



Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA
PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

TESI DI LAUREA

COSTO NEUROCOGNITIVO E RECUPERO FUNZIONALE IN ATLETI DI PRIMO LIVELLO
DOPO RICOSTRUZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE:
UNO STUDIO OSSERVAZIONALE CONTROLLATO

(Dual task cost and functional recovery in level 1 sports athletes
after anterior cruciate ligament reconstruction:
a controlled observational study)

RELATORE: Dott.ssa Mag. Ileana Gava
Correlatore: Dott. Marco Segat

LAUREANDO: Lorenzo Saran

Anno Accademico 2023/2024

INDICE

RIASSUNTO	III
ABSTRACT	IV
1. INTRODUZIONE	1
1.1 LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE	3
1.1.1 Cenni di anatomia e biomeccanica	3
1.1.2 Lesione	3
1.2 FUNZIONI NEUROCOGNITIVE	4
2. MATERIALI E METODI	6
2.1 RICERCA BIBLIOGRAFICA	6
2.2 DISEGNO DELLO STUDIO	7
2.3 CAMPIONE	7
2.3.1 Criteri di eleggibilità dello studio	8
2.3.2 Setting e aree geografiche dove sono stati raccolti i dati	8
2.4 INTERVENTO SOMMINISTRATO	9
2.5 OUTCOME	13
2.5.1 Costo neurocognitivo:	13
2.5.2 Intervista e PROMs:	14
2.6 ELABORAZIONE STATISTICA:	14
3. RISULTATI:	15
3.1 FLUSSO DEI PARTECIPANTI:	15
3.2 CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE:	16
3.3 OUTCOME E MISURE	17
3.3.1 Dual task cost (DTC):	17
3.3.2 PROMs:	19
4. DISCUSSIONE	22

4.1 LIMITI DELLO STUDIO:	22
4.2 SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI:	22
4.3 CONSIDERAZIONI SUI PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI	23
5. CONCLUSIONI	27
5.1 POSSIBILI SVILUPPI FUTURI	27
6. BIBLIOGRAFIA	28
7. ALLEGATI	32

RIASSUNTO

Background: solamente il 65% degli atleti di sport di 1 livello riesce nell'intento di tornare a praticare l'attività al livello pre-lesionale dopo intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore (LCA) e il 25% andrà incontro ad un nuovo infortunio. Questi dati preoccupanti potrebbero essere legati ad una disallineamento tra i contenuti della riabilitazione e le effettive richieste che l'atleta deve affrontare al ritorno in campo. Recenti studi identificano come possibile tassello mancante degli attuali protocolli la componente neurocognitiva, componente che risulta di fondamentale importanza nella gestione delle situazioni dinamiche e imprevedibili degli sport di situazione.

Obiettivo: comprendere, in ottica retrospettiva, se il costo neurocognitivo (DTC) rappresenti un fattore rilevante nel recupero del livello funzionale e nel ritorno all'attività sportiva per atleti di sport di livello 1 ed evidenziare eventuali differenze significative in merito a questo parametro tra atleti sani e quelli sottoposti a intervento di ricostruzione LCA.

Materiali e metodi: dopo una prima fase di ricerca bibliografica sono stati reclutati atleti di sport di livello 1, sani e con ricostruzione di LCA effettuata da almeno 9 mesi. A entrambi i gruppi è stato somministrato il medesimo protocollo di valutazione, che includeva una breve intervista, l'esecuzione di alcuni test funzionali nella loro versione standard e con l'aggiunta di un compito cognitivo ed infine la somministrazione di due PROMs. L'outcome primario dello studio è il costo neurocognitivo, dato dalla differenza di performance funzionale tra i test funzionali e quelli cognitivo-motori. Questo outcome è stato successivamente affiancato ai dati raccolti durante l'intervista e nei questionari.

Risultati: delle 103 persone contattate, 28 sono state sottoposte a valutazione; in fase di analisi, sono stati ritenuti validi i risultati di 22 partecipanti, di cui 14 appartenenti al gruppo rLCA e 8 appartenenti al gruppo di comparazione. Il primo gruppo ha registrato un DTC medio significativamente più elevato rispetto al gruppo di comparazione; inoltre divario ancora più evidente si ha tra i sottogruppi 'RTP sì' e 'RTP no' del gruppo rLCA.

Discussione e conclusioni: i risultati sembrano avvalorare l'ipotesi che il costo neurocognitivo sia un fattore rilevante per il recupero del livello funzionale in questa categoria di atleti. La componente neurocognitiva potrebbe essere la chiave per aumentare le percentuali di RTP e la sua integrazione negli attuali protocolli riabilitativi permetterebbe di offrire un percorso completo e multidimensionale, capace di supportare gli atleti in ogni versante della loro prestazione sportiva.

ABSTRACT:

Background: only 65% of level 1 sports athletes manage to return to their pre-injury performance level after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction surgery, and 25% will suffer a new injury. These concerning data may be linked to a misalignment between rehabilitation protocols and the actual demands athletes face upon returning to the field. Recent studies identify the neurocognitive component as a possible missing element in current protocols – one that is fundamentally important for managing the dynamic and unpredictable situations inherent in situational sports.

Aim of the study: to understand, through retrospective analysis, whether the dual task cost (DTC) is a relevant factor in recovering the functional level and returning to sport activity for level 1 sports athletes, and to highlight any significant differences regarding this parameter between healthy athletes and those who have undergone ACL reconstruction surgery.

