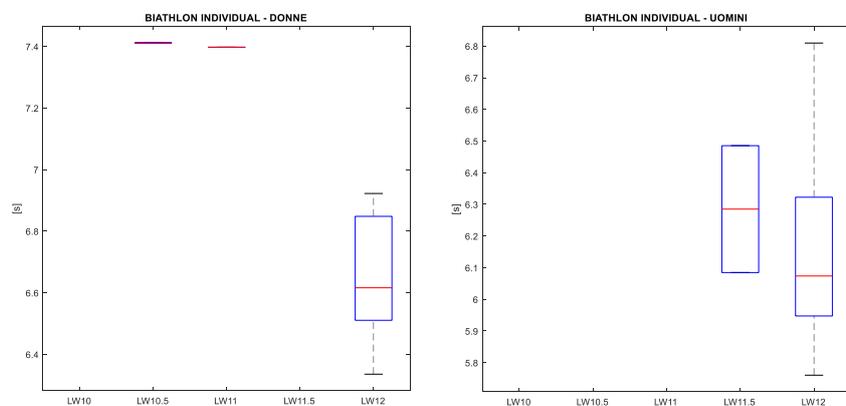


Figura 5.52: Distribuzione dei valori del segmento K7-K8 per ogni classe della gara di BI femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.46 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K7-K8 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country middle.

### CROSS COUNTRY MIDDLE

Classe	Tempo medio donne [s]			Tempo medio uomini [s]			
	Giro 1	Giro 2	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Media giri
LW 10	-	-	-	6.22 ± 0.00	6.40 ± 0.27	6.37 ± 0.22	6.33 ± 0.16
LW 10.5	7.08 ± 1.10	7.12 ± 1.02	7.10 ± 1.05	-	-	-	-
LW 11	7.00 ± 1.01	6.81 ± 0.84	6.91 ± 0.93	6.01 ± 0.26	6.11 ± 0.32	6.05 ± 0.15	6.06 ± 0.16
LW 11.5	-	-	-	5.84 ± 0.27	5.88 ± 0.31	5.84 ± 0.53	5.85 ± 0.37
LW 12	6.13 ± 0.21	6.20 ± 0.22	6.17 ± 0.21	5.83 ± 0.60	5.87 ± 0.38	5.95 ± 0.38	5.88 ± 0.42

Tabella 5.46: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K7-K8 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCM.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.46, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K7-K8 per ogni classe.

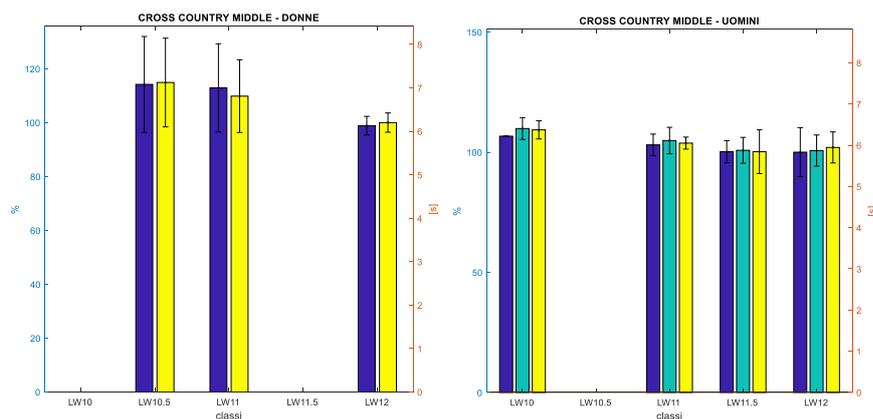


Figura 5.53: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K7-K8 per ogni giro della gara di XCM e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K7-K8 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.13$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.18$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.54.

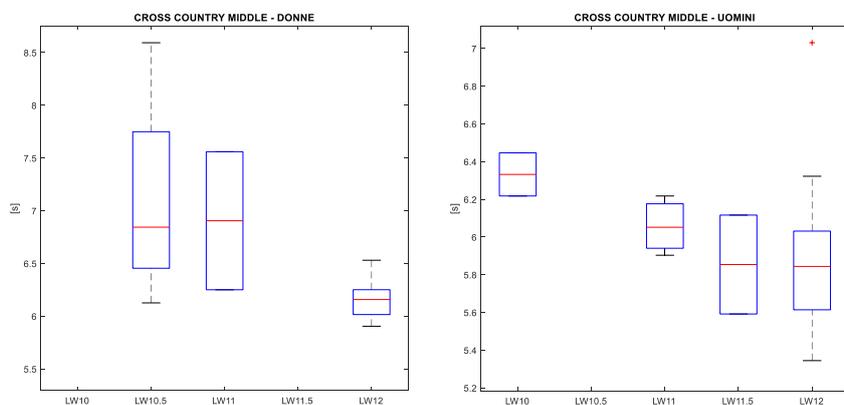


Figura 5.54: Distribuzione dei valori del segmento K7-K8 per ogni classe della gara di XCM femminile (sinistra) e maschile (destra).

Nella Tabella 5.47 si riportano i valori temporali medi di percorrenza del tratto K7-K8 sia per gli uomini che per le donne registrati durante la competizione di cross country long.

#### CROSS COUNTRY LONG

Classe	Tempo medio donne [s]					Tempo medio uomini [s]					
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Media giri	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	Media giri
LW 10	-	-	-	-	-	6.40 ± 0.36	6.49 ± 0.75	6.21 ± 0.18	6.59 ± 0.79	6.59 ± 0.62	6.45 ± 0.54
LW 10.5	6.53 ± 0.18	6.65 ± 0.08	6.56 ± 0.05	6.81 ± 0.31	6.63 ± 0.04	-	-	-	-	-	-
LW 11	6.62 ± 0.49	6.46 ± 0.18	6.46 ± 0.09	6.74 ± 0.49	6.57 ± 0.31	6.27 ± 0.17	6.05 ± 0.13	6.15 ± 0.06	6.08 ± 0.12	6.29 ± 0.13	6.17 ± 0.08
LW 11.5	-	-	-	-	-	6.06 ± 0.31	6.02 ± 0.26	6.15 ± 0.18	6.34 ± 0.26	6.30 ± 0.40	6.17 ± 0.28
LW 12	6.42 ± 0.34	6.38 ± 0.24	6.33 ± 0.28	6.32 ± 0.26	6.36 ± 0.25	5.88 ± 0.37	5.94 ± 0.31	6.01 ± 0.36	5.95 ± 0.41	5.97 ± 0.44	5.95 ± 0.34

Tabella 5.47: Tempo di percorrenza medio e deviazione standard del segmento K7-K8 per le classi maschili e femminili partecipanti alla gara di XCL.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai dati in Tabella 5.47, rappresentanti l'andamento temporale medio per ogni giro del segmento K7-K8 per ogni classe.

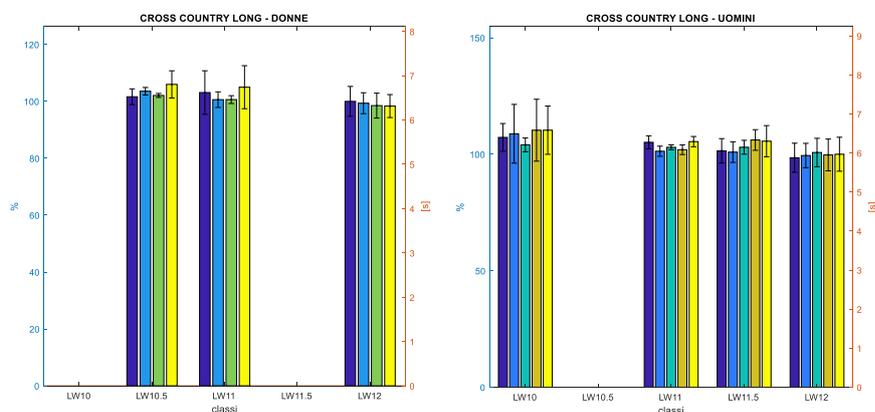


Figura 5.55: Andamento medio e deviazione standard dei valori del segmento K7-K8 per ogni giro della gara di XCL e per ogni classe femminile (sinistra) e maschile (destra).

Infine, si riportano i risultati relativi al confronto statistico della durata temporale K7-K8 tra le classi sia per le donne che per gli uomini. Il Kruskal – Wallis test non mostra nessuna differenza statistica sia tra le classi delle donne ( $p = 0.32$ ) che tra le classi degli uomini ( $p = 0.15$ ). La distribuzione dei dati è riportata nella Figura 5.56.

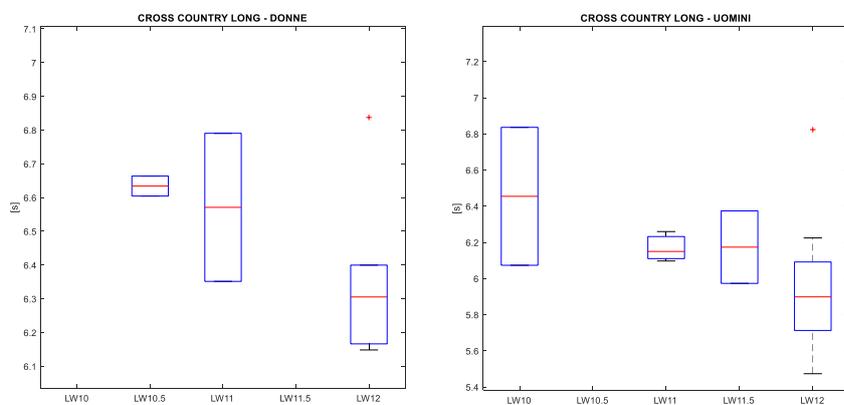


Figura 5.56: Distribuzione dei valori del segmento K7-K8 per ogni classe della gara di XCL femminile (sinistra) e maschile (destra).

A differenza di tutti i segmenti precedentemente analizzati, non si osservano variazioni rilevanti del tempo medio di percorrenza del segmento K7-K8 sia tra le classi maschili che femminili delle tre gare analizzate. L'unico dato temporale medio leggermente maggiore è stato riscontrato durante la gara femminile di XCM per le classi LW10.5 e LW11, ma l'incremento rispetto alla classe LW12 è comunque sempre inferiore al 20%. Tali risultati sottolineano come il tratto in discesa analizzato non comporti un'effettiva separazione tra le

classi di entrambi i generi, risultando quindi ininfluente sul risultato finale delle competizioni.

Come nel precedente segmento K5-K6, anche nel segmento K7-K8 non si registrano elevati incrementi del tempo medio di percorrenza tra i giri per nessuna classe delle gare analizzate. Si osservano leggerissimi aumenti nella gara di BI per la classe femminile LW10.5 e per quella maschile LW12 e nella gara di XCM per le classi femminili LW11.5 e LW 12 e per quella maschile LW12. Gli incrementi al giro risultano comunque poco significativi in termini di analisi dei dati.

Inoltre, non si osservano aumenti significativi dei valori di deviazione standard in nessuna delle tre competizioni. Solamente durante la gara femminile di XCM si sono osservati valori leggermente maggiori per le classi LW10.5 e LW11, ma tali incrementi sono comunque poco significativi in termini di analisi dei dati.

Infine, l'analisi statistica delle quattro competizioni maschili e femminili tramite il Kruskal – Wallis test non ha evidenziato differenze statisticamente significative né tra le classi femminili né tra quelle maschili di tutte e tre le competizioni analizzate.

In conclusione, la comparazione delle classi mostra una maggiore variabilità interclasse per il genere femminile rispetto al maschile. Tale variabilità risulta maggiormente evidente nelle gare di BS, BI e XCM, mentre tende a essere minore nella gara di XCL e nel segmento di discesa K7-K8 di ogni gara analizzata. In particolare, l'analisi statistica ha evidenziato differenze significative solo per il genere femminile e nello specifico solo tra le classi LW10.5 e LW12 per alcuni segmenti delle sole gare di BS e XCM. Anche la variabilità intraclasse è maggiore per il genere femminile che per il genere maschile. In particolare, si osservano dei valori molto elevati di deviazione standard soprattutto per la classe LW10.5 femminile. Infine, osservando i dati temporali medi, è possibile affermare come non vi sia un aumento generalizzato degli intertempi ad ogni giro per tutte le classi, ad esclusione degli intertempi del segmento K2-K3 (salita ripida) per il genere femminile. È ipotizzabile che tale tendenza possa essere dovuta alla minor forza che le donne riescono a generare rispetto agli uomini appartenenti alle medesime classi: di conseguenza, ciò comporta un rallentamento medio all'aumentare dei giri laddove è necessario un maggior dispendio energetico (nel tratto di salita ripida appunto). In generale, quindi, non è possibile affermare che tutti gli atleti di ogni classe tendano mediamente ad applicare la tattica “all-out” durante le competizioni.

### **5.5 Confronto coefficienti correttivi**

Il confronto dei coefficienti correttivi percentuali calcolati durante la competizione con quelli utilizzati e attualmente in uso dall'IPC è di particolare interesse poiché permette di valutare la bontà dei coefficienti stessi in funzione dei reali risultati di gara ottenuti.

Nelle tabelle del paragrafo seguente sono riportati i coefficienti calcolati, separatamente per ogni gara, con tre diverse tipologie di calcolo: il coeff 1 è stato ottenuto implementando il metodo 1, il coeff 2 implementando il metodo 2 ed infine il coeff 3 implementando il metodo 3.

Come detto, tutti i coefficienti sono stati ottenuti in funzione di quelli della classe LW12, considerata sempre come valore di riferimento e quindi sempre pari al suo valore reale, ovvero con coefficiente pari al 100 %. Il calcolo è stato eseguito separatamente per uomini e donne.

### 5.5.1 Coefficienti correttivi dei sei segmenti di interesse

Nelle sei seguenti tabelle sono stati riportati i coefficienti correttivi percentuali relativi ai sei segmenti di interesse analizzati. Questo ha permesso, nel seguito, di valutare quale/i segmento/i presentassero coefficienti correttivi diversi rispetto a quelli ottenuti poi dai tre metodi. I valori dei coefficienti sono stati calcolati utilizzando i valori delle velocità, in modo da renderli indipendenti dalla loro lunghezza e quindi permettere un confronto tra loro.

<b>COEFF. CORRETTIVI SEGMENTO K1-K2 – UPHILL MIDDLE</b>										
Classe	Coefficienti IPC [%]		Biathlon sprint [%]		Biathlon individual [%]		Cross country middle [%]		Cross country long [%]	
	2017-2018	2019-2020	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	93.54	-	-	-	88.24	-	80.22
LW 10.5	90	88	64.05	-	62.48	-	68.25	-	81.88	-
LW 11	94	93	86.60	89.00	79.24	-	90.63	97.35	90.69	95.95
LW 11.5	96	95	-	98.05	-	101.08	-	101.82	-	98.08
LW 12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.48: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali calcolati per ogni classe maschile e femminile per il segmento K1-K2.

<b>COEFF. CORRETTIVI SEGMENTO K2-K3 – UPHILL STEEP</b>										
Classe	Coefficienti IPC [%]		Biathlon sprint [%]		Biathlon individual [%]		Cross country middle [%]		Cross country long [%]	
	2017-2018	2019-2020	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	82.31	-	-	-	73.89	-	70.05
LW 10.5	90	88	54.38	-	52.78	-	59.21	-	74.82	-
LW 11	94	93	78.03	87.47	75.64	-	79.62	95.68	88.84	91.10
LW 11.5	96	95	-	101.28	-	104.34	-	102.63	-	100.29
LW 12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.49: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali calcolati per ogni classe maschile e femminile per il segmento K2-K3.

<b>COEFF. CORRETTIVI SEGMENTO K1-K3 – TOTAL UPHILL</b>										
Classe	Coefficienti IPC [%]		Biathlon sprint [%]		Biathlon individual [%]		Cross country middle [%]		Cross country long [%]	
	2017-2018	2019-2020	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	86.81	-	-	-	76.47	-	74.05

LW 10.5	90	88	58.09	-	56.53	-	65.88	-	77.66	-
LW 11	94	93	81.50	88.14	77.17	-	81.82	96.65	90.33	92.75
LW 11.5	96	95	-	99.89	-	102.91	-	102.30	-	99.27
LW 12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.50: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali calcolati per ogni classe maschile e femminile per il segmento K1-K3.

<b>COEFF. CORRETTIVI SEGMENTO K4-K5 – FLAT</b>										
Classe	Coefficienti IPC [%]		Biathlon sprint [%]		Biathlon individual [%]		Cross country middle [%]		Cross country long [%]	
	2017-2018	2019-2020	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	99.29	-	-	-	87.64	-	86.95
LW 10.5	90	88	70.51	-	70.09	-	76.69	-	86.05	-
LW 11	94	93	82.73	91.47	83.41	-	95.93	98.39	92.74	93.94
LW 11.5	96	95	-	99.55	-	101.16	-	102.64	-	99.09
LW 12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.51: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali calcolati per ogni classe maschile e femminile per il segmento K4-K5.

<b>COEFF. CORRETTIVI SEGMENTO K5-K6 – CURVE</b>										
Classe	Coefficienti IPC [%]		Biathlon sprint [%]		Biathlon individual [%]		Cross country middle [%]		Cross country long [%]	
	2017-2018	2019-2020	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	94.25	-	-	-	91.05	-	90.52
LW 10.5	90	88	68.37	-	70.86	-	74.51	-	77.24	-
LW 11	94	93	89.57	94.76	84.50	-	92.80	101.58	89.20	98.90
LW 11.5	96	95	-	113.12	-	110.38	-	115.08	-	112.07
LW 12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.52: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali calcolati per ogni classe maschile e femminile per il segmento K5-K6.

<b>COEFF. CORRETTIVI SEGMENTO K7-K8 – DOWNHILL</b>					
Classe	Coefficienti IPC [%]	Biathlon sprint [%]	Biathlon individual [%]	Cross country middle [%]	Cross country long [%]

	2017-2018	2019-2020	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	-	-	-	-	92.45	-	92.26
LW 10.5	90	88	-	-	89.46	-	88.08	-	95.78	-
LW 11	94	93	-	-	89.67	-	90.02	96.70	96.81	96.16
LW 11.5	96	95	-	-	-	97.84	-	100.16	-	96.18
LW 12	100	100	-	-	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.53: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali calcolati per ogni classe maschile e femminile per il segmento K7-K8.

I coefficienti correttivi di ogni segmento di interesse sono stati confrontati tra loro per le diverse gare e con i coefficienti utilizzati dall'IPC.

L'analisi dei coefficienti del segmento K1-K2 (salita moderata) ha mostrato significative differenze tra i coefficienti femminili e maschili tra loro e con i coefficienti dell'IPC. Per le donne si può osservare come tutti i valori trovati siano sempre inferiori a quelli dell'IPC. In particolare, si osservano valori inferiori al 70% e molto più bassi di quelli dell'IPC per la classe LW10.5 nelle gare di BS, BI e XCM, mentre per la classe LW11 si hanno differenze molto meno marcate. Per gli uomini, invece, si osservano valori in generale molto più simili a quelli dell'IPC per tutte e tre le classi analizzate. È da sottolineare come i coefficienti calcolati per la classe LW11.5 siano maggiori al 100% nelle gare di BI e XCM, identificando un tempo medio di percorrenza del tratto analizzato inferiore a quello impiegato dalla classe LW12, in contrasto con la classificazione delle classi degli atleti seduti. Tali valori possono essere ricondotti al numero ridotto di atleti della classe LW11.5 analizzati rispetto al numero di atleti all'interno della classe LW12 e quindi alla minore variabilità di prestazione all'interno delle stesse. Infatti, nel caso di pochi ma forti atleti nella classe LW11.5 rispetto alla moltitudine di atleti della classe LW12 è plausibile ipotizzare valori temporali medi di percorrenza minori per la classe LW11.5 rispetto alla classe LW12, anche se i primi risultano più svantaggiati a causa della maggiore limitazione fisica che presentano.