Materials: after an initial phase of bibliographic research, level 1 sports athletes - both healthy and with ACL reconstruction at least 9 months prior - were recruited. The same evaluation protocol was administered to both groups, including a brief interview, the execution of some functional tests, both in their standard version and with the addition of a cognitive task, and finally the administration of two PROMs. The primary outcome of the study is the dual task cost, given by the difference in performance between the functional and cognitive-motor tests. This outcome was then combined with the data collected during the interview and in the questionnaires.

Results: Of the 103 people contacted, 28 underwent assessment. During the analysis, the results of 22 participants were considered valid, with 14 belonging to the ACLr group and 8 belonging to the comparison group. The first group showed a significantly higher DTC than the comparison group. Moreover, an even more pronounced gap was observed between the 'RTP yes' and 'RTP no' subgroups within the ACLr group.

Discussion and conclusions: the results seem to support the hypothesis that the dual task cost is a relevant factor in recovering the functional level in this category of athletes. The neurocognitive component could be the key to increasing RTP rates, and its integration into current rehabilitation protocols could provide a more comprehensive, multidimensional approach, supporting athletes in all aspects of their performance.

1. INTRODUZIONE

La lesione del legamento crociato anteriore (LCA) è uno degli argomenti di maggiore rilevanza nella medicina sportiva degli ultimi anni, soprattutto a causa del grande interesse intorno a sport come il calcio e la pallacanestro che, per loro natura, sono particolarmente interessati da questo genere di infortunio. L'80%-95% degli atleti che va incontro a ricostruzione LCA primaria si aspetta di tornare al livello di attività pre-lesionale (Feucht MJ et al., 2016), tuttavia, nonostante i progressi in termini di trattamento e prevenzione, solamente un 65% riesce nell'intento (Arderm CL et al., 2014), con percentuali di recidiva o di lesione del controlaterale che si aggirano intorno al 25% (Barber-Westin S et al., 2020). Questa discrepanza potrebbe essere dovuta a un disallineamento tra i contenuti della riabilitazione e le effettive richieste che l'atleta deve affrontare al ritorno in campo. Per molto tempo gli unici criteri utilizzati per il ritorno allo sport (RTS) sono stati quello temporale (rientro dopo 9-12 mesi), neuromuscolare (LSI \geq 90%, rapporto di forza ischiocrurali/quadricepite $>$ 85%) e funzionale (*T-test*, *single leg hop for distance* ecc...). Queste valutazioni risultano però poco esaustive nel caso di *open-skills sports* come i sopracitati, che richiedono un'importante integrazione di altri sistemi oltre a quello muscoloscheletrico, come attesta il calo di performance e l'alto tasso di re-infortuni nonostante il superamento dei criteri standard per il RTS.

In risposta agli *impairments* causati dalla lesione LCA, tra i quali dolore, instabilità, kinesiofobia e inibizione muscolare, avvengono dei cambiamenti neuroplastici a livello del sistema nervoso centrale, con alterazioni dell'attività corticale visibili tramite risonanza magnetica funzionale (Faltus J. et al., 2020). Si evidenziano in particolar modo dei *pattern* di attivazione che riconducono ad un'aumentata richiesta visuo-cognitiva durante l'atto motorio, che normalmente verrebbe svolto in maniera automatica, anche negli atleti al termine della riabilitazione (Grooms D. R. et al., 2017). Questi adattamenti neurali vengono tradotti in letteratura come un aumento della "*neurocognitive reliance*", o dipendenza neurocognitiva, ovvero un maggiore utilizzo delle risorse attentive che nelle prime fasi è fisiologico e permette di preservare la funzione e adempiere alle richieste motorie in maniera efficace (Grooms D. R. et al., 2023). Qualora l'atleta continui a fare eccessivo affidamento su queste risorse anche nelle fasi finali della riabilitazione, ciò potrebbe risultare problematico. In una tipica situazione di gioco, infatti, l'attenzione dev'essere distribuita per la gestione dei numerosi stimoli esterni e il focus non potrà più essere unicamente sul controllo motorio. In questo contesto il permanere di un'eccessiva dipendenza neurocognitiva potrebbe non consentire all'atleta di interpretare e reagire efficacemente e il sistema sarà quindi più soggetto ad errori di coordinazione e ad un complessivo calo delle prestazioni (Herman D., et al., 2015).

Sulla base di queste considerazioni, un numero crescente di studi (Piskin D. et al., 2021, Grooms D. R. et al., 2023, Faltus J. et al. 2020) individua la componente neurocognitiva come il possibile tassello mancante nelle fasi finali del percorso riabilitativo di questa popolazione di pazienti. Ad ulteriore suffragio di queste teorie, deficit neurocognitivi pre-esistenti relativi al tempo di reazione e al processamento visivo sembrano essere legati ad un aumento del rischio di infortunio del LCA in atleti collegiali (Grooms D.R. et al., 2017, Bertozzi F. et al., 2023). Si dimostra quindi necessario prendere in considerazione questo aspetto attraverso le valutazioni appropriate.

Le batterie di test standard per il RTS sono un metodo efficace per valutare la performance motoria dell'arto infortunato, ma non permettono di identificare il livello di dipendenza neurocognitiva del soggetto. Durante l'esecuzione di un compito motorio in isolamento le risorse visuo-cognitive sono rivolte unicamente all'esecuzione di questo, per tale motivo la performance motoria può essere "falsata" (Grooms D. R. et al, 2023). Il paradigma dual task è un metodo efficace per quantificare il compenso neurale e consiste nello svolgimento simultaneo di due diversi compiti, uno motorio ed uno cognitivo, in modo da creare una cosiddetta interferenza cognitivo motoria (CMi). Tra i numerosi modelli interpretativi, i più accreditati identificano questa interferenza come la competizione per le limitate risorse attentive durante l'esecuzione dei due task, che determina una riduzione percentuale in termini di prestazione; in letteratura questa riduzione viene denominata "*dual task cost*", o costo neurocognitivo (Carmela L. et al., 2017).