L'analisi dei coefficienti del segmento K2-K3 (salita ripida) ha mostrato maggiori differenze con i coefficienti dell'IPC rispetto al segmento K1-K2. Per le donne si può inoltre osservare come tutti i valori trovati siano sempre inferiori a quelli calcolati per il segmento precedente. In particolare, sono da sottolineare i valori inferiori al 60% ottenuti per la classe LW10.5 ed i valori inferiori all'80% ottenuti per la classe LW11 nelle gare di BS, BI e XCM. Per gli uomini, come già per il segmento precedente, si osservano valori in generale molto più simili a quelli dell'IPC rispetto alle donne, ad esclusione dei valori ottenuti per la classe LW10 nelle gare di XCM e XCL che sono appena superiori a 70%. Anche per questo segmento i valori dei coefficienti per la classe LW11.5 sono sempre maggiori del 100%, in questo caso di circa 2-3 punti percentuali. Poiché i valori dei coefficienti di ogni classe per il segmento K2-K3 risultano tutti minori rispetto a quelli ottenuti per il segmento K1-K2 (esclusa la classe LW11.5 che rappresenta un caso particolare) è plausibile ipotizzare che l'aumento della pendenza del tracciato influisca sui valori dei coefficienti correttivi, facendoli diminuire. La pendenza dei tratti in salita del tracciato di gara, quindi, influisce particolarmente sui valori finali dei coefficienti correttivi utilizzati per confrontare poi i tempi finali di gara degli atleti delle varie classi.

L'analisi dei coefficienti del segmento K1-K3 permette di effettuare, invece, un'analisi generale del tratto di percorso in salita, senza considerare la variazione di pendenza della stessa. In generale, i valori ottenuti per le classi femminili e maschili sono in linea con quelli ottenuti nei due precedenti segmenti. In particolare, si sottolinea come per la classe femminile LW10.5 si abbiano dei valori generali del tratto in salita tutti inferiori all'80%, con valori minimi inferiori al 60% nelle gare di BS e BI. Per gli uomini non sono presenti coefficienti delle classi che si discostano in modo rilevante da quelli utilizzati dall'IPC, sempre con l'eccezione della classe LW11.5.

A differenza dei tre segmenti precedentemente valutati, l'analisi dei coefficienti del segmento K4-K5 (falsopiano in salita) non ha mostrato significative differenze tra i coefficienti femminili e maschili tra loro e con i coefficienti dell'IPC. In particolare, si sottolineano sempre i coefficienti della classe LW10.5 femminile con valori inferiori all'80% sempre nelle gare di BS, BI e XCM ed il valore del coefficiente della classe LW10 maschile nella gara di BS pari a circa 99% che indica come il tempo medio impiegato in questa gara per percorrere il tratto in falsopiano sia simile al tempo medio impiegato dalla classe LW12. Per la classe LW11.5 maschile si osservano sempre valori appena superiori al 100%.

L'analisi dei coefficienti del segmento K5-K6 (curva stretta e piana) ha mostrato ancora significative differenze tra i coefficienti calcolati per la classe LW10.5 femminile rispetto a quelli dell'IPC, con valori tutti inferiori all'80%. Per gli uomini, invece, i valori dei coefficienti di tutte le classi per tutte le gare risultano sempre superiori al 90%. Per questo segmento sono inoltre stati calcolati dei coefficienti per la classe LW11.5 maschile più elevati rispetto agli altri cinque segmenti analizzati, con valori tutti compresi tra il 110% e il 115%. È quindi possibile affermare che il tratto del percorso con la presenza di una curva stretta e piana non rappresenti un fattore discriminante tra le classi, ad esclusione della classe LW11.5. Per quest'ultima, è plausibile ipotizzare che l'eccellenza degli atleti che ne fanno parte risulti ancora più marcata per un tratto di curva stretta rispetto a tratti in salita o in pianura come quelli già precedentemente analizzati.

Infine, l'analisi dei coefficienti del segmento K7-K8 (discesa molto ripida) non ha mostrato significative differenze tra i coefficienti femminili e maschili tra loro. In particolare, per le donne questo segmento è risultato quello meno influente sulla prestazione finale rispetto agli altri precedentemente analizzati, poiché quasi tutti i coefficienti calcolati per ogni classe hanno presentato valori superiori al 90%. Per gli uomini l'influenza di questo tratto di percorso risulta ancora più piccola rispetto al genere femminile, poiché i valori dei coefficienti sono quasi tutti superiori al 95%, ad esclusione di quelli calcolati per la classe LW10 che sono comunque superiori al 90%. È interessante osservare come vi sia un aumento generale dei coefficienti correttivi per tutte le classi di tutti entrambi i generi, ma come vi sia una piccola diminuzione del coefficiente della classe LW11.5 nelle tre gare analizzate, ed in particolare nella gara di XCL, dove si è registrato il valore di coefficiente più basso tra tutti quelli dei segmenti analizzati. Questo permette di sottolineare ancora di più la poca capacità selettiva di questo tratto di percorso tra le varie classi.

In generale, si osserva quindi che i coefficienti correttivi assumono i valori più bassi nei segmenti di salita analizzati, andando a diminuire all'aumentare della pendenza del tracciato. Questo comportamento è particolarmente evidente per le classi più basse, soprattutto per la classe LW10.5 femminile ed in quantità inferiore per la classe LW11 femminile e per la classe LW10 maschile. Inoltre, per le due classi femminili appena elencate, si osservano valori dei coefficienti più bassi rispetto a quelli dell'IPC anche nei segmenti di falsopiano in salita e con la presenza di curva piana, anche se la loro influenza è comunque inferiore a

quella dei tratti in salita. Il segmento in discesa, invece, non sembra rappresentare un tratto di tracciato selettivo, poiché si osservano coefficienti più alti di quelli dell'IPC ed alcuni prossimi al 100% sia per le donne che per gli uomini. Osservando i dati presenti nelle tabelle precedenti, si può osservare come i coefficienti calcolati analizzando la gara di XCL donne siano in media più elevati rispetto a quelli delle altre competizioni, soprattutto nei tratti di salita e nel tratto di discesa ripida. Infine, è possibile identificare un range tra 99% e 103% per la classe LW11.5 maschile che comprende circa il 74% percento dei coefficienti analizzati. Per tutte le altre classi, i coefficienti presentano degli intervalli di valori troppo ampi, probabilmente influenzati dal numero degli atleti e dai soggetti stessi partecipanti alle gare, dalle condizioni atmosferiche e della neve sul tracciato.

### 5.5.2 Coefficienti correttivi totali

Nelle seguenti quattro tabelle sono riportati i coefficienti percentuali dell'intera gara per ogni classe degli atleti seduti per entrambi i generi, calcolati utilizzando i tre metodi descritti all'interno del Capitolo 4.

BIATHLON SPRINT								
CLASSE	Coefficienti IPC % 2017-18	Coefficienti IPC % 2019-20	Coefficienti metodo 1 [%]		Coefficienti metodo 2 [%]		Coefficienti metodo 3 [%]	
			Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	94.08	-	92.35	-	92.81
LW 10.5	90	88	65.46	-	64.33	-	64.39	-
LW 11	94	93	83.86	92.10	84.23	90.67	83.39	90.16
LW 11.5	96	95	-	99.65	-	103.00	-	101.15
LW 12	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.54: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali per la gara di BS maschile e femminile calcolati utilizzando i tre metodi.

BIATHLON INDIVIDUAL								
CLASSE	Coefficienti IPC % 2017-18	Coefficienti IPC % 2019-20	Coefficienti metodo 1 [%]		Coefficienti metodo 2 [%]		Coefficienti metodo 3 [%]	
			Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	90	88	73.05	-	69.13	-	67.30	-
LW 11	94	93	85.60	-	82.49	-	81.71	-
LW 11.5	96	95	-	102.84	-	102.96	-	102.29
LW 12	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.55: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali per la gara di BI maschile e femminile calcolati utilizzando i tre metodi.

CROSS COUNTRY MIDDLE								
CLASSE	Coefficienti IPC % 2017-18	Coefficienti IPC % 2019-20	Coefficienti metodo 1 [%]		Coefficienti metodo 2 [%]		Coefficienti metodo 3 [%]	
			Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	85.22	-	86.66	-	85.80
LW 10.5	90	88	73.09	-	73.35	-	72.26	-
LW 11	94	93	94.43	97.87	89.80	97.94	89.98	97.63
LW 11.5	96	95	-	103.38	-	104.47	-	103.34
LW 12	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.56: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali per la gara di XCM maschile e femminile calcolati utilizzando i tre metodi.

CROSS COUNTRY LONG								
CLASSE	Coefficienti IPC % 2017-18	Coefficienti IPC % 2019-20	Coefficienti metodo 1 [%]		Coefficienti metodo 2 [%]		Coefficienti metodo 3 [%]	
			Donne	Uomini	Donne	Uomini	Donne	Uomini
LW 10	86	86	-	83.97	-	84.00	-	82.77
LW 10.5	90	88	84.38	-	83.15	-	83.10	-
LW 11	94	93	93.48	95.37	91.66	95.21	91.62	94.60
LW 11.5	96	95	-	100.31	-	101.14	-	100.00
LW 12	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabella 5.57: Coefficienti correttivi percentuali utilizzati dall'IPC e coefficienti correttivi percentuali per la gara di XCL maschile e femminile calcolati utilizzando i tre metodi.

Nella gara di BS è possibile osservare come i coefficienti correttivi ottenuti utilizzando i tre metodi portino a risultati molto diversi tra il genere femminile e maschile. Dalla Tabella 5.54 si osserva come i coefficienti delle classi femminili siano molto inferiori a quelli utilizzati dall'IPC nelle stagioni 2017-18 e 2019-20, con valori inferiori a 70% e a 85%, rispettivamente per la classe LW10.5 e la classe LW11. Per gli uomini si osserva invece una situazione opposta, poiché i coefficienti calcolati per le classi LW10 e LW11.5 presentano dei valori maggiori rispetto a quelli dell'IPC, rispettivamente superiori al 90% e al 100%, mentre si hanno dei valori molto simili a quelli dell'IPC per la classe LW11. Come nei paragrafi precedenti, è necessario sottolineare che i valori dei coefficienti calcolati per la classe LW11.5 presentano valori maggiori rispetto a quello della classe LW12. Si può ipotizzare che questa situazione possa essere causata sia dalla presenza di pochi e forti atleti all'interno della classe LW11.5, sia da un numero elevato di atleti con prestazioni diverse appartenenti alla classe LW12.

Dalla Tabella 5.55 si può osservare come i coefficienti correttivi ottenuti per la gara di BI abbiamo valori simili a quelli ottenuti durante la gara di BS. Per le classi femminili LW10.5 e LW11 si registrano ancora dei valori dei coefficienti inferiori a quelli utilizzati dall'IPC e rispettivamente minori di 75% e 85%. Per il genere maschile, invece, è stato possibile valutare solo il coefficiente della classe LW11.5, poiché è stata l'unica classe oltre alle LW12 ad avere almeno un partecipante, ed anche per questa gara si sono ottenuti dei valori dei coefficienti superiori a 100%.

Dalla Tabella 5.56 è possibile osservare come i valori dei coefficienti correttivi ottenuti per la gara di XCM siano migliori rispetto alle due competizioni precedenti. Per il genere femminile si osserva un piccolo incremento dei coefficienti calcolati per la classe LW10.5, anche se i valori ottenuti sono ancora inferiori a 75%, mentre per la classe LW11 si sono ottenuti dei valori molto simili a quelli dell'IPC e superiori a 90%. Per la classe LW10 maschile si sono ottenuti dei valori intorno all'86%, quasi uguali al valore utilizzato dall'IPC, mentre per le classi LW11 e LW11.5 maschile si sono ottenuti valori superiori a quelli dell'IPC, rispettivamente intorno al 98% e di poco superiori al 100%.

Infine, dalla Tabella 5.57 è possibile osservare come i coefficienti correttivi ottenuti per la gara di XCL portino a risultati molto buoni sia per il genere femminile che maschile. Per la classe LW10.5 femminile si sono ottenuti i coefficienti migliori tra quattro gare analizzate con valori superiori a 80%, ma ancora inferiori ad 85%, mentre per la classe LW11 si sono ottenuti dei risultati molto simili a quelli della gara di XCM. Tra le classi maschili si sono osservati dei valori dei coefficienti inferiori solo di un paio di punti percentuali rispetto a

quelli dell'IPC solo per la classe LW10, mentre per le classi LW11 ed LW11.5 si sono ottenuti ancora dei risultati superiori a quelli dell'IPC, rispettivamente circa il 95% e appena superiori a 100%.

In generale, i tre metodi utilizzati per una singola gara hanno portato a risultati molto simili tra di loro, con una differenza massima individuata tra i metodi di circa 4 punti percentuali tra il metodo 1 e i metodi 2 e 3 per la classe LW11 nella gara di XCM donne. Per le donne il metodo 1 è stato quello che più volte si è avvicinato ai valori dei coefficienti utilizzati dall'IPC, risultando il migliore per il 75% dei tempi analizzati, mentre il restante 25% è stato ottenuto dal metodo 2. Per le donne il metodo 3 è stato il metodo che meno si è avvicinato ai valori dell'IPC. Per gli uomini, invece, si sono ottenuti dei riscontri opposti a quelli delle donne, con il metodo 1 che è risultato quello che si è avvicinato meno volte ai valori dei coefficienti dell'IPC, risultato il migliore solo nel 20% dei casi (per due sole classi nella gara di BS), stessa percentuale ottenuta dal metodo 2. Il metodo 3, invece, è risultato il migliore nel 60% dei casi, con i suoi risultati che non sono mai stati i più vicini ai coefficienti dell'IPC almeno una volta in tutte le gare ad esclusione della competizione di BS. Analizzando queste percentuali si potrebbe in generale affermare che il metodo 1 sarebbe il metodo migliore in campo femminile, anche se si avvicina ai coefficienti dell'IPC solo per la classe LW11 nelle gare di XCM e XCL, mentre nelle restanti gare di biathlon e in tutte le gare per la classe LW10.5 i coefficienti ottenuti sono comunque troppo inferiori rispetto a quelli dell'IPC. Per gli uomini, invece, osservando le percentuali ottenute, il metodo 3 sembrerebbe quello migliore, anche se consente di ottenere risultati vicini a quelli dell'IPC solo per la classe LW10 nella gara di XCM e per la classe LW11 nella gara di XCL, mentre nei restanti casi permette di ottenere dei valori dei coefficienti sempre superiori a quelli dell'IPC, ad esclusione del coefficiente per la classe LW10 nella gara di XCL. Infine, non sembra possibile trovare dei range percentuali che siano sempre validi per una determinata classe e contemporaneamente per tutte e quattro le competizioni. È plausibile ipotizzare che questo sia dovuto al basso numero di atleti appartenenti alle classi LW10-LW11.5 rispetto a quelli appartenenti alla classe LW12. Per cercare di superare questo problema si potrebbe pensare di utilizzare un metodo che consideri contemporaneamente i concetti alla base dei metodi 1 e 3 e dei segmenti di interesse, in modo da eliminare la dipendenza della tipologia di gara dai valori dei coefficienti trovati. Questo permetterebbe di ridurre la dipendenza dei valori dei coefficienti dai soggetti, anche se per eliminarla maggiormente sarebbe comunque necessaria la partecipazione di un maggior numero di atleti appartenenti alle classi più svantaggiate.

### **5.5.3 Previsione dei tratti con percorso misto**

I coefficienti correttivi percentuali calcolati implementando i sette metodi descritti nel Capitolo 4 sono stati utilizzati per cercare di “predire” il tempo di percorrenza di due segmenti del percorso con pendenza mista.

Nei due seguenti sotto paragrafi sono riportate sei tabelle contenenti le informazioni temporali ed altre sei contenenti le informazioni relative agli errori percentuali, rispettivamente per le tre competizioni di BI, XCM e XCL per il genere femminile e maschile. Come già detto, a causa di alcuni problemi di rilevazione dei parziali durante la gara di BS non è stato possibile eseguire delle previsioni coi dati temporali ottenuti in quella competizione.

#### **5.5.3.1 Segmento misto K3 – K4**

## **BIATHLON INDIVIDUAL - DONNE**

Classe	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	144.72	144.72	-	-	-	-	-
LW 10.5	179.84	138.29	141.43	180.50	170.37	180.03	184.92	161.97
LW 11	153.57	132.40	133.83	153.79	145.40	150.87	152.31	135.07
LW 11.5	-	129.64	131.01	-	-	-	-	-
LW 12	124.46	124.46	124.46	124.46	124.46	124.46	124.46	111.72

Tabella 5.58: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K3-K4 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di BI donne.

BIATHLON INDIVIDUAL - DONNE								
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]					
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4	
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	23.10	21.36	0.37	5.26	0.10	2.83	9.93	
LW 11	13.79	12.86	0.14	5.32	1.76	0.82	12.05	
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.23	

Tabella 5.59: Errori percentuali per il segmento misto K3-K4 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di BI donne.

BIATHLON INDIVIDUAL - UOMINI								
CLASSE	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	128.74	128.74	-	-	-	-	-
LW 10.5	-	123.01	125.81	-	-	-	-	-
LW 11	-	117.78	119.05	-	-	-	-	-
LW 11.5	109.67	115.33	116.54	109.55	107.65	107.53	108.24	98.49
LW 12	110.71	110.71	110.71	110.71	110.71	110.71	110.71	98.74

Tabella 5.60: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K3-K4 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di BI uomini.

BIATHLON INDIVIDUAL - UOMINI								
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]					
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4	
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 11	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 11.5	5.15	6.26	0.11	1.84	1.95	1.31	10.20	
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.81	

Tabella 5.61: Errori percentuali per il segmento misto K3-K4 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di BI uomini.

CROSS COUNTRY MIDDLE - DONNE								
Classe	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	145.25	145.25	-	-	-	-	-
LW 10.5	172.69	138.80	141.95	168.35	170.92	170.31	172.88	159.05

LW 11	137.97	132.89	134.32	138.36	132.28	139.11	138.83	131.13
LW 11.5	-	130.12	131.49	-	-	-	-	-
LW 12	124.92	124.92	124.92	124.92	124.92	124.92	124.92	115.43

Tabella 5.62: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K3-K4 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di XCM donne.

CROSS COUNTRY MIDDLE - DONNE							
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]				
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	19.62	17.80	2.51	1.02	1.38	0.11	7.90
LW 11	3.68	2.64	0.28	4.12	0.82	0.62	4.96
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	-
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.60

Tabella 5.63: Errori percentuali per il segmento misto K3-K4 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di XCM donne.

CROSS COUNTRY MIDDLE - UOMINI								
CLASSE	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	136.66	130.29	130.29	136.69	131.48	129.30	130.59	118.75
LW 10.5	-	124.49	127.32	-	-	-	-	-
LW 11	115.14	119.20	120.48	116.11	114.48	114.40	114.76	106.02
LW 11.5	107.67	116.71	117.94	107.56	108.38	107.25	108.43	101.27
LW 12	112.05	112.05	112.05	112.05	112.05	112.05	112.05	102.63

Tabella 5.64: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K3-K4 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di XCM uomini.

CROSS COUNTRY MIDDLE - UOMINI							
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]				
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	4.67	4.67	0.02	3.79	5.39	4.44	13.10
LW 10.5	-	-	-	-	-	-	-
LW 11	3.52	4.64	0.84	0.57	0.64	0.33	7.92
LW 11.5	8.39	9.54	0.10	0.66	0.39	0.70	5.95
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.40

Tabella 5.65: Errori percentuali per il segmento misto K3-K4 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di XCM uomini.

CROSS COUNTRY LONG - DONNE								
CLASSE	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	138.50	138.50	-	-	-	-	-
LW 10.5	142.28	132.34	135.35	142.87	141.15	143.24	143.33	130.24
LW 11	125.08	126.71	128.07	125.12	127.41	129.95	130.00	119.85
LW 11.5	-	124.07	125.38	-	-	-	-	-
LW 12	119.11	119.11	119.11	119.11	119.11	119.11	119.11	111.20

Tabella 5.66: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K3-K4 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di XCL donne.

CROSS COUNTRY LONG - DONNE							
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]				
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	6.98	4.87	0.41	0.79	0.67	0.74	8.47
LW 11	1.31	2.40	0.03	1.87	3.90	3.93	4.18
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	-
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.64

Tabella 5.67: Errori percentuali per il segmento misto K3-K4 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di XCL donne.

CROSS COUNTRY LONG - UOMINI								
CLASSE	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	132.14	123.59	123.59	131.37	126.57	126.53	128.41	118.10
LW 10.5	-	118.10	120.78	-	-	-	-	-
LW 11	113.71	113.07	114.29	114.30	111.45	111.64	112.35	103.10
LW 11.5	108.17	110.72	111.88	107.89	105.96	105.09	106.29	100.04
LW 12	106.29	106.29	106.29	106.29	106.29	106.29	106.29	97.79

Tabella 5.68: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K3-K4 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di XCL uomini.

CROSS COUNTRY LONG - UOMINI							
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]				
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	6.47	6.47	0.58	4.21	4.24	2.82	10.62
LW 10.5	-	-	-	-	-	-	-
LW 11	0.56	0.51	0.51	1.99	1.83	1.20	9.34
LW 11.5	2.35	3.43	0.26	2.04	2.85	1.74	7.52
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00

Tabella 5.69: Errori percentuali per il segmento misto K3-K4 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di XCL uomini.

Nella gara di BI si può osservare come la previsione dei tempi medi delle classi maschili e femminili del segmento K3-K4 abbia portato a risultati accettabili. In particolare, nella gara di BI femminile per la classe LW10.5 e la classe LW11 si osserva come i tempi calcolati utilizzando i metodi 0, 2 e 3 presentino tutti un errore percentuale inferiore al 3%. Sempre per entrambe le classi, implementando i metodi 1 e 4 si sono ottenuti degli errori accettabili, rispettivamente appena superiori al 5% e prossimi al 10%. Valutando i tempi ottenuti implementando i coefficienti dell'IPC, invece, si osservano degli errori superiori al 20% per la classe LW10.5 e appena inferiori al 15% per la classe LW11. Per entrambe le classi gli errori percentuali risultano essere troppo elevati, e perciò non accettabili. Per come sono stati costruiti i coefficienti utilizzati nei vari metodi, per la classe LW12 è possibile ottenere risultati differenti dal tempo reale solamente implementando il metodo 4, poiché tutti gli altri metodi (compresi i due coi coefficienti dell'IPC) si basano sul porre il valore temporale medio della classe LW12 come tempo di riferimento. In questa gara si è ottenuto un errore percentuale accettabile appena superiore a 10%, simile a quelli ottenuti per classi LW10.5 e LW11. Nella gara di BI maschile sono stati ottenuti dei valori previsti soddisfacenti per la classe LW11.5 implementando i metodi 0, 1, 2 e 3, ottenendo degli errori percentuali inferiori al 2%. Come per la gara femminile, utilizzando il metodo 4 si è ottenuto un errore

intorno al 10%, mentre, al contrario, utilizzando i coefficienti dell'IPC si sono ottenuti degli errori appena superiori al 5% e quindi accettabili. Infine, per la classe LW12 si è ottenuto un risultato molto simile a quello ottenuto in campo femminile con un errore appena superiore al 10%.

Nella gara di XCM si può osservare come la previsione dei tempi medi delle classi maschili e femminili del segmento K3-K4 abbia portato a risultati accettabili. In particolare, nella gara di XCM femminile per la classe LW10.5 e per la classe LW11 si osserva come i tempi calcolati utilizzando i metodi 0, 1, 2 e 3 siano molto simili ai rispettivi tempi reali medi, con degli errori percentuali tutti inferiori al 5%. Sono inoltre da sottolineare gli ottimi valori ottenuti per la classe LW11 utilizzando i metodi 0, 2 e 3 per i quali si sono trovati errori inferiori all'1%. Implementando il metodo 4 si è ottenuto un valore appena inferiore al 5% per la classe LW10.5, mentre per la classe LW11 un errore superiore al 5%, ma comunque inferiore al 10%. Come per la gara di BI, i risultati della classe LW10.5 forniti dai coefficienti dell'IPC risultano essere i peggiori, con errori superiori al 15% e pertanto non accettabili, mentre per la classe LW11 i coefficienti dell'IPC hanno fornito previsioni molto buone, con errori inferiori al 5%. Per la classe LW12 si è ancora ottenuta una previsione temporale accettabile, con un errore compreso tra il 5% e il 10%. Nella gara di XCM maschile per la classe LW10 è stato ottenuto un tempo previsto eccellente (errore del 0.02%) rispetto al tempo reale implementando il metodo 0, mentre utilizzando i metodi 1, 2 e 3 e i coefficienti dell'IPC si sono ottenuti degli errori sempre buoni, tutti inferiori al 5%. Solamente utilizzando il metodo 4 si è ottenuto un errore maggiore del 10%. Per la classe LW11 si sono ottenuti risultati ottimi implementando i metodi 0, 1, 2 e 3 ottenendo degli errori tutti inferiori all'1%, mentre utilizzando i coefficienti dell'IPC si sono ottenuti dei tempi con errori sempre buoni ed inferiori al 5%. Implementando il metodo 4 si è nuovamente ottenuto l'errore più elevato che è comunque risultato inferiore al 10%. Come per la classe precedente, per la classe LW11.5 si sono ottenute le previsioni migliori implementando i metodi 0, 1, 2 e 3 (errori tutti inferiori all'1%). Implementando il metodo 4 ed utilizzando i coefficienti dell'IPC si sono ottenuti gli errori più elevati, comunque inferiori al 10%. Infine, è stato utilizzato solo il metodo 4 per predire il tempo della classe LW12, e come per le donne si è ottenuto un errore compreso tra il 5% e il 10%.

Nella gara di XCL si può osservare come la previsione dei tempi medi delle classi maschili e femminili del segmento K3-K4 abbia portato a risultati accettabili. In particolare, nella gara di XCL femminile per la classe LW10.5 si osserva come i tempi calcolati utilizzando i metodi 0, 1, 2 e 3 presentino tutti degli errori percentuali ottimi, inferiori all'1%, mentre utilizzando i coefficienti dell'IPC della stagione 2019-20 si ottiene un errore più elevato, ma comunque inferiore al 5%. I risultati peggiori si ottengono applicando il metodo 4 e i coefficienti dell'IPC della stagione 2017-18, ottenendo comunque degli errori compresi tra il 5% e il 10%. Per la classe LW11 si sono ottenuti dei risultati ottimi implementando il metodo 0 (errore inferiore all'1%) e risultati molto buoni utilizzando i metodi 1, 2, 3 e 4 ed i coefficienti dell'IPC, tutti con errori inferiori al 5%. Per la classe LW12 femminile, infine, si è ancora ottenuto un risultato accettabile, con un errore compreso sempre tra il 5% e il 10%. Nella gara di XCL maschile per la classe LW10 e LW11.5 si sono ottenuti ottimi risultati implementando il metodo 0 (errore inferiore all'1%) e buoni risultati implementando i metodi 1, 2 e 3 (errori tutti inferiori al 5%). Per la classe LW10 si è ottenuto un errore accettabile compreso tra il 5% e il 10% utilizzando i coefficienti dell'IPC, ed un errore inferiore al 5% per la classe LW11.5. Utilizzando il metodo 4 si è ottenuto un errore di poco superiore al 10% per la classe LW10 ed un errore compreso tra il 5% e il 10% per la classe LW11.5. Per la classe LW11 si sono ottenuti risultati ottimi con errori inferiori all'1% implementando il metodo 0 ed utilizzando i coefficienti dell'IPC, ed errori più che accettabili

(inferiori al 2%) utilizzando i metodi 1, 2 e 3. Come per la classe LW10, l'errore maggiore si è ottenuto applicando il metodo 4, trovando però un valore appena inferiore al 10%. Infine, è stato utilizzato solo il metodo 4 per predire il tempo della classe LW12, e come per le donne si è ottenuto un errore compreso tra il 5% e il 10%.

In generale, per il segmento K3-K4 si sono ottenuti risultati più che accettabili, ad esclusione dei tempi calcolati utilizzando i coefficienti dell'IPC per la classe LW10.5 femminile nelle gare di BI e XCM e per la classe femminile nella gara di BI che hanno presentato degli errori superiori al 15% e per questo non accettabili. Sia per le donne che per gli uomini l'utilizzo del metodo 4 è risultato quello con gli errori mediamente più elevati, anche se sono stati pochi i casi in cui si sono ottenuti dei valori superiori al 10% e quindi non accettabili. Come ci si poteva aspettare, il metodo 0 è risultato in media il migliore tra quelli utilizzati poiché applicava direttamente i coefficienti ottenuti analizzando il percorso del segmento in esame. Infine, è possibile affermare che i metodi 1, 2 e 3 hanno portato tutti a risultati molto buoni, quasi tutti inferiori al 5% (tranne 2 casi appena superiori ottenuti coi metodi 1 e 2 in due competizioni e classi differenti). In particolare, il metodo 3 è stato quello che tra i tre ha fornito più spesso il minor valore di errore percentuale sia per le donne (50% dei casi) che per gli uomini (72% dei casi) ed essendo l'unico che non ha mai fornito errori superiori al 5% è plausibile affermare che tra i tre sia il metodo migliore per prevedere l'andamento temporale medio delle classi nel segmento K3-K4.

### 5.5.3.2 Segmento misto K6 – K7

BIATHLON INDIVIDUAL - DONNE								
CLASSE	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	41.34	41.34	-	-	-	-	-
LW 10.5	43.37	39.50	40.40	43.38	48.67	51.53	52.82	75.54
LW 11	38.57	37.82	38.23	38.62	41.53	43.10	43.51	60.57
LW 11.5	-	37.03	37.42	-	-	-	-	-
LW 12	35.55	35.55	35.55	35.55	35.55	35.55	35.55	49.30

Tabella 5.70: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K6-K7 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di BI donne.

BIATHLON INDIVIDUAL - DONNE							
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]				
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	8.91	6.84	0.03	12.23	18.59	21.81	74.20
LW 11	1.95	0.90	0.11	7.68	11.73	12.79	57.02
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	-
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.67

Tabella 5.71: Errori percentuali per il segmento misto K6-K7 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di BI donne.

BIATHLON INDIVIDUAL - UOMINI								
CLASSE	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	37.15	37.15	-	-	-	-	-

LW 10.5	-	35.50	36.30	-	-	-	-	-
LW 11	-	33.99	34.35	-	-	-	-	-
LW 11.5	32.01	33.28	33.63	32.07	31.07	31.03	31.23	42.74
LW 12	31.95	31.95	31.95	31.95	31.95	31.95	31.95	43.16

Tabella 5.72: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K6-K7 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di BI uomini.

BIATHLON INDIVIDUAL - UOMINI								
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]					
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4	
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 11	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 11.5	3.98	5.07	0.19	2.94	3.05	2.41	33.52	-
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.11	-

Tabella 5.73: Errori percentuali per il segmento misto K6-K7 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di BI uomini.

CROSS COUNTRY MIDDLE - DONNE								
Classe	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	44.59	44.59	-	-	-	-	-
LW 10.5	46.79	42.61	43.57	45.96	52.47	52.28	53.07	71.99
LW 11	39.85	40.79	41.23	39.81	40.61	42.70	42.62	58.42
LW 11.5	-	39.94	40.36	-	-	-	-	-
LW 12	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	50.13

Tabella 5.74: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K6-K7 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di XCM donne.

CROSS COUNTRY MIDDLE - DONNE								
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]					
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4	
LW 10	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	8.95	6.88	1.77	12.13	11.72	13.41	53.86	-
LW 11	2.37	3.47	0.09	1.90	7.16	6.95	46.61	-
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	-	-
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.72	-

Tabella 5.75: Errori percentuali per il segmento misto K6-K7 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di XCM donne.

CROSS COUNTRY MIDDLE - UOMINI								
CLASSE	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	40.16	42.13	42.13	40.18	42.51	41.81	42.23	52.58
LW 10.5	-	40.25	41.17	-	-	-	-	-
LW 11	36.39	38.54	38.96	36.65	37.02	36.99	37.11	45.43
LW 11.5	34.88	37.74	38.14	35.04	35.04	34.68	35.06	43.17
LW 12	36.23	36.23	36.23	36.23	36.23	36.23	36.23	43.85

Tabella 5.76: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K6-K7 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di XCM uomini.

<b>CROSS COUNTRY MIDDLE - UOMINI</b>							
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]				
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	4.89	4.89	0.03	5.85	4.10	5.14	30.92
LW 10.5	-	-	-	-	-	-	-
LW 11	5.91	7.05	0.72	1.72	1.65	1.97	24.83
LW 11.5	8.19	9.33	0.47	0.47	0.58	0.51	23.78
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.03

Tabella 5.77: Errori percentuali per il segmento misto K6-K7 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di XCM uomini.

<b>CROSS COUNTRY LONG - DONNE</b>								
CLASSE	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	40.36	40.36	-	-	-	-	-
LW 10.5	39.73	38.56	39.44	39.79	41.13	41.74	41.77	59.07
LW 11	36.39	36.92	37.32	36.33	37.13	37.87	37.88	53.32
LW 11.5	-	36.15	36.53	-	-	-	-	-
LW 12	34.71	34.71	34.71	34.71	34.71	34.71	34.71	49.10

Tabella 5.78: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K6-K7 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di XCL donne.

<b>CROSS COUNTRY LONG - DONNE</b>							
Classe	Errore percentuale IPC [%]		Errore percentuale [%]				
	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	-	-	-	-	-	-	-
LW 10.5	2.94	0.73	0.15	3.52	5.05	5.12	48.67
LW 11	1.46	2.55	0.15	2.03	4.06	4.10	46.53
LW 11.5	-	-	-	-	-	-	-
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.48

Tabella 5.79: Errori percentuali per il segmento misto K6-K7 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di XCL donne.

<b>CROSS COUNTRY LONG - UOMINI</b>								
CLASSE	Tempo reale medio [s]	Tempo reale previsto dall'IPC [s]		Tempo reale previsto [s]				
		Stagione 2017-18	Stagione 2019-20	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	35.28	37.54	37.54	35.11	38.45	38.44	39.01	53.19
LW 10.5	-	35.87	36.69	-	-	-	-	-
LW 11	33.13	34.35	34.72	33.29	33.85	33.91	34.13	45.31
LW 11.5	32.57	33.63	33.99	32.67	32.19	31.92	32.29	43.33
LW 12	32.29	32.29	32.29	32.29	32.29	32.29	32.29	42.57

Tabella 5.80: Tempi medi delle classi previsti per il segmento misto K6-K7 utilizzando i 5 metodi ed i due coefficienti dell'IPC per la gara di XCL uomini.

<b>CROSS COUNTRY LONG - UOMINI</b>		
Classe	Errore percentuale IPC [%]	Errore percentuale [%]

	Stagione 2017-2018	Stagione 2019-2020	Met 0	Met 1	Met 2	Met 3	Met 4
LW 10	6.41	6.41	0.47	8.98	8.94	10.56	50.75
LW 10.5	-	-	-	-	-	-	-
LW 11	3.68	4.80	0.48	2.19	2.36	3.02	36.77
LW 11.5	3.25	4.34	0.30	1.18	2.00	0.88	33.04
LW 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.85

Tabella 5.81: Errori percentuali per il segmento misto K6-K7 confrontando i tempi medi previsti coi 5 metodi ed coi due coefficienti dell'IPC con il tempo reale medio per ogni classepartecipante alla gara di XCL uomini.

Nella gara di BI si può osservare come le previsioni per il segmento K6-K7 dei tempi medi delle classi maschili abbiano in generale portato a risultati molto migliori rispetto a quelli calcolati per le classi femminili. Come ci si poteva aspettare, il metodo 0 ha portato ad ottimi risultati sia per le classi femminili che maschili, con degli errori sempre inferiori allo 0.5%, poiché i tempi sono stati calcolati sfruttando i coefficienti ottenuti analizzando i tratti con diversa pendenza del segmento stesso. Al contrario, il metodo 4 ha fornito dei tempi sempre maggiori rispetto a quelli reali e sempre non accettabili per tutte le classi, sia per gli uomini che per le donne, poiché l'errore percentuale è risultato sempre superiore al 30%, con un pico addirittura vicino al 75%. Per le donne, i tempi ottenuti implementando i metodi 1, 2 e 3 hanno ancora comportato degli errori abbastanza elevati, tutti superiori al 10% e quindi non accettabili, ad eccezione del tempo relativo alla classe LW11 con un errore compreso tra il 5% e il 10%. Utilizzando i coefficienti dell'IPC si sono ottenuti degli errori accettabili sia per la classe LW10.5 (errori compresi tra il 5% e il 10%) sia per la classe LW11 (errori inferiori al 5%) e, al contrario di tutti i metodi precedentemente implementati, si sono ottenuti dei tempi previsti inferiori a quelli reali. Al contrario delle donne, per la classe LW11.5 degli uomini i metodi 1, 2 e 3 hanno fornito tutti risultati buoni, con errori inferiori al 5%, mentre utilizzando i coefficienti dell'IPC si sono ottenuti dei tempi superiori a quelli reali, ma con degli errori comunque inferiori al 5%.

Nella gara di XCM si può osservare come le previsioni dei tempi medi delle classi maschili del segmento K6-K7 abbiano portato a risultati leggermente migliori di quelli calcolati per le classi femminili. Come per la gara precedente, per tutte le classi sia delle donne che degli uomini i tempi ottenuti implementando il metodo 0 sono risultati più che accettabili, con errori quasi tutti inferiori all'1%, mentre tutti i tempi calcolati utilizzando il metodo 4 sono nuovamente risultati maggiori dei rispettivi tempi reali e non accettabili, tutti con errori superiori al 20%. Per la classe LW10.5 femminile i tempi ottenuti implementando i metodi 1, 2 e 3 sono risultati nuovamente non accettabili, con errori superiori al 10%, mentre per la classe LW11 femminile, implementando gli stessi tre metodi, si sono ottenuti tutti tempi accettabili, con errori inferiori al 10% e nel caso del metodo 1 anche inferiore al 5%. Come per la gara di BI, utilizzando i coefficienti dell'IPC si sono ottenuti degli errori accettabili sia per la classe LW10.5 (errori compresi tra il 5% e il 10%) sia per la classe LW11 (errori inferiori al 5%), ottenendo sempre dei tempi inferiori rispetto a quelli reali. Per le classi LW10, LW11 e LW11.5 degli uomini, i metodi 1, 2 e 3 hanno fornito sempre dei tempi accettabili. In particolare, si sono ottenuti degli errori intorno al 5% per la classe LW10, errori appena inferiori al 2% per la classe LW11 ed infine errori inferiori all'1% per la classe LW11.5. Infine, i tempi calcolati utilizzando i coefficienti dell'IPC sono risultati nuovamente tutti superiori ai tempi reali, ma tutti accettabili, con errori compresi tra il 5% e il 10%.

Nella gara di XCL si può osservare come le previsioni dei tempi medi di ogni classe maschile e femminile del segmento K6-K7 abbiano portato a risultati sempre accettabili, ad esclusione dei tempi calcolati col metodo 4, con il quale si sono ottenuti tempi di molto superiori a

quelli reali, con degli errori nuovamente sopra il 30%. Come già per le due gare precedenti, i tempi di ogni classe maschile e femminile previsti col metodo 0 sono risultati i migliori, tutti con errori inferiori allo 0.5%. In questo caso, implementando i metodi 1, 2 e 3 si sono ottenuti dei risultati accettabili con errori inferiori o appena superiori al 5% per ogni classe femminile e maschile analizzata, ad esclusione della classe LW10 maschile, che ha comunque presentato degli errori inferiori al 10%. Infine, utilizzando i coefficienti dell'IPC si sono nuovamente ottenuti dei risultati più che accettabili sia per le donne che per gli uomini, con errori percentuali tutti inferiori al 5%. Anche per questa gara si sottolinea come i tempi delle classi maschili ottenuti utilizzando i coefficienti dell'IPC siano ancora tutti superiori a quelli reali.