L'obiettivo di questo progetto di tesi è indagare, in ottica retrospettiva, se il costo neurocognitivo possa essere un fattore significativo nel recupero funzionale di atleti di sport di livello 1 e se la dipendenza neurocognitiva sia mediamente più elevata nell'atleta dopo rLCA rispetto all'atleta sano.

1.1 LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE

1.1.1 Cenni di anatomia e biomeccanica

Il legamento crociato anteriore è una struttura connettivale che occupa, insieme all'omonimo posteriore, la fossa intercondiloidea dell'articolazione del ginocchio. Si inserisce cranialmente sulla superficie interna del condilo femorale laterale e caudalmente nell'area intercondiloidea anteriore del piatto tibiale e le sue dimensioni si aggirano tra i 31-38 mm di lunghezza e i 10-12 mm di larghezza. È definito legamento intra-capsulare ma extra-articolare poiché, nonostante si trovi al centro dell'articolazione, è anatomicamente escluso dalla membrana sinoviale. Da un punto di vista istologico il legamento è composto da un 90% di fibre collagene di tipo 1 e il restante 10% da collagene di tipo 3; queste fibre si avvolgono a formare due gruppi distinti di fasci, antero-mediale e postero-laterale: il primo raggiunge maggiore tensione durante la flessione del ginocchio, il secondo durante l'estensione.

I legamenti crociati rappresentano un importante elemento di stabilità per l'articolazione del ginocchio, in particolare quello anteriore per la sua composizione in fasci e il suo orientamento spaziale ha la funzione di controllare la traslazione anteriore della tibia sul femore durante i movimenti sul piano sagittale, la rotazione della tibia sul femore durante i movimenti sul piano trasversale e di controllare gli stress in varo e in valgo. Oltre a questa funzione, il LCA svolge un ruolo propriocettivo e di controllo neuromuscolare grazie all'elevato numero di meccanocettori che informano il sistema nervoso centrale (SNC) rispetto a posizione, angoli ed accelerazioni al quale è sottoposto durante il movimento (Neumann D., 2019, Evans J. et al, 2023).

1.1.2 Lesione

Il LCA è il legamento del ginocchio più soggetto a lesione (50%), che interessa generalmente la popolazione attiva tra i 15 e i 45 anni; solo negli Stati Uniti avvengono tra le 100000 e le 200000 lesioni ogni anno (Evans J. et al., 2023). Il LCA è capace di sopportare forze fino ai 2200 N e il punto di rottura si raggiunge con uno strain che si aggira tra l'11 e il 19% (per mettere in prospettiva questi numeri attività come salire le scale, pedalare o accovacciarsi comportano uno strain del 4%) (Neumann D., 2019). La maggior parte delle lesioni sono dovute ad infortuni da non contatto (80%) e avvengono durante movimenti che sottopongono il legamento a stress multiplanare (ad es. valgo e rotazione esterna), come salti, pivot e cambi di direzione. Questi movimenti avvengono frequentemente e a velocità elevata negli sport di livello 1 (secondo la classificazione "*Cincinnati sports activity scale*", CSAS, Barber-Westin SD et al. 1999), tra cui il calcio, la pallacanestro e lo sci.

Un dato curioso è che questo genere di infortuni si verifica generalmente entro i 40 ms dal contatto del piede al suolo (Gokeler A. et al., 2021) e sembrano essere legati ad errori di pianificazione e coordinazione motoria, che avvengono quando l'atleta è impegnato anche dal punto di vista cognitivo (Haggerty A. L., et al., 2020).

Date le scarse capacità di riparazione intrinseca del legamento, qualora avvenga una rottura completa e il soggetto abbia delle richieste funzionali elevate come nel caso di un atleta, si procede con la ricostruzione chirurgica. L'intervento viene eseguito quasi esclusivamente con tecnica artroscopica mentre la provenienza dell'innesto è variabile e viene decisa nel singolo caso; attualmente esistono tre possibilità: trapianto autologo, da tendine rotuleo o semitendinoso e gracile, trapianto omologo da banca, o legamenti artificiali (sebbene siano in disuso) (Brinlee A.W, et al., 2022).

1.2 FUNZIONI NEUROCOGNITIVE

Tra i numerosi aspetti da considerare nel percorso riabilitativo di questi pazienti, le funzioni neurocognitive stanno assumendo sempre maggiore importanza. Il motivo può essere ricercato nel ruolo essenziale che queste assumono nell'organizzazione, pianificazione e regolazione dei comportamenti motori e nel *decision making* in circostanze complesse (Gokeler A. et al., 2021). Queste funzioni comprendono una serie di processi *top-down* che si fondano sui processi sensoriali e percettivi di base e coinvolgono principalmente le aree dorso-laterale e ventro-laterale della corteccia prefrontale. Sono richieste in tutte quelle situazioni in cui l'automatismo non risulti sufficiente per risolvere il problema motorio, ad esempio per affrontare un compito nuovo o qualora sia richiesta concentrazione, pianificazione, *problem solving*, *decision making* ecc... La neurocognizione può essere concettualizzata in diversi modi (a seconda dei processi neurali o delle aree cerebrali coinvolte) e non esiste tuttora una visione comune in letteratura; in questo elaborato verrà adottata la tradizionale suddivisione gerarchica che individua funzioni cognitive superiori, dette anche funzioni esecutive (EFs), e funzioni cognitive inferiori (Harvey P.D, 2019).

Le tre componenti principali delle EFs secondo Diamond A. (2012) sono:

- Memoria di lavoro: abilità nell'immagazzinare e manipolare informazioni, è distinta in verbale e visuo-spaziale;
- Controllo inibitorio: abilità di controllare l'attenzione, i comportamenti e le emozioni ignorando distrattori e predisposizioni interne, permettendo di rimanere concentrati ed agire nel modo appropriato. Gioca un ruolo essenziale nell'attenzione selettiva ed è strettamente legato alla memoria di lavoro.

- Flessibilità cognitiva: capacità di adattarsi a nuove informazioni, cambiare prospettiva o approccio in risposta a diverse esigenze o condizioni ambientali.

Negli sport situazionali il giocatore deve essere in grado di processare e riconoscere situazioni (memoria di lavoro), sopprimere un'azione pianificata (controllo inibitorio) e prendere velocemente nuove decisioni (flessibilità cognitiva). Queste *skills* sono strettamente legate l'una all'altra e sono cruciali per la performance e la sicurezza degli atleti durante la competizione (Lang MKH, et al. 2023). Le funzioni esecutive entrano in gioco in numerose situazioni, incluse quelle menzionate precedentemente; tuttavia, il loro intervento non è sempre necessario. Questo è particolarmente evidente negli atleti dove l'atto motorio, per quanto complesso, diventa un automatismo. Alcuni studi dimostrano che interrompere la funzione di queste aree cerebrali può compromettere l'esecuzione di compiti nuovi, ma migliorare la performance in compiti già familiari. Ciò suggerisce che, in questi casi, il controllo *top-down* potrebbe addirittura ridurre l'efficienza della *performance* (Diamond A. 2012).

Le funzioni neurocognitive inferiori costituiscono la base della gerarchia cognitiva e sono processi più automatici e legati alle funzioni sensoriali e percettive, che forniscono le informazioni necessarie per l'elaborazione cognitiva a carico delle EFs. Tra le principali funzioni neurocognitive di base abbiamo l'attenzione in tutti i suoi domini (tra i quali l'attenzione sostenuta e divisa), e la velocità di processamento delle informazioni, ossia il tempo necessario a processare nuove informazioni o a recuperarne dalla memoria (alla base del tempo di reazione) (Gokeler A. et al., 2021).

I vari domini neurocognitivi sono altamente interconnessi con il controllo neuromuscolare, l'apprendimento motorio e altri aspetti critici per la performance e la sicurezza degli atleti. Il successo nella prestazione sportiva dipende dalla qualità di esecuzione dei comandi motori, volontari e involontari; questi comandi devono essere costantemente modulati attraverso l'elaborazione sensoriale, l'attenzione e la pianificazione motoria, al fine di adattarsi in modo ottimale ad ambienti complessi e in rapida evoluzione. Un'adeguata funzionalità in queste dimensioni neurocognitive consente all'atleta di eseguire compiti motori con efficacia e sicurezza; al contrario, deficit in queste aree potrebbero compromettere la capacità dell'atleta di interpretare e reagire adeguatamente, comportando un calo di performance e una maggiore probabilità di impegnarsi in atti motori ad alto rischio.

2. MATERIALI E METODI:

IPOTESI DELLO STUDIO: il costo neurocognitivo è un fattore significativo nel determinare il recupero del livello funzionale pre-lesionale in atleti di sport di primo livello sottoposti ad intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore.

OBIETTIVO PRIMARIO DELLO STUDIO: evidenziare qualora il costo neurocognitivo sia un fattore determinante per il recupero del livello funzionale in atleti di sport di primo livello dopo intervento di ricostruzione del LCA.

OBIETTIVO SECONDARIO DELLO STUDIO: determinare se individui con ricostruzione di LCA abbiano un significativo calo di performance nei test funzionali con inserimento di componente neurocognitiva rispetto al gruppo di comparazione (campione di soggetti sani).