In generale è possibile affermare che i coefficienti utilizzati per predire i tempi dei segmenti hanno permesso di ottenere risultati migliori e quindi più vicini al tempo reale impiegato dalle classi nel segmento K3-K4 rispetto al segmento K6-K7. Questa affermazione è particolarmente corretta per le classi femminili, per le quali i metodi applicati hanno comportato errori molto elevati nel tratto K6-K7 soprattutto per la classe LW10.5, mentre per le classi maschili non sono stati osservati particolari aumenti degli errori percentuali, ad esclusione degli errori della classe LW10 nella gara di XCL. A differenza del segmento K3-K4, invece, l'utilizzo dei coefficienti dell'IPC ha permesso di ottenere dei risultati sempre accettabili sia per le donne che per gli uomini. Per questi ultimi è particolarmente interessante osservare come i tempi calcolati coi coefficienti dell'IPC nel tratto K6-K7 siano sempre maggiori rispetto ai tempi reali in tutte le gare analizzate, poiché tale comportamento implica una visione delle limitazioni fisiche delle classi maschili più significativa di quello che è realmente. Infatti, se per una classe il tempo previsto è maggiore rispetto a quello reale il metodo applicato indica implicitamente che mediamente le limitazioni fisiche degli atleti sono sovrastimate, mentre se il tempo previsto è minore di quello reale il metodo applicato indica implicitamente che le limitazioni fisiche degli atleti sono state considerate meno influenti sulla prestazione temporale media della classe rispetto a quella che è la realtà. Poiché la pendenza media del tratto K6-K7 è negativa e quindi il segmento è mediamente un tratto di discesa, è plausibile ipotizzare che le limitazioni fisiche degli atleti uomini influiscano in quantità minore rispetto alle previsioni dell'IPC. Si può osservare come il metodo 4 porti sempre a risultati temporali non accettabili sia per gli uomini che per le donne, con errori percentuali molto elevati. È plausibile ipotizzare che questi errori così elevati siano dovuti alla carenza di informazioni sulle velocità medie in tratti di discesa, poiché le pendenze calcolate per il segmento K6-K7 sono diverse da quelle del segmento K7-K8 di riferimento. Si può inoltre osservare come i metodi 1, 2 e 3 portino a risultati sempre accettabili per gli uomini, mentre per le donne si osserva circa un 44% di casi in cui i risultati non sono accettabili. In particolare, il 67% dei casi non accettabili è relativo alla classe LW10.5, evidenziando quindi un maggior problema di previsione per tale classe utilizzando questi tre metodi. Inoltre, è possibile osservare come il metodo 1 risulti sempre il miglior metodo di previsione temporale per tutte le classi femminili (senza considerare le classi per le quali si sono ottenuti dei tempi previsti non accettabili), mentre il metodo 2 risulti il migliore per le classi maschili nel 43% dei casi. Confrontando questi dati con quelli ottenuti per il segmento K3-K4, si osservano delle differenze per entrambi i generi, poiché per il segmento K3-K4 il metodo migliore è risultato il metodo 3 sia per gli uomini che per le donne, a differenza dei metodi 1 e 2 che sono risultati i migliori per il segmento K6-K7, rispettivamente per le donne e per gli uomini. Inoltre, confrontando i risultati dei due tratti misti con quelli ottenuti nel paragrafo 5.5.2 per le gare nel loro totale, si osserva come per le donne vi sia la coincidenza del metodo migliore trovato (metodo 1) col segmento K6-K7, mentre per gli uomini vi sia la coincidenza col metodo migliore trovato (metodo 3) col segmento K3-K4. In conclusione, non è possibile identificare univocamente un metodo che

risulti il migliore sia per i segmenti misti che per la gara totale, sia per gli uomini che per le donne. Si ipotizza quindi che il metodo che permette di predire meglio i tempi delle classi femminili possa essere il metodo 1, mentre possa essere il metodo 3 per le classi maschili.

## 5.6 Sensori inerziali

Nel paragrafo seguente è stata eseguita l'analisi dei tempi rilevati dal magnetometro al fine di valutare la bontà dei segnali forniti dal magnetometro rispetto ai tempi ricevuti dalla Time Company e quindi, di individuare gli istanti di tempo corrispondenti ai K di interesse per poter analizzare gli intertempi medi di ogni classe analizzata.

La valutazione della coerenza degli istanti temporali registrati dal magnetometro con quelli forniti dalla Time Company ha poi permesso di segmentare correttamente i dati forniti dall'accelerometro per poter associare correttamente ogni segmento analizzato con il tratto del segnale dell'accelerazione lineare corrispondente.

### 5.6.1 Magnetometro

Nei due paragrafi seguenti è prima trattata la bontà dei dati rilevati dal magnetometro rispetto ai dati forniti dalla Time Company e quindi i tempi relativi ad alcuni dei segmenti di interesse.

#### 5.6.1.1 Analisi della bontà dei dati rilevati dal magnetometro

Nelle sette figure seguenti sono riportati degli esempi del segnale acquisito dal magnetometro (MAG) sia originale che filtrato, in modo da poter valutare il livello di rumore e la necessità di eseguire il filtraggio. Si è scelto di rappresentare i segnali MAG acquisiti durante la competizione di XCM per due atleti appartenenti rispettivamente alle classi LW12 (atleta 9 e 11) ed LW11.5 (atleta 8) (Figura 5.57, 5.58) ed i segnali acquisiti durante le gare di XCL per tre atlete appartenenti rispettivamente alle classi LW10.5 (atleta 2), LW11 (atleta 7) ed LW12 (atleta 11) (Figura 5.59, 5.60, 5.61), e per due atleti appartenenti alla classe LW12 (atleta 14 e atleta 17) (Figura 5.62, 5.63).

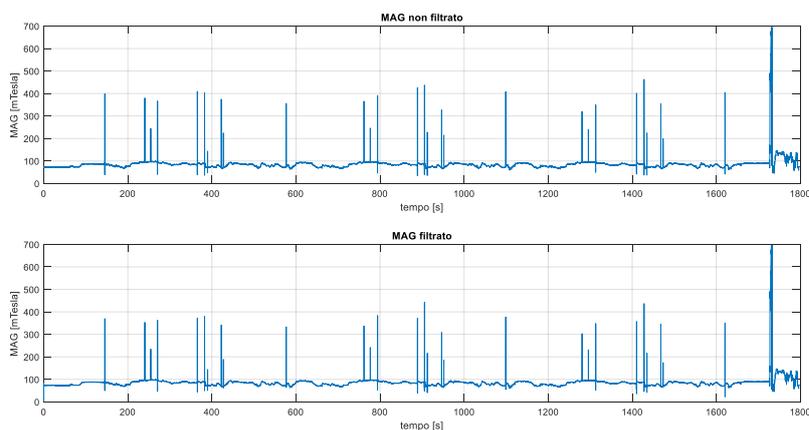


Figura 5.57: Segnali MAG dell'Atleta 8 uomo (classe LW11.5) acquisiti durante la gara di XCM.

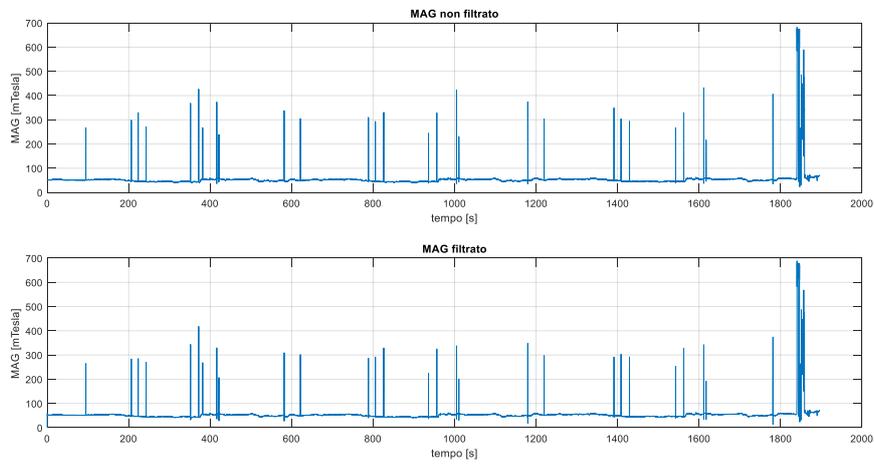


Figura 5.58: Segnali MAG dell'Atleta 9 uomo (classe LW12) acquisiti durante la gara di XCM.

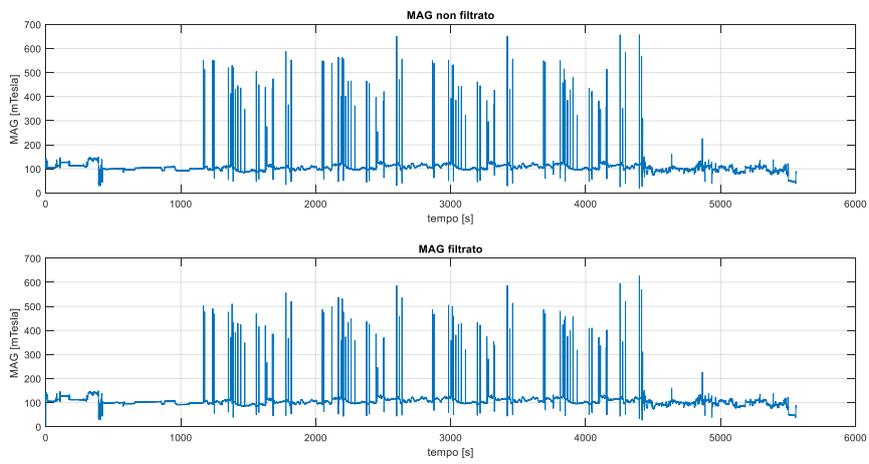


Figura 5.59: Segnali MAG dell'Atleta 2 donna (classe LW10.5) acquisiti durante la gara di XCL.

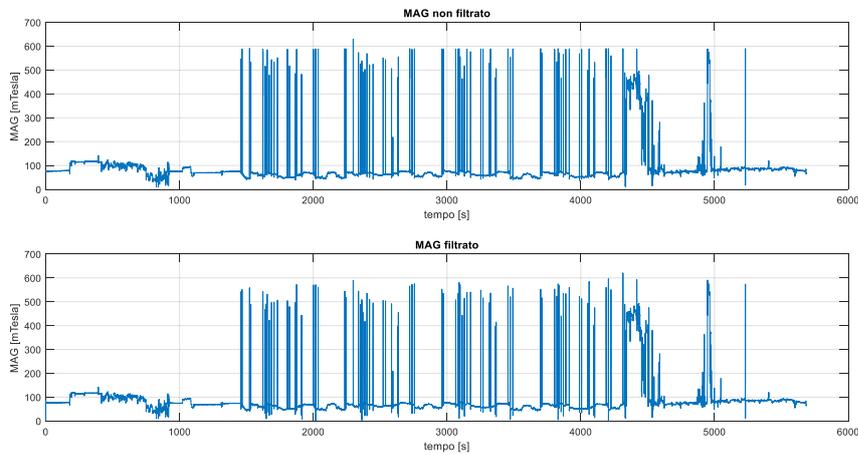


Figura 5.61: Segnali MAG dell'Atleta 7 donna (classe LW11) acquisiti durante la gara di XCL.

ha eliminato: 60

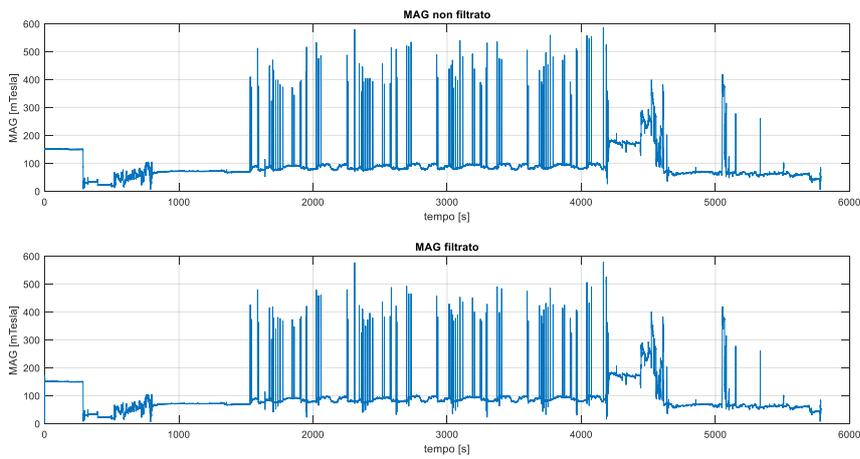


Figura 5.60: Segnali MAG dell'Atleta 11 donna (classe LW12) acquisiti durante la gara di XCL.

ha eliminato: 61

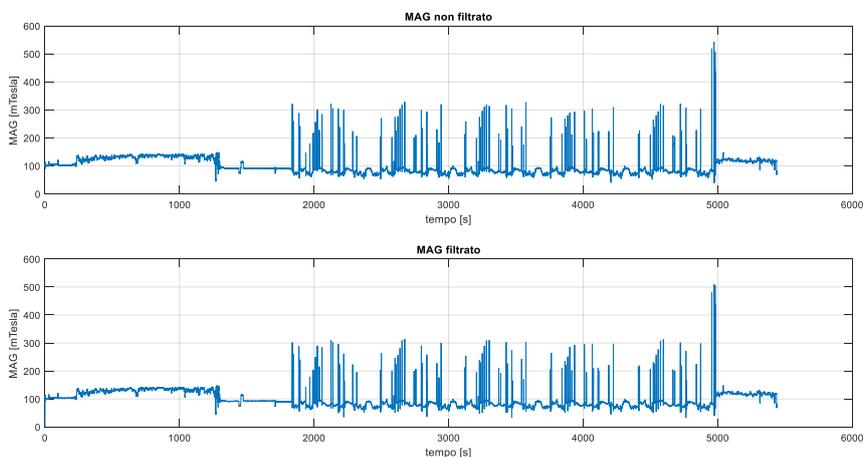


Figura 5.63: Segnali MAG dell'Atleta 14 uomo (classe LW12) acquisiti durante la gara di XCL.

ha eliminato: 62

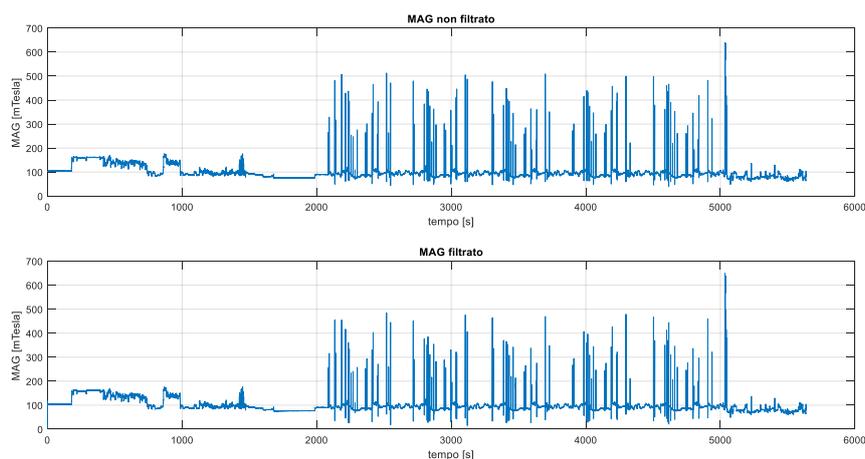


Figura 5.62: Segnali MAG dell'Atleta 17 uomo (classe LW12) acquisiti durante la gara di XCL.

ha eliminato: 63

Già visivamente è possibile osservare come i segnali MAG acquisiti durante la competizione di XCM maschile hanno pochi picchi rispetto alle gare di XCL maschile e femminile. Questa differenza è influenzata dal maggior numero di giri effettuati durante le gare di XCL rispetto alle gare di XCM. Inoltre, si è ipotizzato che tale differenza fosse legata ai diversi punti di rilevazione scelti, supponendo che per la gara di XCM si siano voluti rilevare solamente i picchi legati al passaggio dell'atleta ai K di interesse, mentre che per la gara di XCL si siano rilevati i picchi relativi anche ad altri punti del percorso, dei quali è noto il numero e il posizionamento lungo il percorso. Questa ipotesi è stata validata sia confrontando i tempi dei picchi relativi ai K di interesse con i valori forniti dalla Time Company, sia osservando il numero di checkpoint presenti tra K successivi inseriti per altri sistemi di rilevamento. Le

rilevazioni ottenute da questi altri punti del percorso non sono state oggetto di questa analisi. È comunque importante sottolineare come le rilevazioni del passaggio ai K di interesse non siano state rilevate tutte per tutti quanti gli atleti. Per esempio, durante la gara di XCM non il MAG non ha rilevato il passaggio in K6 dell'atleta 9 durante i giri 2 e 3, mentre nella gara di XCL maschile non sono stati per esempio rilevati i passaggi al K3 durante il primo giro e al K6 durante il primo ed il terzo giro per l'atleta 13. Inoltre, analizzando alcuni segnali è stato possibile notare alcuni errori di rilevazione del MAG, come per esempio la registrazione di un picco negativo in un istante temporale tra due K di interesse per l'atleta 8 nella gara di XCM oppure nella gara di XCL maschile per l'atleta 17 la rilevazione corretta di un picco positivo al passaggio in un K, il cui modulo però non è stato abbastanza elevato da superare la soglia imposta e che quindi è risultato simile al rumore, seppur corretto.

Poiché dai grafici delle gare XCM e XCL e per atleti maschi e femmine non si osservano variazioni rilevanti tra i segnali originali e quelli filtrati, si è scelto di proseguire l'analisi con i segnali MAG non filtrati per tutti gli atleti analizzati.

Nella Tabella 5.82 sono riportati gli errori percentuali medi e la deviazione standard per ogni classe di cui si sono elaborati i dati acquisiti per la gara di XCM maschile. Per la classe LW11.5 si è analizzato un solo atleta (atleta 8), per la classe LW12 si sono analizzati due atleti (atleti 9 e 11).

ERRORE PUNTUALE % MEDIO – XCM UOMINI						
K puntuali	Giro 1 [%]		Giro 2 [%]		Giro 3 [%]	
	LW 11.5	LW 12	LW 11.5	LW 12	LW 11.5	LW 12
K1	1.07	1.49 ± 0.02	0.13	0.21 ± 0.05	0.07	0.12 ± 0.00
K2	1.54	1.96 ± 0.05	0.26	0.36 ± 0.00	0.14	0.20 ± 0.01
K3	0.32	1.04 ± 0.12	0.09	0.22 ± 0.00	0.04	0.10 ± 0.00
K4	0.70	0.88 ± 0.06	0.23	0.28 ± 0.04	0.13	0.16 ± 0.01
K5	0.61	0.80 ± 0.00	0.19	0.24 ± 0.02	0.11	0.14 ± 0.01
K6	0.47	0.78 ± 0.00	0.16	0.25 ± 0.00	0.09	0.16 ± 0.00
K7	0.35	0.64 ± 0.03	0.13	0.21 ± 0.01	0.09	0.12 ± 0.02
K8	0.56	0.68 ± 0.02	0.18	0.24 ± 0.03	0.11	0.15 ± 0.00

Tabella 5.82: Errori puntuali percentuali medi con le relative deviazioni standard calcolati per le classi LW11.5 e LW12 durante la gara di XCM maschile.

Nelle figure seguenti (Figura 5.64, 5.65) sono riportati a sinistra la distribuzione delle coppie di dati MAG-TC (linea rossa) e la funzione ideale  $y=x$  (linea nera), mentre a destra sono riportate le differenze puntuali tra il tempo rilevato dalla Time Company (TC) e MAG. I dati mostrati sono stati ottenuti elaborando i dati acquisiti dal MAG per gli stessi atleti campioni utilizzati precedentemente per mostrare il segnale MAG.

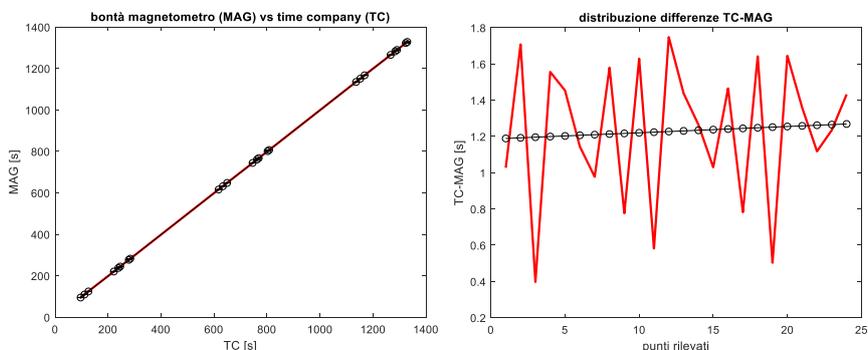


Figura 5.65; Atleta 8 uomo (LW11.5): (sinistra) Valutazione della bontà dei tempi rilevati dal MAG rispetto ai tempi forniti dalla TC; (destra) Distribuzione delle differenze puntuali tra i tempi TC e MAG.

ha eliminato: 64

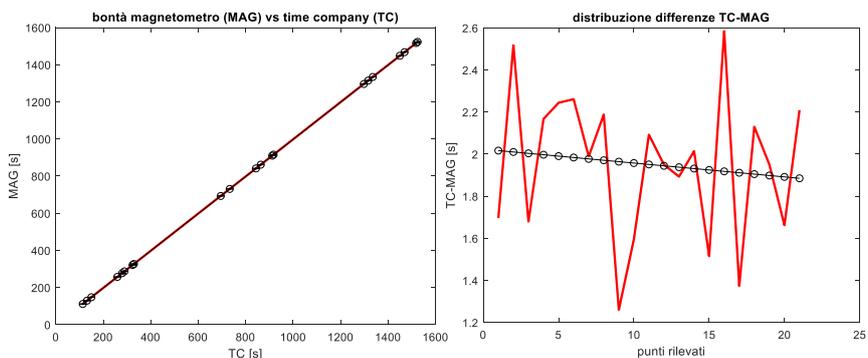


Figura 5.64; Atleta 9 uomo (LW12): (sinistra) Valutazione della bontà dei tempi rilevati dal MAG rispetto ai tempi forniti dalla TC; (destra) Distribuzione delle differenze puntuali tra i tempi TC e MAG.

ha eliminato: 65

Nella Tabella 5.83 sono riportati gli errori percentuali medi e deviazioni standard per ogni classe di cui si sono elaborati i dati acquisiti per la gara di XCL femminile. Per la classe LW10.5 si sono analizzati due atlete (atlete 2 e 3), per la classe LW11 si sono analizzati 2 atlete (atlete 6 e 7), per la classe LW12 si sono analizzati 2 atlete (atlete 11 e 12).