2.1 RICERCA BIBLIOGRAFICA:

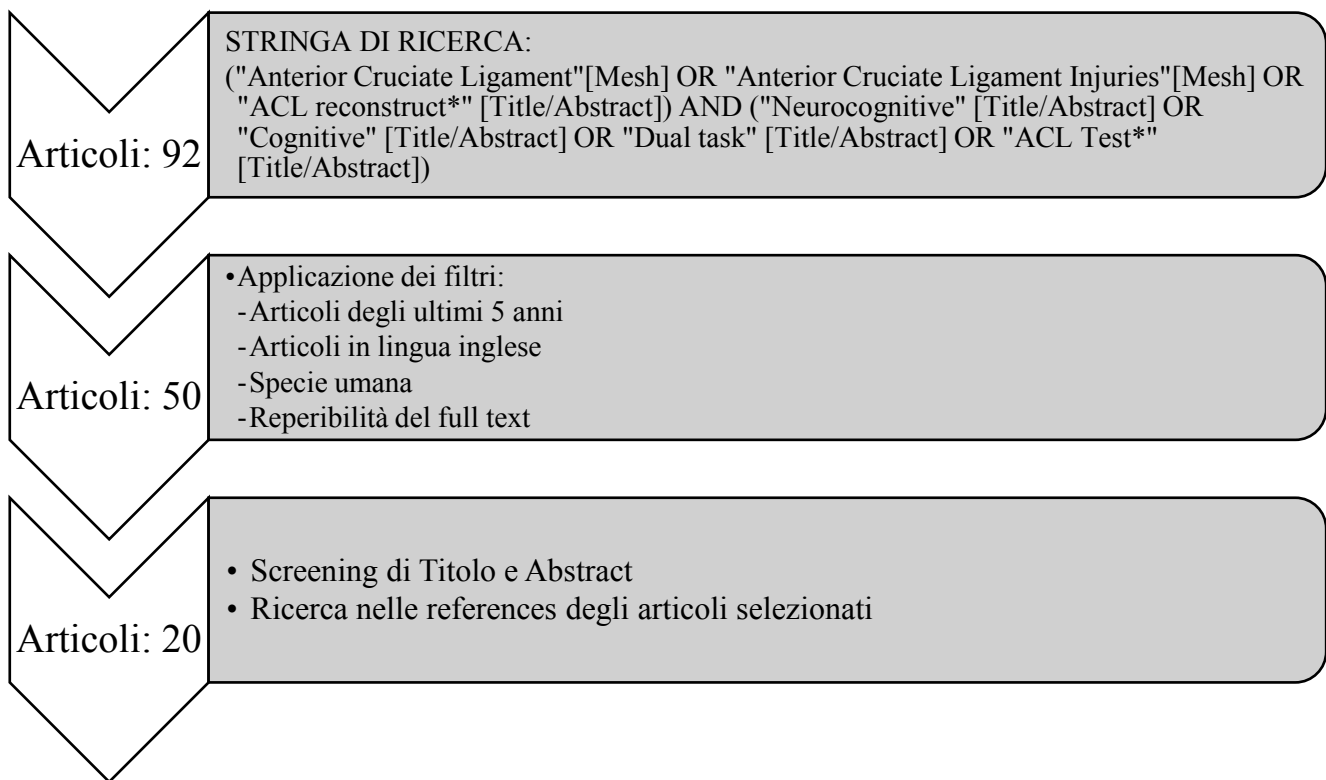
Per giustificare il razionale dello studio è stata effettuata una prima fase di ricerca bibliografica sui database Medline e Pedro tra i mesi di dicembre 2023 e maggio 2024. La stringa di ricerca utilizzata sul motore di ricerca Pubmed è la seguente:

- ("Anterior Cruciate Ligament"[Mesh] OR "Anterior Cruciate Ligament Injuries"[Mesh] OR "ACL reconstruct*" [Title/Abstract]) AND ("Neurocognitive" [Title/Abstract] OR "Cognitive" [Title/Abstract] OR "Dual task" [Title/Abstract] OR "ACL Test*" [Title/Abstract]);

Sono stati successivamente applicati i seguenti filtri:

- Articoli degli ultimi 5 anni;
- Articoli in lingua inglese;
- Specie umana;
- Possibilità di reperire il full text.

In ultimo è stato effettuato uno screening degli articoli rimanenti basandosi su titolo e abstract, eliminando quelli non coerenti con l'argomento di studio e identificando ulteriori potenziali articoli tramite le citazioni nella bibliografia di quelli selezionati. Sono stati così ottenuti principalmente 20 articoli, come illustrato nel diagramma di flusso sottostante.



2.2 DISEGNO DELLO STUDIO:

Questo progetto di tesi si presenta come uno studio osservazionale retrospettivo controllato.

Dalla fase di reclutamento all'elaborazione dei dati hanno partecipato 3 operatori:

- Operatore 1: studente autore della tesi, addetto alla fase di selezione e reclutamento dei pazienti, raccolta e analisi dei dati;
- Operatore 2: relatrice della tesi, addetta al reclutamento dei pazienti e alla raccolta dati;
- Operatore 3: statistico addetto all'analisi ed elaborazione dei dati.

2.3 CAMPIONE:

Il reclutamento, su base volontaria, è avvenuto per via telematica tra i mesi di aprile e settembre 2024; i contatti dei soggetti sono stati reperiti tramite consultazione della documentazione sanitaria dei reparti di Ortopedia e traumatologia e Recupero e Riabilitazione Funzionale dell'Ospedale civile di Conegliano e tramite un poliambulatorio della provincia di Treviso. Una volta ottenuto il consenso dell'atleta ed accertata una prima rispondenza ai criteri di eleggibilità, veniva concordata tramite colloquio telefonico la data in cui effettuare la valutazione. Il campione di soggetti con ricostruzione LCA è stato individuato precedentemente rispetto a quello di comparazione e per

quest'ultimo è stato eseguito un campionamento di convenienza in modo da favorire l'omogeneità dei due gruppi.

2.3.1 Criteri di eleggibilità dello studio

I volontari sono stati selezionati sulla base dei seguenti criteri di eleggibilità:

- **Inclusione:** atleti di sport di livello 1 (secondo la classificazione CSAS, con attività di jumping, cutting e pivoting) a livello amatoriale/dilettantistico/professionistico, di età compresa tra i 15 e i 40 anni, ambosexi, che abbiano subito un intervento di ricostruzione LCA unilaterale da almeno 9 mesi e che abbiano effettuato almeno 2 mesi di riabilitazione post-intervento.
- **Esclusione:** presenza di lesioni associate ai legamenti collaterali del distretto in esame o del controlaterale, presenza di fratture, presenza di altri infortuni/interventi nell'intervallo di tempo, presenza di disturbi vestibolari e/o deficit neurologici, presenza di DSA certificato, presenza di dolore (VAS > 5) al momento della valutazione.
- Nel gruppo di comparazione sono stati inseriti atleti sani che non abbiano subito infortuni rilevanti, ambosexi, di età compresa tra i 15 e i 40 anni, i quali praticino sport di livello 1 a livello amatoriale/dilettantistico/professionistico.