ERRORE PUNTUALE % MEDIO – XCL DONNE												
K puntuali	Giro 1 [%]			Giro 2 [%]			Giro 3 [%]			Giro 4 [%]		
	LW 10.5	LW 11	LW 12	LW 10.5	LW 11	LW 12	LW 10.5	LW 11	LW 12	LW 10.5	LW 11	LW 12
K1	1.45 ± 0.02	1.13 ± 0.21	1.30 ± 0.06	0.35 ± 0.04	0.27 ± 0.08	0.33 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.16 ± 0.03	0.19 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.13 ± 0.00
K2	1.09 ± 0.06	0.67 ± 0.18	0.90 ± 0.00	0.27 ± 0.02	0.18 ± 0.09	0.25 ± 0.00	0.15 ± 0.00	0.08 ± 0.04	0.14 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.06 ± 0.03	0.09 ± 0.00

K3	0.99 ± 0.30	0.67 ± 0.00	0.83 ± 0.02	0.24 ± 0.05	0.11 ± 0.06	0.21 ± 0.00	0.13 ± 0.01	0.06 ± 0.04	0.12 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.04 ± 0.04	0.08 ± 0.00
K4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K5	0.79 ± 0.04	0.58 ± 0.12	0.75 ± 0.02	0.28 ± 0.01	0.21 ± 0.05	0.28 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.13 ± 0.03	0.16 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.09 ± 0.04	0.11 ± 0.00
K6	0.69 ± 0.07	0.48 ± 0.13	0.64 ± 0.05	0.25 ± 0.01	0.17 ± 0.05	0.23 ± 0.00	0.16 ± 0.01	0.11 ± 0.04	0.14 ± 0.00	0.11 ± 0.01	0.08 ± 0.03	0.10 ± 0.00
K7	0.19 ± 0.03	0.10 ± 0.03	0.05 ± 0.03	0.07 ± 0.02	0.03 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.04 ± 0.01	0.02 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.00 ± 0.00
K8	0.46 ± 0.05	0.29 ± 0.11	0.34 ± 0.00	0.17 ± 0.01	0.11 ± 0.05	0.12 ± 0.00	0.11 ± 0.00	0.07 ± 0.03	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.00

Tabella 5.83: Errori puntuali percentuali medi con le relative deviazioni standard calcolati per le classi LW10.5, LW11 e LW12 durante la gara di XCL femminile.

Nelle figure seguenti (Figura 5.66, 5.67, 5.68) sono riportati a sinistra la distribuzione delle coppie di dati MAG-TC (linea rossa) e la funzione ideale  $y=x$  (linea nera), mentre a destra sono riportate le differenze puntuali tra il tempo rilevato dalla Time Company (TC) e MAG. I dati mostrati sono stati ottenuti elaborando i dati acquisiti dal MAG per gli stessi atleti campioni utilizzati precedentemente per mostrare il segnale MAG.

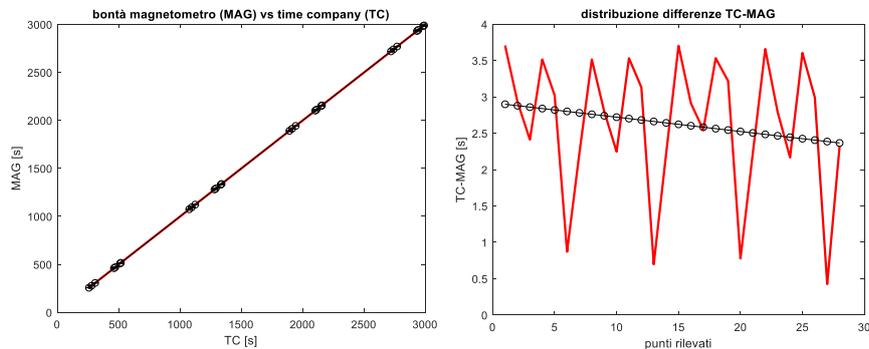


Figura 5.66: Atleta 2 donna (LW10.5): (sinistra) Valutazione della bontà dei tempi rilevati dal MAG rispetto ai tempi forniti dalla TC; (destra) Distribuzione delle differenze puntuali tra i tempi TC e MAG.

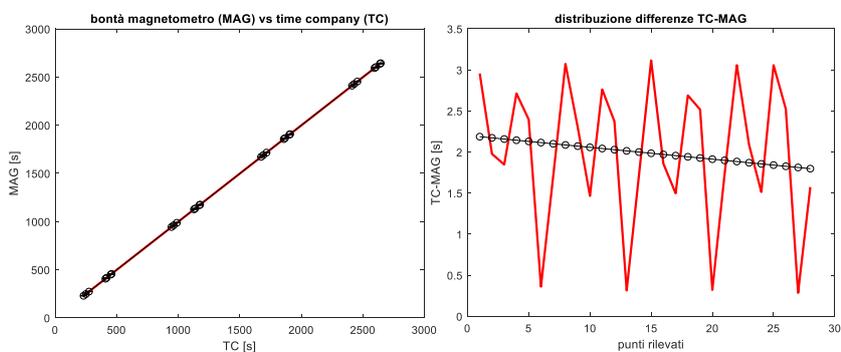


Figura 5.68: Atleta 7 donna (LW11): (sinistra) Valutazione della bontà dei tempi rilevati dal MAG rispetto ai tempi forniti dalla TC; (destra) Distribuzione delle differenze puntuali tra i tempi TC e MAG.

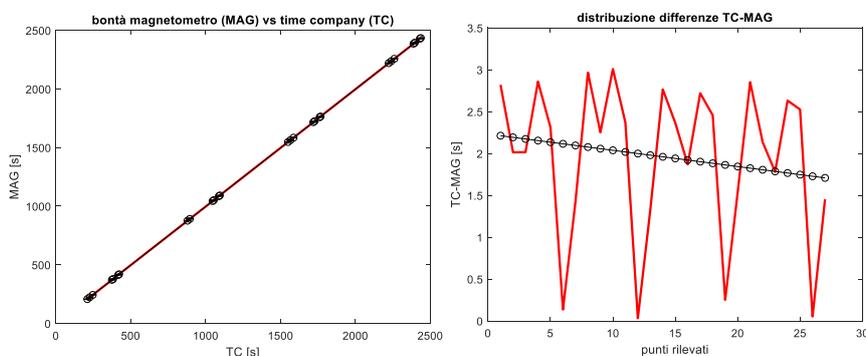


Figura 5.67: Atleta 11 donna (LW12): (sinistra) Valutazione della bontà dei tempi rilevati dal MAG rispetto ai tempi forniti dalla TC; (destra) Distribuzione delle differenze puntuali tra i tempi TC e MAG.

Nella Tabella 5.84 sono riportati gli errori percentuali medi e deviazione standard per ogni classe di cui si sono elaborati i dati acquisiti per la gara di XCL maschile. Si hanno atleti per la sola classe LW12 e si sono analizzati 5 atleti (atleti 10, 13, 14, 16 e 17).

ERRORE PUNTUALE % MEDIO – XCL UOMINI					
K puntuali	Giro 1 [%]	Giro 2 [%]	Giro 3 [%]	Giro 4 [%]	Giro 5 [%]
	LW 12				
K1	1.32 ± 0.14	0.31 ± 0.02	0.17 ± 0.01	0.27 ± 0.33	0.09 ± 0.01
K2	0.86 ± 0.12	0.23 ± 0.06	0.13 ± 0.02	0.25 ± 0.34	0.06 ± 0.01
K3	0.79 ± 0.21	0.21 ± 0.06	0.13 ± 0.02	0.08 ± 0.02	0.06 ± 0.02
K4	-	-	-	-	-
K5	0.71 ± 0.06	0.25 ± 0.02	0.15 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.08 ± 0.01
K6	0.57 ± 0.09	0.20 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.09 ± 0.02	0.07 ± 0.01
K7	0.06 ± 0.03	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.00

K8	$0.30 \pm 0.03$	$0.12 \pm 0.01$	$0.07 \pm 0.01$	$0.05 \pm 0.01$	$0.04 \pm 0.00$
----	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Tabella 5.84: Errori puntuali percentuali medi con le relative deviazioni standard calcolati per la classe LW12 durante la gara di XCL maschile.

Nelle figure seguenti (Figura 5.69, 5.70) sono riportati a sinistra la distribuzione delle coppie di dati MAG-TC (linea rossa) e la funzione ideale  $y=x$  (linea nera), mentre a destra sono riportate le differenze puntuali tra il tempo rilevato dalla Time Company (TC) e MAG. I dati mostrati sono stati ottenuti elaborando i dati acquisiti dal MAG per gli stessi atleti campioni utilizzati precedentemente per mostrare il segnale MAG.

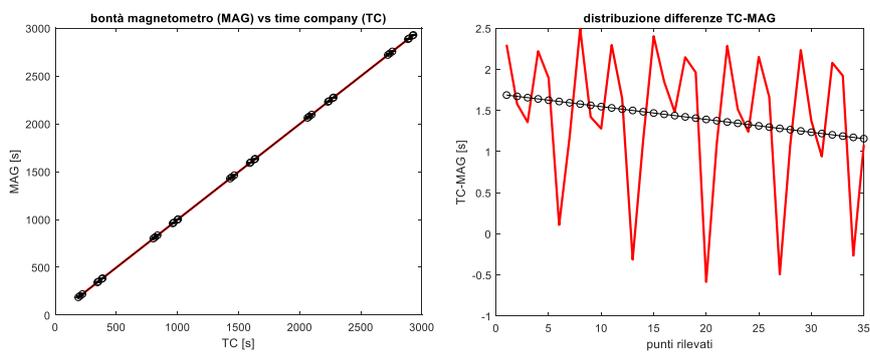


Figura 5.69: Atleta 14 uomo (LW12): (sinistra) Valutazione della bontà dei tempi rilevati dal MAG rispetto ai tempi forniti dalla TC; (destra) Distribuzione delle differenze puntuali tra i tempi TC e MAG.

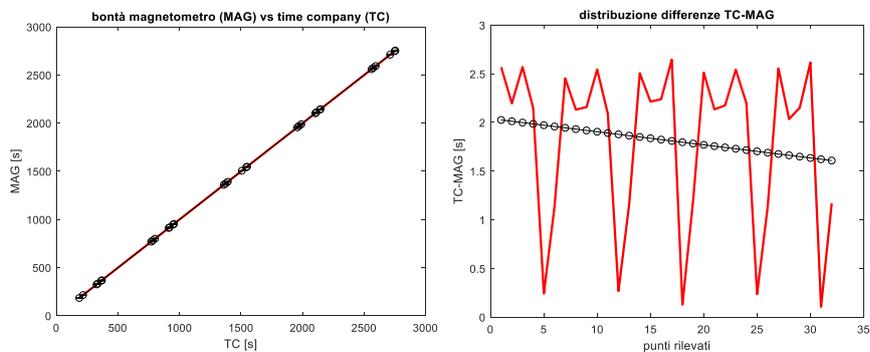


Figura 5.70: Atleta 17 uomo (LW12): (sinistra) Valutazione della bontà dei tempi rilevati dal MAG rispetto ai tempi forniti dalla TC; (destra) Distribuzione delle differenze puntuali tra i tempi TC e MAG.

Come si osserva dai valori di errore percentuali medi delle tabelle non si evidenziano differenze temporali tra gli istanti di acquisizione dei magnetometri e della Time Company per tutte e tre le competizioni. L'unico dato da sottolineare è il valore più elevato di deviazione standard relativa agli errori percentuali calcolati per i punti K1 e K2 durante il giro 4. Tali errori possono essere dovuti ad un ritardo e/o anticipo nel rilevamento dei due K per alcuni atleti da parte del magnetometro, o alla sbagliata associazione picco - K eseguita

in analisi. Dalle figure d'esempio, inoltre, si osserva una quasi perfetta tendenza dei dati reali all'idealità. È quindi possibile concludere che gli istanti di acquisizione dei magnetometri sono coerenti con gli istanti di rilevamento della TC e non presentano differenze tali da influire sulle successive analisi.

### 5.6.1.2 Confronto dei tempi dei segmenti

Nelle tabelle seguenti sono riportati i tempi medi per i 6 segmenti di interesse ottenuti analizzando i dati forniti dal magnetometro e della Time Company. Si riportano inoltre i relativi errori percentuali medi e deviazione standard. Ogni tabella comprende i dati relativi ad una sola competizione e ad una sola classe partecipante. Si sottolinea inoltre, che per le gare di XCL non è stato possibile valutare l'errore relativo al segmento K4-K5 (falsopiano) poiché i magnetometri non hanno mai rilevato il passaggio in K4 per nessun atleta ed in nessun giro.

Nella Tabella 5.85 e 5.86 sono riportati i valori calcolati durante la gara di XCM maschile, rispettivamente per le classi LW11.5 (atleta 8) e LW12 (atleti 9 e 11).

CROSS COUNTRY MIDDLE UOMINI – CLASSE LW 11.5									
Segmenti	Giro 1			Giro 2			Giro 3		
	TC [s]	MAG [s]	Errore %	TC [s]	MAG [s]	Errore %	TC [s]	MAG [s]	Errore %
K1 – K2	14.63	13.95	4.65	15.75	14.90	5.41	15.88	15.02	5.42
K2 – K3	14.81	16.12	8.85	16.31	17.36	6.42	16.31	17.45	6.98
K1 – K3	29.44	30.07	2.14	32.07	32.26	0.61	32.19	32.47	0.87
K4 – K5	17.05	17.15	0.60	16.42	16.73	1.89	17.42	17.71	1.64
K5 – K6	6.95	7.26	4.45	6.58	6.75	2.63	6.64	6.88	3.63
K7 – K8	5.65	5.05	10.67	5.66	5.22	7.69	5.47	5.27	3.60

Tabella 5.85: Valori temporali medi ed errori percentuali medi dei segmenti con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati forniti dalla TC ed acquisiti col MAG per la classe LW11.5 durante la gara di XCM maschile.

CROSS COUNTRY MIDDLE UOMINI – CLASSE LW 12									
Segmenti	Giro 1			Giro 2			Giro 3		
	TC [s]	MAG [s]	Errore %	TC [s]	MAG [s]	Errore %	TC [s]	MAG [s]	Errore %
K1 – K2	16.72 ± 1.37	15.89 ± 1.39	5.03 ± 0.56	15.19 ± 0.00	14.42 ± 0.00	5.09 ± 0.00	17.16 ± 1.72	16.07 ± 1.76	6.43 ± 0.87
K2 – K3	17.72 ± 1.28	18.69 ± 1.10	5.51 ± 1.44	17.25 ± 0.00	-	-	18.34 ± 1.64	19.62 ± 1.55	6.98 ± 1.10
K1 – K3	34.44 ± 2.65	34.57 ± 2.49	0.40 ± 0.50	35.19 ± 3.89	37.61 ± 0.0	0.88 ± 0.00	35.50 ± 3.36	35.68 ± 3.31	0.50 ± 0.19

K4 – K5	18.89 ± 1.63	18.93 ± 1.48	0.60 ± 0.31	18.67 ± 2.30	18.89 ± 2.20	1.18 ± 0.68	19.14 ± 0.93	19.30 ± 0.96	0.83 ± 0.11
K5 – K6	8.86 ± 1.37	9.81 ± 0.00	0.17 ± 0.00	8.95 ± 0.62	8.58 ± 0.00	0.78 ± 0.00	9.10 ± 1.45	8.01 ± 0.00	0.83 ± 0.00
K7 – K8	5.19 ± 0.40	5.03 ± 0.34	3.03 ± 0.86	5.69 ± 0.13	5.44 ± 0.31	4.38 ± 3.24	5.87 ± 0.49	5.47 ± 0.28	6.76 ± 2.88

Tabella 5.86: Valori temporali medi ed errori percentuali medi dei segmenti con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati forniti dalla TC ed acquisiti col MAG per la classe LW12 durante la gara di XCM maschile.

Dalle tabelle è possibile osservare come gli intertempi calcolati utilizzando i dati temporali acquisiti dal MAG siano sempre accettabili, ad eccezione del valore calcolato per la classe LW11.5 durante il primo passaggio nel segmento K7-K8 (errore maggiore del 10%). Inoltre, la maggior parte degli errori è risultata inferiore al 5%, con solo i segmenti K1-K2 (salita moderata), K2-K3 (salita ripida) e K7-K8 (discesa) per entrambe le classi aventi alcuni giri con errori compresi tra il 5% e il 10%. Infine, si sottolinea come per entrambe le classi alcuni errori dei segmenti K1-K3 (salita totale), K4-K5 (falsopiano) e K5-K6 (curva) siano anche inferiori all'1%. I valori di deviazione standard calcolati dai dati del MAG per la classe LW12 sono inoltre confrontabili con quelli ottenuti elaborando i dati temporali della TC, evidenziando quindi una distribuzione molto simile dei valori per ogni giro con entrambi i sistemi di rilevazione. Le informazioni temporali ottenute dai MAG, quindi, sono coerenti con i dati forniti dalla TC e, nel caso in cui non vi sia la rilevazione al passaggio in un K dal sistema della TC sembra possibile sostituire quel dato con il valore eventualmente rilevato dal MAG, sempre tenendo in considerazione l'errore associato a tale valore.

Nella Tabella 5.87, 5.88 e 5.89 sono riportati i valori calcolati durante la gara di XCL femminile, rispettivamente per le classi LW10.5 (atlete 2 e 3), LW11 (atlete 6 e 7) e LW12 (atlete 11 e 12).

CROSS COUNTRY LONG DONNE – CLASSE LW 10.5												
Segment i	Giro 1			Giro 2			Giro 3			Giro 4		
	TC [s]	MA G [s]	Error e %									
K1 – K2	21.6 9 ± 1.15	22.39 ± 1.05	3.25 ± 0.65	21.9 4 ± 2.30	22.76 ± 2.45	3.72 ± 0.29	21.9 1 ± 1.45	22.87 ± 1.69	4.35 ± 0.79	22.6 6 ± 3.31	23.56 ± 3.37	4.01 ± 0.36
K2 – K3	31.4 9 ± 3.36	31.45 ± 2.55	1.80 ± 0.03	31.9 6 ± 5.53	32.29 ± 5.20	1.13 ± 1.20	32.6 8 ± 3.53	33.02 ± 3.49	1.03 ± 0.25	34.1 5 ± 5.53	34.93 ± 5.74	2.26 ± 0.27
K1 – K3	53.1 8 ± 4.51	53.84 ± 3.60	1.30 ± 1.82	53.9 0 ± 7.82	55.05 ± 7.65	2.17 ± 0.64	54.5 9 ± 4.99	55.88 ± 5.18	2.36 ± 0.13	56.8 1 ± 8.84	58.49 ± 9.11	2.96 ± 0.01
K4 – K5	22.3 1 ± 1.50	-	-	23.7 2 ± 1.73	-	-	24.2 5 ± 2.92	-	-	24.0 7 ± 1.50	-	-

K5 – K6	11.2 1 ± 0.66	11.60 ± 0.51	3.52 ± 1.52	11.2 4 ± 0.52	11.66 ± 0.54	3.69 ± 0.01	12.5 2 ± 2.87	12.81 ± 2.84	2.38 ± 0.85	12.0 5 ± 0.71	12.54 ± 0.53	4.08 ± 1.70
K7 – K8	6.53 ± 0.18	5.05 ± 0.01	22.58 ± ± 1.91	6.65 ± 0.08	5.14 ± 0.08	22.79 ± ± 0.18	6.56 ± 0.05	5.12 ± 0.06	21.97 ± ± 0.43	6.81 ± 0.31	5.13 ± 0.00	24.54 ± ± 3.40

Tabella 5.87: Valori temporali medi ed errori percentuali medi dei segmenti con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati forniti dalla TC ed acquisiti col MAG per la classe LW10.5 durante la gara di XCL femminile.