I criteri individuati per questo studio trovano il loro fondamento in letteratura, negli studi di Lang MKH et al. (2023), Ness BM et al. (2020), Miko SC et al. (2020) che li propongono in maniera analoga. Lo scopo della definizione di tali criteri è assicurarsi primariamente che le controindicazioni assolute alla valutazione vengano rispettate; in secondo luogo, escludere le condizioni che potrebbero alterare in maniera significativa i risultati, tra cui eventuali comorbidità, dolore, disturbi vestibolari e neurologici. Sono stati infine ritenuti idonei gli atleti operati da almeno 9 mesi al tempo della valutazione e che avessero effettuato almeno 2 mesi di riabilitazione, di modo da garantire una buona stabilità dell'innesto e un livello funzionale tale da permettere l'esecuzione dei test.

2.3.2 Setting e aree geografiche dove sono stati raccolti i dati

La raccolta dati è durata 4 mesi, da giugno a settembre 2024 e si è svolta presso il reparto di Recupero e riabilitazione funzionale dell'Ospedale civile di Conegliano e presso un impianto sportivo del territorio (TV).

2.4 INTERVENTO SOMMINISTRATO

I volontari sono stati convocati singolarmente presso le strutture, ad essi è stato richiesto di presentarsi in abbigliamento consono alla valutazione, gli ambienti sono stati predisposti in modo da garantirne la libertà di movimento e la sicurezza. Lo stesso protocollo è stato sottoposto a tutti i partecipanti e consisteva di tre fasi: il colloquio anamnestico, la valutazione funzionale e neurocognitiva, ed infine la somministrazione di due questionari autovalutativi PROMs (*patient rated outcome measures*). Le fasi del protocollo verranno ora descritte nel dettaglio:

1. Previa richiesta del consenso informato al trattamento dei dati sensibili (GDPR n. 679/2016) e firma della dichiarazione liberatoria di responsabilità (per i soggetti minori è richiesta la presenza di un genitore o di chi ne fa le veci), l'operatore 1/2 sottopone i soggetti ad un colloquio anamnestico della durata di circa 10 min (allegato n° 1), riguardante:
 - Attività sportiva: sport, livello, volume di allenamento, esperienza, ruolo, altre attività;
 - Infortunio ed intervento: data eventi, modalità di infortunio, eventuale riabilitazione pre-intervento, tipologia di intervento;
 - Eventuali comorbilità: diagnosi di DSA, altri infortuni rilevanti, presenza di disturbi vestibolari, deficit neurologici e dolore (scala VAS > 5/10);
 - Percorso riabilitativo post intervento: caratteristiche generali, durata, frequenza, ritorno all'attività sportiva.

L'intervista è stata sviluppata in questo modo per verificare che i criteri di inclusione ed esclusione siano rispettati, ma soprattutto per inquadrare globalmente il volontario andando ad approfondire aspetti legati all'attività sportiva svolta e ad inquadrare nel dettaglio il percorso riabilitativo post intervento, così come il ritorno all'attività sportiva.

Questa prima fase, insieme alle scale di valutazione finali, risulta di fondamentale importanza nell'effettuare delle considerazioni sui risultati dei test clinici, permette di comprendere quali siano le variabili più determinanti nel recupero del livello funzionale dopo ricostruzione del LCA e se tra queste possa inserirsi il costo neurocognitivo.

2. Nella seconda fase l'operatore 1 effettua la valutazione funzionale e neurocognitiva, che è in questo modo sviluppata:
 - Istruzione del partecipante (durata circa 5 min): durante un breve riscaldamento viene spiegato in cosa consistono i diversi test e quali risultati sono raccolti, il soggetto viene incoraggiato a svolgere le prove con il massimo impegno, non sono fornite ulteriori istruzioni.