CROSS COUNTRY LONG DONNE – CLASSE LW 11												
Segment i	Giro 1			Giro 2			Giro 3			Giro 4		
	TC [s]	MA G [s]	Error e %									
K1 – K2	19.4 4 ± 2.12	20.43 ± 2.13	5.09 ± 0.52	20.0 6 ± 2.56	20.95 ± 2.73	4.40 ± 0.27	20.2 2 ± 3.14	21.58 ± 3.28	6.74 ± 0.34	20.4 7 ± 4.29	21.64 ± 4.57	5.69 ± 0.18
K2 – K3	25.6 8 ± 0.00	25.81 ± 0.00	0.51 ± 0.00	26.7 1 ± 1.55	27.38 ± 1.30	2.52 ± 1.07	28.3 1 ± 2.83	28.70 ± 2.87	1.38 ± 0.02	28.5 0 ± 4.16	29.19 ± 4.33	2.42 ± 0.25
K1 – K3	43.6 2 ± 0.00	44.73 ± 0.00	2.54 ± 0.00	46.7 8 ± 4.11	48.33 ± 4.03	3.34 ± 0.46	48.5 3 ± 5.96	50.28 ± 6.15	3.61 ± 0.06	48.9 7 ± 8.44	50.83 ± 8.90	3.78 ± 0.27
K4 – K5	21.5 0 ± 3.00	-	-	21.4 4 ± 2.65	-	-	22.5 0 ± 2.30	-	-	22.4 7 ± 3.23	-	-
K5 – K6	9.78 ± 0.84	10.16 ± 0.93	3.85 ± 0.56	10.0 3 ± 0.57	10.49 ± 0.68	4.60 ± 0.78	10.1 8 ± 0.18	10.52 ± 0.05	3.30 ± 2.30	10.4 6 ± 0.93	10.86 ± 0.73	3.85 ± 2.25
K7 – K8	6.62 ± 0.49	5.10 ± 0.24	22.89 ± ± 2.09	6.46 ± 0.18	5.04 ± 0.13	22.06 ± ± 0.04	6.46 ± 0.09	5.05 ± 0.08	21.92 ± ± 0.14	6.74 ± 0.49	5.13 ± 0.02	23.79 ± ± 5.18

Tabella 5.88: Valori temporali medi ed errori percentuali medi dei segmenti con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati forniti dalla TC ed acquisiti col MAG per la classe LW11 durante la gara di XCL femminile.

CROSS COUNTRY LONG DONNE – CLASSE LW 12												
Segment i	Giro 1			Giro 2			Giro 3			Giro 4		
	TC [s]	MA G [s]	Error e %									
K1 – K2	15.5 0 ± 0.00	16.31 ± 0.00	5.20 ± 0.00	16.0 3 ± 0.66	16.72 ± 0.62	4.25 ± 0.46	16.6 3 ± 0.18	17.26 ± 0.51	3.80 ± 1.95	16.3 8 ± 0.44	17.16 ± 0.54	4.78 ± 0.45
K2 – K3	20.7 4 ± 0.00	20.74 ± 0.00	0.01 ± 0.00	21.7 4 ± 0.00	22.05 ± 0.00	1.41 ± 0.00	21.6 8 ± 1.06	21.96 ± 0.75	1.31 ± 1.49	21.9 0 ± 0.93	22.17 ± 0.80	1.21 ± 0.64
K1 – K3	37.3 4 ± 1.55	38.02 ± 1.37	1.84 ± 0.54	38.2 5 ± 0.00	39.20 ± 0.00	2.50 ± 0.00	38.3 1 ± 1.24	39.22 ± 1.26	2.38 ± 0.02	38.2 8 ± 1.37	39.33 ± 1.34	2.74 ± 0.19

K4 – K5	19.1 2 ± 1.33	-	-	19.1 3 ± 0.26	-	-	18.7 5 ± 0.18	-	-	19.0 0 ± 0.88	-	-
K5 – K6	8.28 ± 0.57	8.64 ± 0.31	4.49 ± 3.49	8.24 ± 0.09	8.77 ± 0.07	6.38 ± 2.00	8.40 ± 0.13	8.66 ± 0.15	3.00 ± 0.14	8.84 ± 0.13	8.97 ± 0.17	1.49 ± 0.39
K7 – K8	6.15 ± 0.26	4.94 ± 0.16	19.64 ± 0.91	6.31 ± 0.04	4.93 ± 0.07	21.81 ± 1.65	6.15 ± 0.09	4.87 ± 0.08	20.80 ± 0.21	6.34 ± 0.18	4.94 ± 0.17	22.03 ± 0.50

Tabella 5.89: Valori temporali medi ed errori percentuali medi dei segmenti con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati forniti dalla TC ed acquisiti col MAG per la classe LW12 durante la gara di XCL femminile.

Dalle tre tabelle precedenti è possibile osservare come gli intertempi calcolati utilizzando i dati temporali acquisiti dal MAG siano sempre accettabili, ad eccezione del valore calcolato durante ogni passaggio nel segmento K7-K8 (errore maggiore del 10%) per tutte e tre le classi femminili. Per ogni classe, inoltre, il valore temporale del segmento K7-K8 (discesa) è risultato sempre inferiore a quello ottenuto elaborando i dati forniti dalla TC, ed in ogni giro non si è evidenziata un'elevata distribuzione dei valori. È quindi possibile ipotizzare che il MAG abbia rilevato il passaggio in ritardo in K7 e/o in anticipo in K8 per tutte le atlete in modo omogeneo, causando sempre un valore dell'intertempo inferiore a quello della TC. Inoltre, la maggior parte degli errori è risultata inferiore al 5%, con solo i valori rilevati per alcuni giri dei segmenti K1-K2 (salita moderata) e K5-K6 (curva) per le classi LW11 ed LW12 compresi tra il 5% e il 10%. Inoltre, si sottolinea come per le classi LW11 ed LW12 si sono registrati degli errori inferiori all'1% solamente durante il primo giro nel segmento K2-K3 (salita ripida). Per tutte e tre le classi, i valori di deviazione standard calcolati dai dati del MAG sono inoltre confrontabili con quelli ottenuti elaborando i dati temporali della TC, evidenziando quindi una distribuzione simile dei valori per ogni giro con entrambi i sistemi di rilevazione. Le informazioni temporali ottenute dai MAG, quindi, sono coerenti con i dati forniti dalla TC e, nel caso in cui non vi sia la rilevazione al passaggio in un K dal sistema della TC è possibile sostituire quel dato con il valore eventualmente rilevato dal MAG, sempre tenendo in considerazione l'errore associato a tale valore.

Nella Tabella 5.90 sono riportati i valori calcolati durante la gara di XCL maschile per la classe LW12 (atleti 10, 13, 14, 16 e 17).

CROSS COUNTRY LONG MASCHILE – CLASSE LW 12															
Se g	Giro 1			Giro 2			Giro 3			Giro 4			Giro 5		
	TC [s]	MA G [s]	E %	TC [s]	MA G [s]	E %									
K1 – K2	14.7 0 ± 0.98	15.4 5 ± 1.25	4.94 ± 0.69	14.1 3 ± 0.60	14.8 1 ± 0.85	4.78 ± 2.48	14.6 7 ± 0.74	15.2 4 ± 0.79	3.84 ± 1.42	14.7 4 ± 0.74	15.2 4 ± 0.58	3.43 ± 2.12	15.4 3 ± 1.47	16.1 4 ± 1.49	4.66 ± 0.94
K2 – K3	17.8 5 ± 1.79	19.4 4 ± 0.13	0.94 ± 0.30	17.9 4 ± 1.25	18.0 1 ± 1.24	0.57 ± 0.34	18.2 8 ± 1.16	18.3 3 ± 1.36	0.69 ± 0.78	19.0 7 ± 1.12	22.6 3 ± 7.81	18.2 1 ± 37.7 0	19.8 7 ± 1.72	19.9 4 ± 1.97	1.17 ± 0.66
K1 – K3	32.3 1 ± 2.52	33.8 4 ± 2.31	1.84 ± 0.82	32.0 7 ± 1.80	32.8 2 ± 2.07	2.31 ± 1.04	33.4 4 ± 1.90	34.0 9 ± 2.10	1.94 ± 0.70	33.8 1 ± 1.66	37.8 6 ± 8.25	11.5 1 ± 20.0 7	35.4 5 ± 3.32	36.2 4 ± 3.57	2.20 ± 0.97

K4 - K5	17.0 9 ± 1.09	-	-	17.2 6 ± 0.93	-	-	17.7 2 ± 1.01	-	-	17.7 5 ± 1.16	-	-	18.1 1 ± 1.35	-	-
K5 - K6	8.03 ± 0.41	8.49 ± 0.38	4.82 ± 2.14	7.73 ± 0.24	8.21 ± 0.29	6.22 ± 1.47	7.98 ± 0.31	8.68 ± 0.29	6.84 ± 4.10	8.30 ± 0.43	8.59 ± 0.44	3.57 ± 2.12	8.13 ± 0.41	8.67 ± 0.28	4.27 ± 2.68
K7 - K8	5.64 ± 0.28	4.59 ± 0.15	18.5 0 ± 2.47	5.86 ± 0.32	4.63 ± 0.13	20.8 1 ± 3.15	6.11 ± 0.40	4.67 ± 0.14	23.4 1 ± 3.51	5.90 ± 0.36	4.63 ± 0.12	21.3 2 ± 3.30	5.92 ± 0.25	4.64 ± 0.16	21.5 5 ± 1.67

Tabella 5.90: Valori temporali medi ed errori percentuali medi dei segmenti con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati forniti dalla TC ed acquisiti col MAG per la classe LW12 durante la gara di XCL maschile.

Dalla Tabella 5.90 è possibile osservare come gli intertempi calcolati utilizzando i dati temporali acquisiti dal MAG siano sempre accettabili, ad esclusione di tutti i valori calcolati per il segmento K7-K8 (discesa) ed i valori di K2-K3 (salita ripida) e K1-K3 (salita totale) durante il giro 4 (errore maggiore del 10%). Osservando i bassi valori di deviazione standard del segmento K7-K8 (discesa) è possibile ipotizzare che, come per le donne, per il segmento K7-K8 (discesa) il MAG abbia rilevato il passaggio in ritardo in K7 e/o in anticipo in K8 per tutti gli atleti in modo omogeneo, causando sempre un valore dell'intervallo inferiore a quello della TC. Per quanto riguarda i tempi dei segmenti K2-K3 (salita ripida) e K1-K3 (salita totale) giro 4, è plausibile ipotizzare che vi sia stato un ritardo nella rilevazione del passaggio di alcuni atleti in K3, causando quindi un valore medio più elevato rispetto a quello calcolato con i dati della TC ed una maggiore dispersione dei dati, evidenziata dall'elevato valore di deviazione standard. La maggior parte degli errori, comunque, è risultata inferiore al 5%, con solo il passaggio al giro 2 e 3 nel segmento K5-K6 (curva) che presenta degli errori compresi tra il 5% e il 10%. Infine, si sottolinea come per tutti i primi tre giri gli errori percentuali del segmento K2-K3 (salita ripida) siano inferiori all'1%. Ad esclusione dei valori già evidenziati, le deviazioni standard ottenute sono confrontabili con i valori ottenuti elaborando i dati temporali della TC, evidenziando quindi una distribuzione molto simile dei valori per ogni giro con entrambi i sistemi di rilevazione. Le informazioni temporali ottenute dai MAG, quindi, sono coerenti con i dati forniti dalla TC e, nel caso in cui non vi sia la rilevazione al passaggio in un K dal sistema della TC è possibile sostituire quel dato con il valore eventualmente rilevato dal MAG, sempre tenendo in considerazione l'errore associato a tale valore.

In conclusione, quindi, trovando nel complesso un errore percentuale minore del 5% tra i tempi forniti dalla Time Company e quelli ottenuti dal calcolo con il magnetometro sia nelle gare di XCM maschile e XCL femminile e maschile risulta ragionevole utilizzare i valori medi ottenuti analizzando i dati forniti dal MAG per ottenere i tempi medi dei segmenti di interesse. Questa applicazione è molto vantaggiosa nel caso in cui sorga un problema di rilevazione col sistema utilizzato dalla TC, come avvenuto, per esempio, durante le gare di BS femminile e maschile durante i passaggi in K4 durante il giro 3. Sempre della gara di BS, per quanto riguarda invece gli intertempi del segmento K7-K8 (discesa) che non è stato possibile calcolare per un errore del sistema di rilevazione in K7 durante tutto l'arco della gara, gli errori ottenuti dalla gara di XCM maschile renderebbero ragionevole applicare gli eventuali dati ottenuti dal MAG in questo segmento, ma gli errori ottenuti in entrambe le competizioni di XCL escluderebbero questa possibilità. È quindi importante eseguire ulteriori analisi volte a questa applicazione del magnetometro per poter correttamente scambiare e/o sofferire alla mancanza dei dati acquisiti dalla TC durante le competizioni.

### 5.6.2 Analisi delle accelerazioni lineari

Nelle figure seguenti sono riportati degli esempi del segnale acquisito dall'accelerometro nei quattro segmenti di percorso analizzati di salita moderata (K1-K2), salita ripida (K2-K3), curva (K5-K6) e discesa (K7-K8), in modo da poter eseguire una prima analisi qualitativa dei segnali. Si è scelto di rappresentare i segnali acquisiti di un solo atleta per ciascuna gara analizzata (XCM maschile, XCL femminile e maschile). In particolare, per la gara di XCM maschile si sono riportati i grafici dell'atleta 8 (classe LW11.5), dell'atleta 2 (classe LW10.5) per la gara di XCL femminile e dell'atleta 14 (classe LW12) per la gara di XCL maschile.

#### CROSS COUNTRY MIDDLE MASCHILE – CLASSE LW 11.5

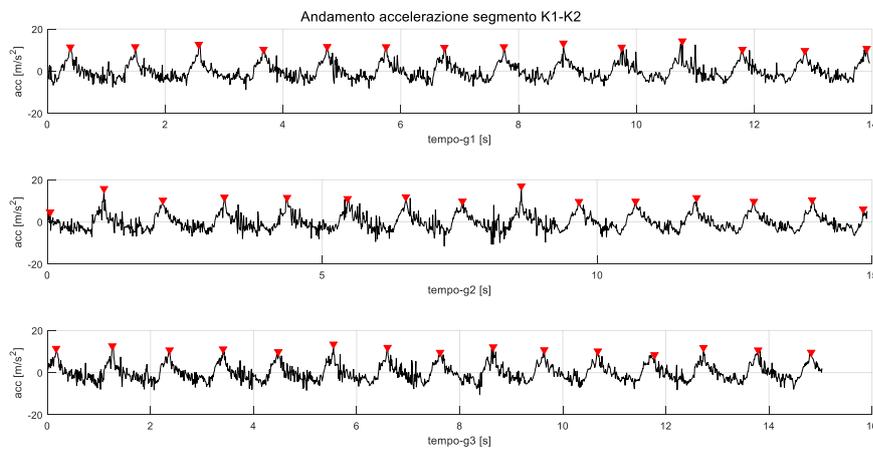


Figura 5.71: Atleta 8 (classe LW11.5): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K1-K2 (salita moderata) per i tre giri della gara di XCM uomini.

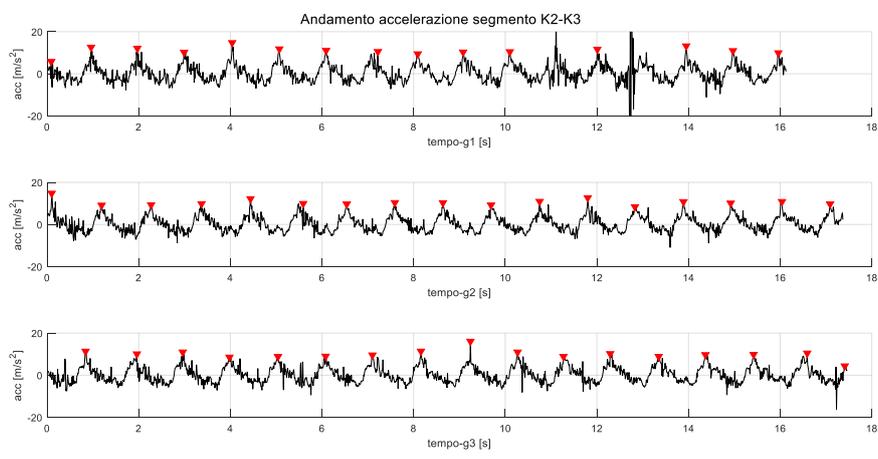


Figura 5.72: Atleta 8 (classe LW11.5): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K2-K3 (salita ripida) per i tre giri della gara di XCM uomini.

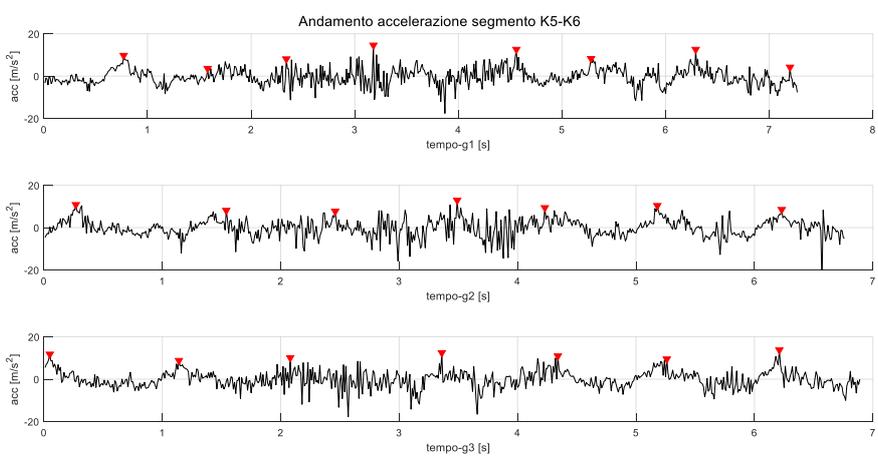


Figura 5.73: Atleta 8 (classe LW11.5): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K5-K6 (curva) per i tre giri della gara di XCM uomini.

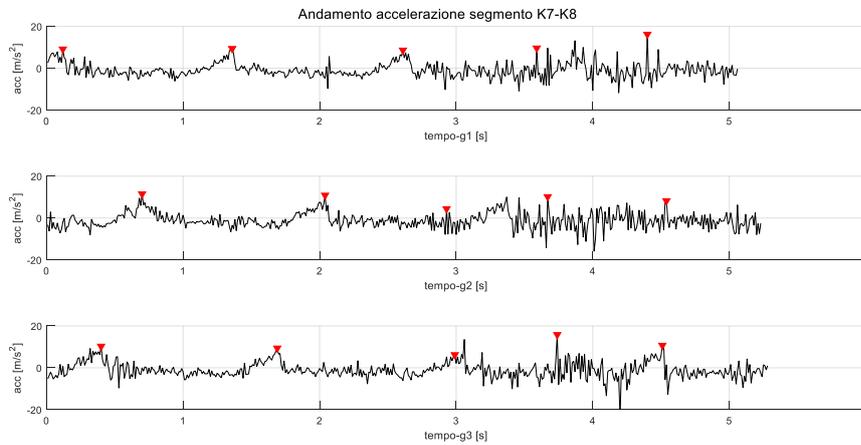


Figura 5.74: Atleta 8 (classe LW11.5): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K7-K8 (discesa) per i tre giri della gara di XCM uomini.