- Esecuzione dei test funzionali (durata circa 10 min): il soggetto esegue la prova almeno tre volte, viene registrato solamente il risultato migliore.
 1. Y shaped agility test: al soggetto è richiesto di effettuare un cambio di direzione facendo perno sull'arto operato in un punto prestabilito (nastro a forma di X grandezza 20x20 cm), seguendo le traiettorie disegnate sul pavimento in entrata e in uscita (5 metri, con un angolo di 45°). Nel caso non siano rispettate le precedenti istruzioni la prova deve essere ripetuta; l'outcome misurato è il tempo di esecuzione del percorso (Horníková H. et al., 2022).
 2. T agility test: viene predisposto un percorso a forma di T con 3 coni, la partenza dista 6 metri dal cono centrale, da questo i coni laterali distano 3 metri. All'atleta è richiesto di effettuare uno sprint anteriore dalla linea di partenza fino al cono centrale, toccarne l'apice con la mano destra, raggiungere i coni di sinistra e poi destra con degli scivolamenti laterali e toccarli con le rispettive mani, infine tornare al cono centrale, toccarne nuovamente l'apice con la mano destra ed effettuare uno sprint all'indietro per tornare alla posizione di partenza. Qualora il test non fosse eseguito correttamente la prova è considerata nulla e viene effettuato un nuovo tentativo; l'outcome misurato è il tempo di esecuzione del percorso (Pauole K et al., 2000).
 3. Medial side hop for distance: al soggetto è richiesto di compiere un balzo mediale monopodalico con l'arto operato partendo con il bordo mediale del piede allineato alla linea di partenza, le mani devono rimanere appoggiate sul bacino per tutta la durata del task. L'obiettivo è raggiungere la maggior distanza possibile atterrando sullo stesso arto e mantenere la posizione per 10 secondi senza eseguire aggiustamenti. La prova è considerata valida se l'atterraggio riesce correttamente senza appoggiare il piede controlaterale a terra e senza staccare le mani dal bacino; qualora queste condizioni non siano rispettate la prova viene ripetuta. L'outcome misurato è la distanza compiuta dal balzo, distanza che viene misurata dal punto di partenza al malleolo mediale del partecipante (Dingenen B et al., 2019).
- Esecuzione dei corrispettivi test neurocognitivi (durata circa 10 min): il partecipante esegue tre volte la singola prova, viene registrato solamente il risultato migliore. Prima dello svolgimento del test completo vengono eseguite due prove solamente con il compito cognitivo, in modo da permettere ai partecipanti di familiarizzare con la richiesta; il risultato di queste prove verrà registrato come parametro cognitivo. Le prove sono state eseguite tramite l'ausilio di un pc, il programma power point (allegato n° 2) ed un proiettore.

1. Y shaped agility test con multistep decision making: il soggetto deve partire nel momento in cui viene proiettato un problema matematico (addizione o sottrazione ad una cifra, ad es: $5+3$); qualora il risultato sia un numero pari al soggetto è richiesto di effettuare un cambio di direzione verso sinistra, se dispari verso destra. Sono valutate solamente le prove effettuate sull'arto inferiore operato. Gli outcome misurati sono il tempo di reazione, il tempo impiegato nello svolgere il compito, l'accuratezza della risposta. A differenza dei successivi due test, questo non ha una versione validata, è stato creato ad hoc basandosi sugli articoli di Walker JM et al. (2021), Grooms DR et al. (2023) e Chaaban CR et al. (2023), ed inserito nel protocollo poiché si ritiene indispensabile in questo contesto valutare il cambio di direzione associato al processo di decision making, in quanto componente fondamentale del dizionario motorio di questa categoria di atleti.
2. T agility test con task visuo cognitivo: per tutta la durata del percorso viene proiettata una serie di 5 colori (ogni colore viene proiettato per 1,6 secondi) a 4 metri di distanza dal cono centrale e al termine della prova al soggetto è richiesto di ricordare i colori nella sequenza corretta. Gli outcome misurati sono il tempo di esecuzione e l'accuratezza nel ricordare la sequenza (Grooms DR et al., 2023).
3. Medial side hop con task visuo cognitivo: il soggetto viene istruito a compiere il balzo nel momento in cui viene mostrata l'immagine di una prima rosa circolare di 8 lettere (4 coppie di lettere dal set "D,F,J,K" per la durata di 110 ms), a questa segue l'immagine di una linea che riporta la posizione di una delle lettere (proiettata per 1,9 sec); sono presentate un totale di 3 rose di lettere durante il task motorio, al soggetto è richiesto di indicare quale lettera ci sia al posto della linea per ognuna di esse durante il mantenimento dell'atterraggio. Le immagini, di grandezza 2metri x 2metri, vengono proiettate a 3 metri di distanza dal soggetto durante l'esecuzione del compito. Gli outcome misurati sono la distanza del salto, l'accuratezza della risposta e il tempo di reazione (Farraye BT et al. 2022).

La fase di svolgimento dei test clinici viene videoregistrata con videocamere ad alta frequenza (> 100 fps) e le immagini sono state analizzate in un secondo momento con il programma di analisi video "Kinovea", così da poter riportare correttamente i risultati di ciascuna prova.

Lo scopo dei task cognitivi è distrarre il soggetto dal compito motorio, in modo che questo sia costretto a fare affidamento solamente sul controllo propriocettivo implicito e

automatico del movimento. È importante che il compito cognitivo impegni l'attenzione del partecipante per tutta la durata della prova, che sia abbastanza complesso da diminuire l'attenzione sul gesto ma che permetta comunque di portarlo a termine (Walker JM et al., 2021). Per questa valutazione sono stati selezionati dei task a carattere prettamente visuo-cognitivo in modo da ricreare il più possibile, sebbene in un contesto standardizzato, la richiesta sportiva specifica di questi atleti (Grooms DR et al., 2023), che in campo devono tenere sotto controllo il pallone, i compagni di squadra e gli avversari durante l'atto motorio. Nella scelta dei test si è cercato di inserire alcuni tra i domini neurocognitivi più determinanti a livello prestazionale, in particolare la memoria di lavoro, la flessibilità cognitiva, l'attenzione visiva e la velocità di reazione, che sono stati descritti nel capitolo 2.

3. In ultima fase, al gruppo rLCA vengono somministrati dall'operatore 1/2 i questionari autovalutativi PROMs: "Anterior Cruciate Ligament-Return to Sport after Injury" (ACL-RSI) e "International Knee Documentation Committee" (IKDC), nelle versioni validate in italiano (Thiebat G et al. 2022, Padua R et al. 2004), durata circa 10 minuti.