#### CROSS COUNTRY LONG FEMMINILE – CLASSE LW 10.5

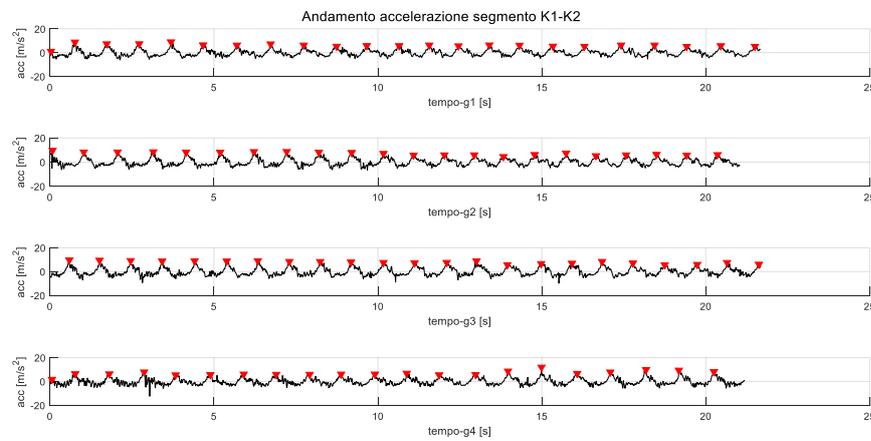


Figura 5.75: Atleta 2 (classe LW10.5): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K1-K2 (salita moderata) per i quattro giri della gara di XCL donne.

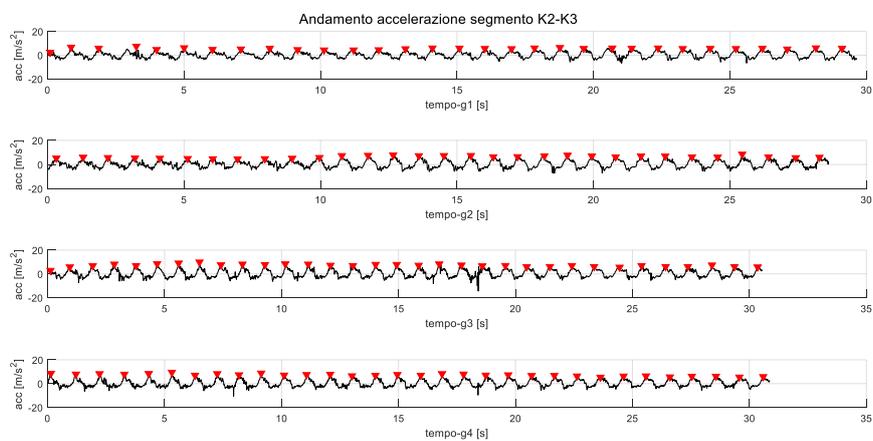


Figura 5.76: Atleta 2 (classe LW10.5): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K2-K3 (salita ripida) per i quattro giri della gara di XCL donne.

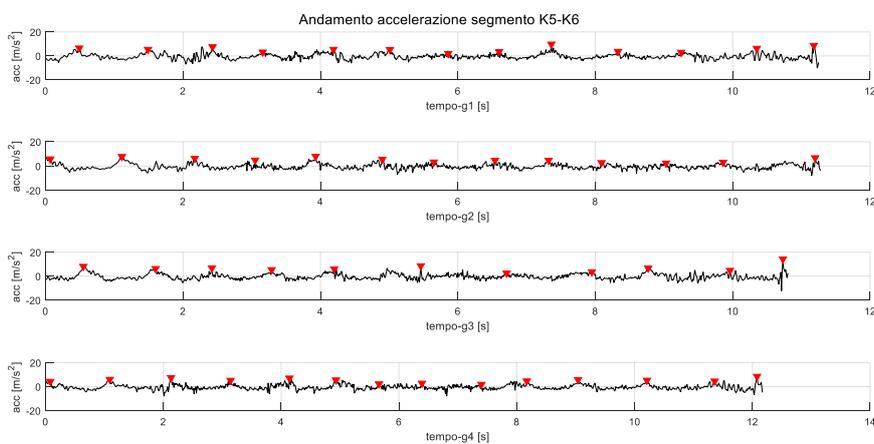


Figura 5.77: Atleta 2 (classe LW10.5): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K5-K6 (curva) per i quattro giri della gara di XCL donne.

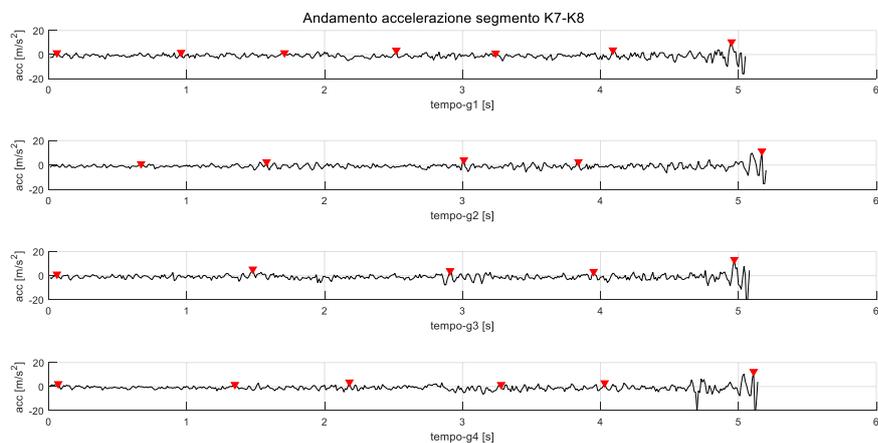


Figura 5.78: Atleta 2 (classe LW10.5): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K7-K8 (discesa) per i quattro giri della gara di XCL donne.

**CROSS COUNTRY LONG MASCHILE – CLASSE LW 12**

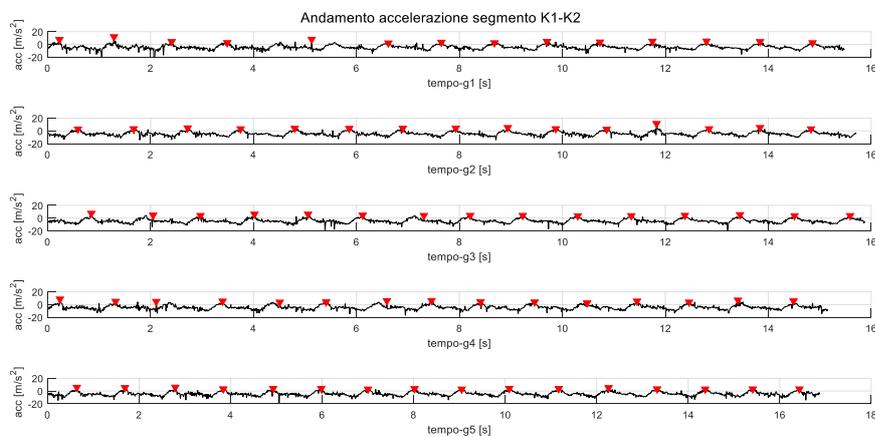


Figura 5.79: Atleta 14 (classe LW12): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K1-K2 (salita moderata) per i cinque giri della gara di XCL uomini.

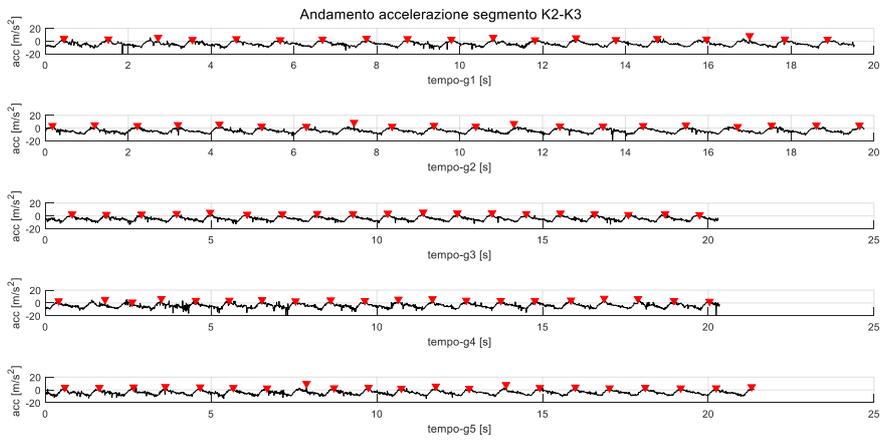


Figura 5.80: Atleta 14 (classe LW12): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K2-K3 (salita ripida) per i cinque giri della gara di XCL uomini.

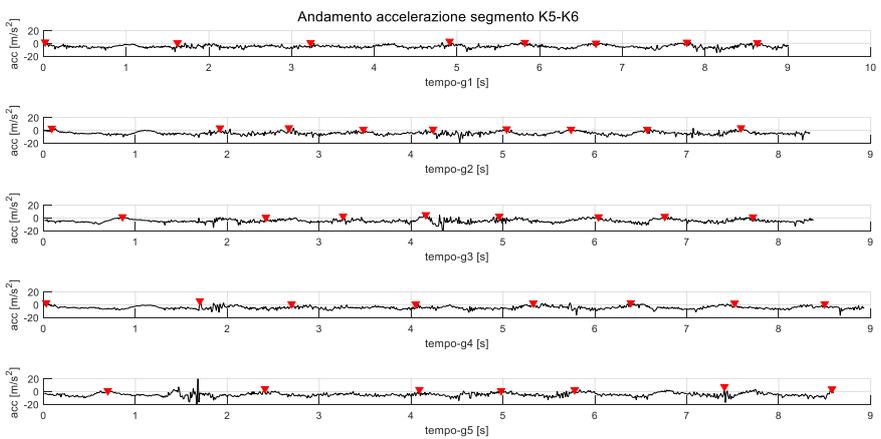


Figura 5.81: Atleta 14 (classe LW12): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K5-K6 (curva) per i cinque giri della gara di XCL uomini.

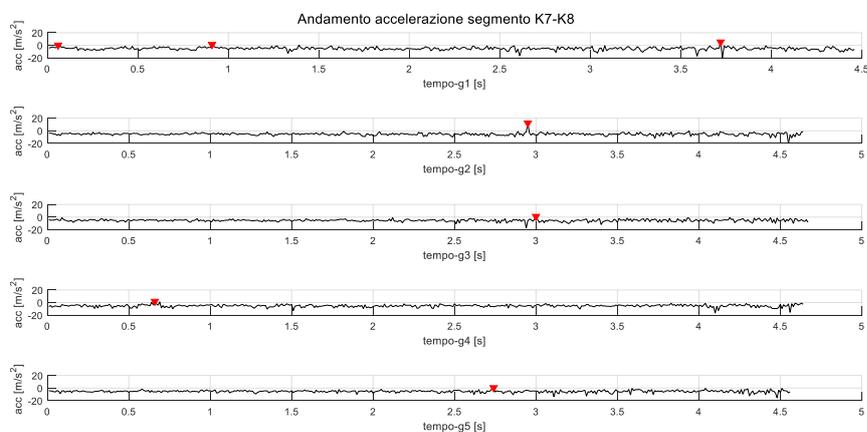


Figura 5.82: Atleta 14 (classe LW12): andamento dell'accelerazione lineare rilevato nel segmento K7-K8 (discesa) per i cinque giri della gara di XCL uomini.

Dalle figure sopra riportate è possibile osservare segnali molto diversi tra i segmenti di salita, curva e discesa. In particolare, per tutti e tre gli atleti riportati ad esempio è possibile notare come i segnali dei segmenti K1-K2 (salita moderata) e K2-K3 (salita ripida) presentino picchi ben visibili e identificabili. I segnali mostrano la comparsa repentina dei picchi e quindi una diminuzione più lenta dell'accelerazione fino all'inizio del ciclo successivo. In un ciclo il picco di accelerazione dovrebbe corrispondere all'istante appena precedente il distacco dei bastoncini dalla neve, mentre durante il resto del ciclo l'atleta porta i bastoncini dalla posizione posteriore post spinta a quella anteriore per eseguire il caricamento e prestarsi ad effettuare una nuova spinta. Sempre per tutti e tre gli atleti si osserva come il segnale nel segmento curvo K5-K6 (curva) presenti ancora qualche picco individuabile, ma il segnale è discontinuo e non si osserva una vera e propria forma d'onda che si ripete ciclicamente come per i segmenti di salita. Infine, il segnale registrato nel tratto di discesa K7-K8 (discesa) non presenta né forme d'onda con ripetizione ciclica né la presenza chiaramente identificabile di picchi. È possibile che la presenza di picchi rilevati durante l'elaborazione di questo segmento (identificati da triangoli rossi) sia legata alla presenza di rumore legata alla strumentazione e all'ambiente.

Per poter eseguire un'analisi più quantitativa dei segnali di accelerazione si sono calcolati, per ogni giro, i valori dell'accelerazione lineare media e i valori medi dei picchi per ogni ciclo dei 4 segmenti di interesse (salita media, salita ripida, curva e discesa) ottenuti analizzando i dati forniti dall'accelerometro. I risultati sono stati riportati all'interno delle seguenti tabelle, comprendenti i dati relativi ad una sola competizione, ad una sola classe partecipante e ad un solo genere.

Nella Tabella 5.91 e 5.92 sono riportati i valori calcolati durante la gara di XCM maschile, rispettivamente per le classi LW11.5 (atleta 8) e LW12 (atleti 9 e 11).

CROSS COUNTRY MIDDLE MASCHILE – CLASSE LW11.5						
Segmenti	Accelerazione media [m/s <sup>2</sup> ]			Picco accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]		
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 1	Giro 2	Giro 3

K1 – K2	0.10	-0.04	0.09	11.56	10.71	10.98
K2 – K3	0.37	0.41	0.30	13.10	10.48	9.94
K5 – K6	-0.30	-0.09	-0.09	9.22	9.71	11.04
K7 – K8	-0.86	-1.07	-1.06	10.61	9.04	10.49

Tabella 5.91: Valori di accelerazione lineare media e valor medio dei picchi con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati acquisiti con l'accelerometro per la classe LW11.5 durante la gara di XCM maschile.

<b>CROSS COUNTRY MIDDLE MASCHILE – CLASSE LW12</b>						
Segmenti	Accelerazione media [m/s <sup>2</sup> ]			Picco accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]		
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 1	Giro 2	Giro 3
K1 – K2	0.63 ± 0.70	1.01 ± 0.00	0.50 ± 0.71	10.43 ± 2.87	13.24 ± 0.00	9.96 ± 2.69
K2 – K3	0.98 ± 0.82	-	0.89 ± 0.78	10.54 ± 2.28	-	10.33 ± 2.43
K5 – K6	-0.34 ± 0.00	0.54 ± 0.00	0.61 ± 0.00	5.86 ± 0.00	8.44 ± 0.00	8.87 ± 0.00
K7 – K8	-0.36 ± 0.71	-0.61 ± 0.67	-0.59 ± 0.84	10.12 ± 6.80	5.68 ± 0.93	5.48 ± 0.66

Tabella 5.92: Valori di accelerazione lineare media e valor medio dei picchi con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati acquisiti con l'accelerometro per la classe LW12 durante la gara di XCM maschile.

Dalle due tabelle precedenti (Tabella 5.91 e 5.92) è possibile osservare come l'accelerazione media lungo la direzione principale del moto presenti valori compresi tra  $\pm 1 \text{ m/s}^2$ . In particolare, per entrambe le classi si osserva che i valori medi positivi più elevati sono stati rilevati nel tratto di salita più ripida, a sottolineare come gli atleti tendano mediamente ad accelerare all'interno del ciclo nonostante la maggiore pendenza del tratto analizzato, mentre i valori medi negativi maggiori in modulo sono stati rilevati per entrambe le classi nel tratto di discesa, indicando quindi come gli atleti tendano a frenare diminuendo la propria velocità, probabilmente per poter avere maggiore stabilità. Questa ipotesi può essere confermata osservando come la decelerazione media della classe LW11.5 sia maggiore di quella della classe LW12, poiché la seconda comprende atleti con un livello maggiore di controllo del tronco. È comunque necessario sottolineare come i valori di deviazione standard associati all'accelerazione media della classe LW12 siano elevati e presentino lo stesso ordine di grandezza del valor medio, evidenziando quindi un'elevata variabilità all'interno della classe stessa. Analizzando i dati relativi ai valori medi dei picchi al giro, non si osservano significative variazioni di valori per la classe LW11.5 nei quattro segmenti analizzati, mentre per la classe LW12 si osserva come la media dei picchi di accelerazione più elevati si siano registrati nei due tratti di salita, mostrando come gli atleti tendano ad imprimere una forza maggiore per percorrere tali tratti. Questo evidenzia come gli atleti siano energeticamente e muscolarmente più impegnati nei tratti di salita, come era logico aspettarsi dovendo compensare l'accelerazione di gravità, rispetto ai tratti più tecnici rappresentati dal segmento K5-K6 (curva) e dal tratto di discesa K7-K8 dove risulta più importante il controllo della direzione più che l'aumento indiscriminato di velocità. Si osserva, infine, come i valori di deviazione standard siano sempre inferiori ai valori medi e relativamente piccoli, ad esclusione del valore calcolato nel segmento di discesa durante il primo giro. Quest'ultimo potrebbe essere legato alla rilevazione sbagliata di un picco il cui valore potrebbe essere legato al rumore della strumentazione particolarmente elevato in quell'istante.

Nella Tabella 5.93, 5.94 e 5.95 sono riportati i valori calcolati durante la gara di XCL femminile, rispettivamente per le classi LW10.5 (atlete 2 e 3, LW11 (atlete 6 e 7) e LW12 (atlete 11 e 12).

#### **CROSS COUNTRY LONG DONNE – CLASSE LW10.5**

Segmenti	Accelerazione media [m/s <sup>2</sup> ]				Picco accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]			
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4
K1 – K2	0.61 ± 0.85	0.65 ± 0.83	0.65 ± 0.84	0.63 ± 0.88	6.84 ± 1.09	7.35 ± 0.40	8.01 ± 0.29	7.24 ± 0.58
K2 – K3	0.93 ± 0.80	0.99 ± 0.81	1.02 ± 0.81	1.02 ± 0.79	6.67 ± 1.71	6.96 ± 0.93	7.60 ± 0.74	7.26 ± 0.11
K5 – K6	0.26 ± 0.93	0.21 ± 0.80	0.32 ± 0.85	0.25 ± 0.79	6.60 ± 1.68	6.26 ± 1.73	7.21 ± 0.77	6.07 ± 1.30
K7 – K8	-0.39 ± 1.02	-0.59 ± 0.52	-0.51 ± 0.91	-0.48 ± 0.84	6.54 ± 4.53	5.67 ± 1.82	6.49 ± 1.38	5.36 ± 1.71

Tabella 5.93: Valori di accelerazione lineare media e valor medio dei picchi con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati acquisiti con l'accelerometro per la classe LW10.5 durante la gara di XCL femminile.

CROSS COUNTRY LONG DONNE – CLASSE LW11								
Segmenti	Accelerazione media [m/s <sup>2</sup> ]				Picco accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]			
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4
K1 – K2	0.66 ± 3.64	0.76 ± 3.57	0.70 ± 3.64	0.77 ± 3.57	10.50 ± 0.36	12.05 ± 0.21	10.63 ± 2.02	11.10 ± 1.54
K2 – K3	3.66 ± 0.00	1.07 ± 3.63	1.09 ± 3.59	1.02 ± 3.61	11.40 ± 0.00	11.29 ± 0.55	10.06 ± 2.09	10.58 ± 1.53
K5 – K6	0.33 ± 3.65	0.40 ± 3.60	0.43 ± 3.63	0.36 ± 3.73	9.00 ± 0.66	7.39 ± 1.70	8.77 ± 2.64	8.36 ± 0.95
K7 – K8	-0.47 ± 3.75	-0.36 ± 3.75	-0.40 ± 3.69	-0.37 ± 3.68	6.56 ± 2.75	9.33 ± 3.23	7.33 ± 0.70	8.41 ± 2.04

Tabella 5.94: Valori di accelerazione lineare media e valor medio dei picchi con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati acquisiti con l'accelerometro per la classe LW11 durante la gara di XCL femminile.

CROSS COUNTRY LONG DONNE – CLASSE LW12								
Segmenti	Accelerazione media [m/s <sup>2</sup> ]				Picco accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]			
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4
K1 – K2	-0.29 ± 0.00	-0.17 ± 0.07	-0.22 ± 0.09	-0.21 ± 0.11	8.16 ± 0.00	9.04 ± 0.11	8.51 ± 0.38	8.98 ± 0.16
K2 – K3	0.05 ± 0.00	0.21 ± 0.00	0.13 ± 0.05	0.11 ± 0.06	7.41 ± 0.00	7.74 ± 0.00	8.07 ± 0.02	8.16 ± 0.10
K5 – K6	-0.37 ± 0.15	-0.44 ± 0.18	-0.57 ± 0.07	-0.61 ± 0.03	7.68 ± 0.47	6.74 ± 1.15	6.33 ± 0.42	6.24 ± 0.99
K7 – K8	-1.43 ± 0.06	-1.31 ± 0.03	-1.35 ± 0.05	-1.27 ± 0.08	4.20 ± 0.62	4.34 ± 0.60	4.81 ± 0.39	4.31 ± 0.17

Tabella 5.95: Valori di accelerazione lineare media e valor medio dei picchi con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati acquisiti con l'accelerometro per la classe LW12 durante la gara di XCL femminile.

Dalle tre tabelle precedenti (Tabella 5.93, 5.94 e 5.95) è possibile osservare come i valori di accelerazione media maggiore siano stati sempre rilevati nei tratti di salita, mentre come i valori di accelerazione media nel tratto in discesa presentino sempre valori negativi. Come era possibile ipotizzare, la classe LW11 presenta valori in modulo di accelerazione media maggiori in salita e minori in discesa rispetto alla classe LW10.5, ad indicare come nel primo caso la classe LW11 tenda ad incrementare maggiormente la velocità mentre tenda a diminuirla di meno in discesa. Questo comportamento può essere legato al diverso livello di limitazione fisica delle due classi: la classe LW11, infatti presenta un maggior controllo del tronco rispetto alla classe LW10.5, che si riflette in entrambe le condizioni appena descritte. Per la classe LW11, inoltre, si osservano dei valori molto elevati, ma simili tra loro, di deviazione standard probabilmente causati dalla non perfetta calibrazione in zero del sensore. Per la classe LW12, invece, si osservano dei valori di accelerazione media inferiori a quelle delle altre due classi in ogni segmento analizzato. In particolare, l'accelerazione media risulta circa nulla nei tratti in salita, mentre presenta il valore maggiore, in modulo, nel tratto in discesa, con valori tutti inferiori a  $-1 \text{ m/s}^2$ . È possibile ipotizzare che tali valori tutti inferiori rispetto a quelli delle classi precedenti siano dovuti alla non perfetta calibrazione dei sensori in zero, come nel caso della classe LW11. Analizzando i dati relativi ai valori medi dei picchi al giro, si osserva un andamento simile dei valori per le tre classi analizzate. In particolare, come per la classe LW12 maschile della gara di XCM, si osservano valori medi più elevati dei picchi nei tratti in salita rispetto al tratto di discesa e curvo. Tra le classi si può osservare come i valori più elevati in ogni segmento si siano registrati per la classe LW11, mentre i più bassi per la classe LW12, per la quale però si è ipotizzato una calibrazione non perfetta dei sensori.

Nella Tabella 5.96 sono riportati i valori calcolati durante la gara di XCL maschile, per la classe LW12 (atleti 10, 13, 14, 16 e 17).

CROSS COUNTRY LONG UOMINI – CLASSE LW12										
Segmenti	Accelerazione media [ $\text{m/s}^2$ ]					Picco accelerazione [ $\text{m/s}^2$ ]				
	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5
K1 – K2	-2.52 ± 4.14	-2.00 ± 3.79	-2.69 ± 3.80	-2.05 ± 3.51	-1.92 ± 3.57	7.77 ± 4.08	9.33 ± 5.41	8.80 ± 3.19	8.62 ± 3.57	8.57 ± 3.94
K2 – K3	-1.45 ± 3.57	-1.64 ± 3.82	-2.40 ± 3.89	-1.60 ± 3.68	-2.26 ± 3.93	6.86 ± 4.26	8.48 ± 4.80	6.90 ± 4.55	8.17 ± 4.77	8.20 ± 4.03
K5 – K6	-0.86 ± 2.53	-2.19 ± 3.83	-1.13 ± 3.02	-2.29 ± 3.81	-2.74 ± 4.11	7.59 ± 4.27	6.62 ± 2.79	6.67 ± 3.94	7.18 ± 2.61	7.02 ± 3.52
K7 – K8	-3.00 ± 3.63	-3.03 ± 3.71	-2.93 ± 3.77	-2.97 ± 3.67	-2.91 ± 3.57	5.96 ± 3.24	5.97 ± 1.62	5.44 ± 2.77	6.69 ± 3.82	6.09 ± 0.45

Tabella 5.96: Valori di accelerazione lineare media e valor medio dei picchi con relativa deviazione standard ottenuti elaborando i dati acquisiti con l'accelerometro per la classe LW12 durante la gara di XCL maschile.

Dalla Tabella 5.96 si osserva come tutti i valori di accelerazione media siano risultati negativi e come i valori medi dei picchi siano tutti inferiori rispetto a quelli calcolati, sempre per la classe LW12 uomini, durante la gara di XCM. È plausibile ipotizzare che non vi sia stato un corretto posizionamento a zero del/i sensore/i, causando quindi uno shiftamento di tutti i dati verso valori più bassi e la presenza di valori di deviazione standard così elevati. Considerando veritiera questa ipotesi, si osserva comunque che i valori più bassi si sono ottenuti sempre nel segmento di discesa K7-K8, mentre a differenza dei casi precedenti i

valori maggiori di accelerazione media sono stati identificati per il segmento curvo K5-K6. Non potendo però verificare l'ipotesi appena fatta non è possibile dare una corretta interpretazione ai dati di accelerazione media riportati in tabella. Per quanto riguarda i valori medi del picco di accelerazione al giro, invece, non è possibile confrontarli con quelli ottenuti nelle altre gare analizzate per il medesimo motivo, ma confrontandoli tra loro si osserva ancora come i valori più bassi siano stati ottenuti per il segmento di discesa e quelli più alti per i segmenti in salita.

In conclusione, quindi, si osservano degli andamenti abbastanza simili dei valori di accelerazione lineare media in funzione della tipologia di terreno sia tra le classi dello stesso genere che confrontando i risultati di uomini e donne. È però importante sottolineare come, tra le classi della stessa gara si osservino delle differenze legate sia al valore medio che al valore dei picchi evidenziati nei vari tratti. In particolare, i valori medi dei picchi sono risultati maggiori nei tratti in salita per le classi più elevate, ad esclusione della classe LW12 della gara di XCL femminile, e si è osservato un decremento maggiore di tali valori tra la salita e la discesa, mentre i valori di accelerazione media sono sempre risultati più elevati nei tratti in salita e inferiori, in modulo, nei tratti in discesa per le classi con minor limitazioni fisiche. Oltre alle analisi descritte, si è anche valutata la distanza picco – picco di ogni segnale con lo scopo di valutare l'aumento o la diminuzione della frequenza dei cicli di spinta all'aumentare dei giri e al variare della pendenza per le diverse classi, ma i risultati ottenuti non sono stati ritenuti sufficientemente attendibili da poter essere riportati all'interno della tesi. È comunque possibile affermare che i dati ottenuti dagli accelerometri potrebbero rappresentare un ulteriore fattore discriminante tra le classi. È comunque importante sottolineare come i dati analizzati siano pochi, quindi ulteriori analisi risultano necessarie per poter ipotizzare di utilizzare le informazioni ricavate dagli accelerometri in fase di classificazione. Per future analisi si potrebbe per esempio pensare di valutare il modulo dell'accelerazione per svincolarsi da un corretto e non corretto allineamento del sensore con il senso di marcia, di filtrare i segnali con filtri opportuni in modo da non perdere informazioni importanti dal segnale e permettendo comunque una miglior precisione e di lavorare sull'offset dei segnali in modo da eliminare l'errore di zero presente a causa di una non corretta calibrazione.

## CAPITOLO 6 : Conclusioni

All'interno di questa tesi sono stati analizzati i dati temporali forniti dalla Time Company per quattro competizioni (biathlon sprint e individual, cross country middle e long) maschili e femminili svoltisi durante i Campionati Mondiali di Sci Nordico del 2018 a Vuokatti. Sono stati, inoltre, analizzati i dati di alcuni atleti acquisiti con un sensore inerziale (IMU) fissato sullo slittino durante le gare di XCM maschile e XCL femminile e maschile.

In funzione dei dati acquisiti, gli scopi di questa tesi sono stati (1) la ricerca di differenze temporali tra gli atleti migliori e peggiori e l'influenza della partecipazione a tutte e quattro le gare sulle prestazioni degli atleti, (2) la valutazione dell'influenza di fattori come il genere dell'atleta, il tracciato di gara e le condizioni meteo sui coefficienti percentuali correttivi dei tempi di gara per le differenti classi e (3) l'ottenimento di informazioni cinematiche utili per la distinzione delle classi tra loro.

La comparazione degli atleti migliori e peggiori ha mostrato una forte influenza dei tratti in salita sui ritardi accumulati dagli atleti peggiori rispetto ai migliori. In particolare, si è osservato un distacco maggiore tra i peggiori e i migliori in atlete donne rispetto agli atleti uomini. Si ipotizza che il diverso sviluppo della muscolatura e della forza muscolare tra uomini e donne, a parità di allenamento, possa influire sulle capacità aerobiche e lattacide degli atleti in modo più marcato sulle donne e sui tratti del percorso in salita. Per questa comparazione si sottolinea come il numero limitato di atleti (tre) inseriti nei due gruppi presenti sia dei vantaggi, legati alla sicurezza di analizzare effettivamente gli atleti peggiori e migliori, ma anche svantaggi legati alle possibili differenze temporali intraclasse causate, per esempio, da atleti con differenti livelli di allenamento. Questo svantaggio, al contrario, non è stato presente per l'analisi delle prestazioni medie di quegli atleti che hanno partecipato a tutte e quattro le competizioni. Infatti, un'analisi preliminare ha mostrato come solo atleti e atlete appartenenti alla classe LW12 (classe con la minore limitazione fisica) abbiamo preso parte a tutte e quattro le gare, ad esclusione di un solo atleta uomo appartenente alla classe LW11.5. La comparazione tra le quattro gare non ha mostrato dipendenze di genere degli atleti analizzati, poiché sia per le donne che per gli uomini molti tempi dei segmenti di interesse sono risultati statisticamente maggiori nelle gare di BS, BI e XCL rispetto alla gara di XCM. È stato ipotizzato che tale differenza potesse essere legata alla presenza di un giorno di riposo prima di questa competizione e alle diverse condizioni meteo (leggera nevicata) presenti quel giorno, andando quindi ad influenzare l'approccio degli atleti alla gara stessa e/o rendendo le condizioni della neve del percorso a tal punto diverse da influire sul comportamento medio degli atleti.

Prima di effettuare una comparazione tra i coefficienti correttivi per le differenti classi si è scelto di analizzare i dati temporali medi relativi alla gara totale e a singoli segmenti di interesse, poiché questi sono stati poi utilizzati per il calcolo dei coefficienti percentuali stessi. Analizzando i tempi totali di gara medi si è osservata una maggiore differenza interclasse tra le prestazioni ottenute dalle classi femminili rispetto a quelle maschili. È stato quindi ipotizzato che gli uomini riescano a compensare meglio delle donne limitazioni fisiche di partenza simili. Questo si suppone possa essere dovuto a un diverso sviluppo della muscolatura e della forza muscolare attraverso l'allenamento. Tale ipotesi sarebbe in accordo con quella precedentemente fatta durante la comparazione delle differenze temporali medie degli atleti e atlete migliori e peggiori. Le maggiori differenze interclasse del genere femminile rispetto al maschile evidenziate analizzando i tempi totali di gara sono nuovamente osservabili durante la comparazione dei tempi medi impiegati a percorrere particolari segmenti del percorso. In particolare, le differenze interclasse maggiori sono state riscontrate nelle gare di BS, BI e XCM e, in misura minore, anche nella gara di XCL e nei

tratti di discesa di ogni gara. L'analisi statistica ha ristretto le differenze alle sole classi femminili LW10.5 e LW12 per alcuni segmenti delle gare di BS e XCM, tra i quali sono compresi i due tratti di salita analizzati (moderata e ripida). Concentrandosi sui valori temporali ottenuti dal tratto di salita ripida, si osserva come per il genere femminile vi sia un aumento del tempo impiegato a percorrerlo con l'avanzare dei giri; questo comportamento sarebbe ancora una volta coerente con l'ipotesi di una minor forza generata dalle donne rispetto agli uomini che comporterebbe un rallentamento medio all'aumentare dei giri laddove è necessario un maggior dispendio energetico (ovvero nel tratto di percorso con maggiore pendenza).

In accordo con quanto descritto sopra, i coefficienti correttivi calcolati nei singoli segmenti assumono i valori più bassi nei tratti in salita, andando a diminuire all'aumentare della pendenza del tracciato. Questo comportamento è particolarmente evidente per le classi più basse, soprattutto per la classe LW10.5 femminile ed in quantità inferiore per la classe LW11 femminile e per la classe LW10 maschile. I coefficienti calcolati per il segmento di discesa, invece, mostrano la non selettività di tale tratto del tracciato. Confrontando quindi i coefficienti correttivi percentuali della gara totale, calcolati utilizzando tre differenti metodi, con quelli utilizzati dall'IPC, si osserva come il metodo che utilizza i tempi totali di gara per il calcolo dei coefficienti sembrerebbe il migliore in campo femminile, mentre il metodo che utilizza la somma pesata dei coefficienti dei segmenti di interesse sulla loro lunghezza per il calcolo dei coefficienti sembrerebbe il migliore in campo maschile. Entrambi i metodi hanno comunque delle limitazioni che non permettono di identificare dei range di valori accettabili per le quattro competizioni e per i due generi contemporaneamente.

Infine, cercando di prevedere il tempo medio delle classi nei due tratti misti utilizzando i coefficienti calcolati, si sono osservati risultati buoni per uno dei due segmenti con pendenza mista, ma non per l'altro. Comparando più metodi di previsione per i tratti misti, il metodo basato sui coefficienti ottenuti tramite somma pesata dei coefficienti dei segmenti di interesse sulla loro lunghezza relativa risulta più promettente su un tratto sia per gli uomini che per le donne. Considerando il secondo tratto misto, il metodo basato sui coefficienti calcolati utilizzando i tempi di gara è migliore per le donne mentre il metodo basato sui coefficienti calcolati come media dei coefficienti dei segmenti di interesse è migliore per gli uomini. Quindi, vedendo questi risultati nel complesso sembrerebbe improbabile identificare univocamente un metodo per la stima di coefficienti complessivi idealmente valido sia per i segmenti misti che per la gara totale e sia per gli uomini che per le donne. In sintesi, è plausibile ipotizzare che il metodo che permette di predire meglio i tempi delle classi femminili possa essere il metodo basato sui coefficienti calcolati utilizzando i tempi di gara, mentre per le classi maschili possa essere il metodo basato sui coefficienti ottenuti tramite somma pesata dei coefficienti dei segmenti di interesse sulla loro lunghezza relativa.

L'utilizzo di un sensore inerziale sullo slittino ha permesso di ottenere risultati molto interessanti. In particolare, i dati temporali acquisiti dal magnetometro sembra possano essere utilizzati come sistema di rilevazione ausiliario a supporto di quello ufficiale utilizzato dalla Time Company nel caso in cui sorgano dei problemi di rilevazione. Poiché non tutte le distribuzioni dei dati temporali medi dei segmenti di interesse presentano range piccoli, è importante eseguire ulteriori analisi per poter correttamente scambiare e/o sopperire alla mancanza dei dati acquisiti dalla TC durante le competizioni. Infine, l'analisi qualitativa dei dati di accelerazione lineare acquisiti dall'accelerometro e quella quantitativa dei valori di accelerazione media sembrano non evidenziare particolari differenze riguardo la tipologia di terreno o le classi (confrontando i risultati di uomini e donne). Al contrario, il valor medio dei picchi sembra utile per evidenziare delle differenze tra classi diverse partecipanti alla stessa gara nei vari tratti analizzati, permettendo quindi di ipotizzare possibili utilizzi di questa tipologia di segnale durante le fasi di classificazione degli atleti.

In conclusione, quindi, è plausibile considerare l'idea di utilizzare il genere dell'atleta e la tipologia di tracciato in fase di definizione dei coefficienti correttivi percentuali. In particolare, è plausibile pensare di adottare dei coefficienti correttivi percentuali diversi per uomini e donne, in modo da andare a considerare l'influenza delle normali differenze antropologiche tra i due generi. Infine, in fase di classificazione sembra plausibile considerare, dopo ulteriori analisi, anche i risultati ottenuti dagli accelerometri dei sensori inerziali.

## BIBLIOGRAFIA

- Bernardi Marco, S. F. (2011). Preparation for the Paralympic Winter Games: cold, altitude. In *The Paralympic Athlete* (pp. 231-248). Yves C. Vanlandewijk and Walter R. Thompson.
- Biathlon*. (s.d.). Tratto da <https://www.fisi.org/biathlon>
- Comitato Italiano Paralimpico*. (s.d.). Tratto da <http://www.comitatoparalimpico.it/pyeongchang2018/discipline/disciplina/18-Snowboard.html>
- Emma M. Beckman, P. P. (July 2014). Novel Strength Test Battery to Permit Evidence-Based Paralympic Classification. *Medicine*.
- FISI | Sci di Fondo*. (s.d.). Tratto da <https://www.fisi.org/sci-di-fondo>
- IPC | International Paralympic Committee Sport & News*. (n.d.). Retrieved from <https://www.paralympic.org/>
- Katharine M. Conable, M. a. ( Sep 2011). A narrative review of manual muscle testing and implications for muscle testing research. *J Chiropr Med.*, 157-165.
- Laura Gastaldi, P. S. (2012). A Biomechanical Approach to Paralympic Cross-Country Sit-Ski Racing. *Clin J Sport Med*, 58-64.
- Paralympic Sports: Wheelchair Curling*. (n.d.). Retrieved from <https://www.paralympic.org/wheelchair-curling>
- Rosso V, G. L. (2016). Biomechanics of simulated versus natural cross-country sit skiing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*.
- Rosso V, L. V. (May 15-18, 2016). Trunk kinematics during cross country sit-skiing ergometry - Skiing strategies associated to neuromusculoskeletal impairment. *2016 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications*. Benevento, Italy.
- Rosso V, L. V.-L. (June 13-18, 2018). Different sitting positions influence cross country sit skiers performance - Sitting position influence on force generation and cycle characteristics. *2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements & Applications*. Rome, Italy.
- S M Tweedy, Y. C. (2011). International Paralympic Committee position stand - background and scientific principles of classification in Paralympic sport. *Br J Sports Med*, 259-269.
- Tervo JL, W. P. (July 19-23, 2010). Electromyographical analysis of double ergometry: standing vs sitting. *Proceedings of the XXVIII Congress of the International society of Biomechanics in sports*. Maquette, MI.
- Wikipedia*. (s.d.). Tratto da [https://it.qwe.wiki/wiki/Paralympic\\_symbols](https://it.qwe.wiki/wiki/Paralympic_symbols)
- World Para Alpine Skiing*. (n.d.). Retrieved from <https://www.paralympic.org/alpine-skiing>
- World Para Nordic Skiing*. (s.d.). Tratto da <https://www.paralympic.org/nordic-skiing>
- World Para Snowboard*. (s.d.). Tratto da <https://www.paralympic.org/snowboard>
- WPNS Classification Rules and Regulations. (August 2017).
- WPNS Rules and Regulations 2017/2018. (s.d.).
- WPNS Rules and Regulations 2019/2020*. (n.d.). Retrieved from [https://www.paralympic.org/sites/default/files/2019-12/2019\\_12%20WPNS%20Rules%20and%20Regulations%202019\\_2020.pdf](https://www.paralympic.org/sites/default/files/2019-12/2019_12%20WPNS%20Rules%20and%20Regulations%202019_2020.pdf)
- WPS Equipment Rulebook 2019/2020*. (n.d.). Retrieved from [https://www.paralympic.org/sites/default/files/2019-09/2019\\_09\\_05\\_WP%20Snowboard\\_Equipment\\_Rulebook\\_0.pdf](https://www.paralympic.org/sites/default/files/2019-09/2019_09_05_WP%20Snowboard_Equipment_Rulebook_0.pdf)

*WPS Rules and Regulations 2019/2020*. (n.d.). Retrieved from [https://www.paralympic.org/sites/default/files/2019-10/2019\\_07\\_03%20WPSB%20Rules%20And%20Regulations\\_Final%20v5%20clean.pdf](https://www.paralympic.org/sites/default/files/2019-10/2019_07_03%20WPSB%20Rules%20And%20Regulations_Final%20v5%20clean.pdf)