Numerosi studi in letteratura riportano quanto siano preponderanti i fattori psicologici nel ritorno alla performance dopo l'infortunio al LCA (Baez S et al., 2022), pertanto, qualora si voglia effettuare una valutazione funzionale e/o neurocognitiva, la paura del movimento è un parametro che non si può ignorare. La kinesiofobia può alterare considerevolmente i risultati di un test, indagarla permette di contestualizzare gli outcome, motivo per cui è stato ritenuto opportuno somministrare la ACL-RSI, scala che misura l'impatto psicologico del ritorno allo sport dopo intervento di ricostruzione LCA. È composta da 12 item, di cui 5 riguardano il benessere emotivo, 5 la fiducia sulle prestazioni fisiche, 2 la valutazione del rischio. Ad ogni item viene assegnato un valore da 0 a 100, con 0 estremamente negativo e 100 nessuna risposta negativa e il punteggio totale si calcola facendo la media dei 12 item. Valori sopra il 60 indicano una probabilità maggiore di tornare al livello pre infortunio (allegato n°3).

L'IKDC invece è un questionario soggettivo che valuta la funzione complessiva del ginocchio ed è suddiviso in tre sezioni: la prima riguarda la sintomatologia, dove si approfondisce l'aspetto del dolore e altri sintomi nel distretto in esame, la seconda e la terza indagano nello specifico il livello di attività sportiva e la funzionalità. Viene utilizzato un sistema di punteggio ordinale per assegnare un punteggio di 0 alle risposte che indicano il livello più basso di funzionalità o il livello più alto di sintomi per ciascun item. Il modulo di valutazione soggettiva delle ginocchia dell'IKDC

viene valutato sommando i risultati dei punteggi di ciascun elemento e convertendo il risultato in una scala da 0 a 100:

$$IKDC = \frac{\text{Somma item}}{\text{Totale (87)}} * 100$$

Punteggi più alti indicano livelli più elevati di funzionalità e livelli più bassi di sintomi, mentre il punteggio trasformato è considerato una misura globale della funzionalità (allegato n°4).

Una volta terminata la terza ed ultima fase (durata totale circa 45 min) i soggetti vengono congedati, e sono informati dei risultati successivamente all'elaborazione dei dati come illustrato dall'elaborato n°4.

2.5 OUTCOME:

2.5.1 Costo neurocognitivo:

L'outcome principale dello studio è il costo neurocognitivo (DTC), ovvero la differenza tra la baseline performance (BP) e la dual task performance (DTP); questo parametro permette di comprendere quanto l'atleta faccia affidamento sulle risorse neurocognitive durante l'atto motorio, è predittore di performance ed è correlato al rischio di infortunio (Grooms DR et al. 2022). Il costo neurocognitivo è stato calcolato per ogni prova cognitivo-motoria attraverso la formula proposta negli articoli di Chabaan CR et al. (2022) e Grooms DR et al. (2023):

$$DTC = \frac{BP-DTP}{BP} * 100$$

La BP è il risultato ricavato dal test funzionale, la DTP è invece il punteggio del parametro funzionale nella prova neurocognitiva. Il costo neurocognitivo va associato al punteggio del parametro cognitivo (n° errori cognitivi commessi durante il test), in modo da comprendere qualora il soggetto abbia dato priorità ad uno o l'altro compito durante la prova, alterando il risultato della stessa: se ad esempio un partecipante dovesse ignorare completamente il compito cognitivo e concentrarsi solo su quello funzionale, il DTC potrebbe risultare ridotto. Per impedire che ciò accada è importante considerare entrambi i parametri (Grooms DR et al., 2022), pertanto si è stabilito per ogni test un punteggio penalità per ogni errore cognitivo commesso durante la prova (ad es. per ogni colore riportato erroneamente nel T test viene aggiunto 2% di DTC al risultato della prova).

Non esiste tuttora consenso in letteratura rispetto a valori accettabili di DTC, anche se alcuni studi propongono 10% come cutoff per un'eccessiva dipendenza neuro cognitiva. Questo aspetto non risulta però rilevante in relazione allo scopo di questo studio, che non si prefigge di classificare i

soggetti sulla base della loro performance ma bensì confrontarli rispetto ai controlli e comprendere se il costo neurocognitivo sia un fattore significativo nel recupero del livello funzionale nell'atleta.

2.5.2 Intervista e PROMs:

Per affiancare il costo neurocognitivo al livello funzionale dell'atleta lo studio si avvale dell'esperienza soggettiva dei partecipanti, i quali sono chiamati a rispondere, durante l'intervista e nei questionari autovalutativi, assegnando un valore alla funzionalità del loro ginocchio. In particolare, durante l'intervista e con l'item n° 9 della scala ACL-RSI, il quale recita: *“Sei sicuro di poter praticare il tuo sport al livello precedente l'infortunio?”*, si indaga qualora il soggetto abbia la percezione di essere tornato o meno ai livelli di attività precedenti l'infortunio; mentre l'item 10 b della scala IKDC, che recita: *“Come giudicheresti la funzionalità del tuo ginocchio in base ad una scala da 0 a 10, dove 10 è la normalità e 0 è l'incapacità di eseguire una o più delle attività quotidiane, comprese eventuali attività sportive? (indichi il numero): - a: Funzionalità prima dell'infortunio al ginocchio; - b: Funzionalità attuale del ginocchio”* (suddetto item non ha valore nel punteggio finale della scala, ma viene considerato come parametro a sé) fa un confronto tra la percezione di funzionalità del ginocchio pre e post lesionale.

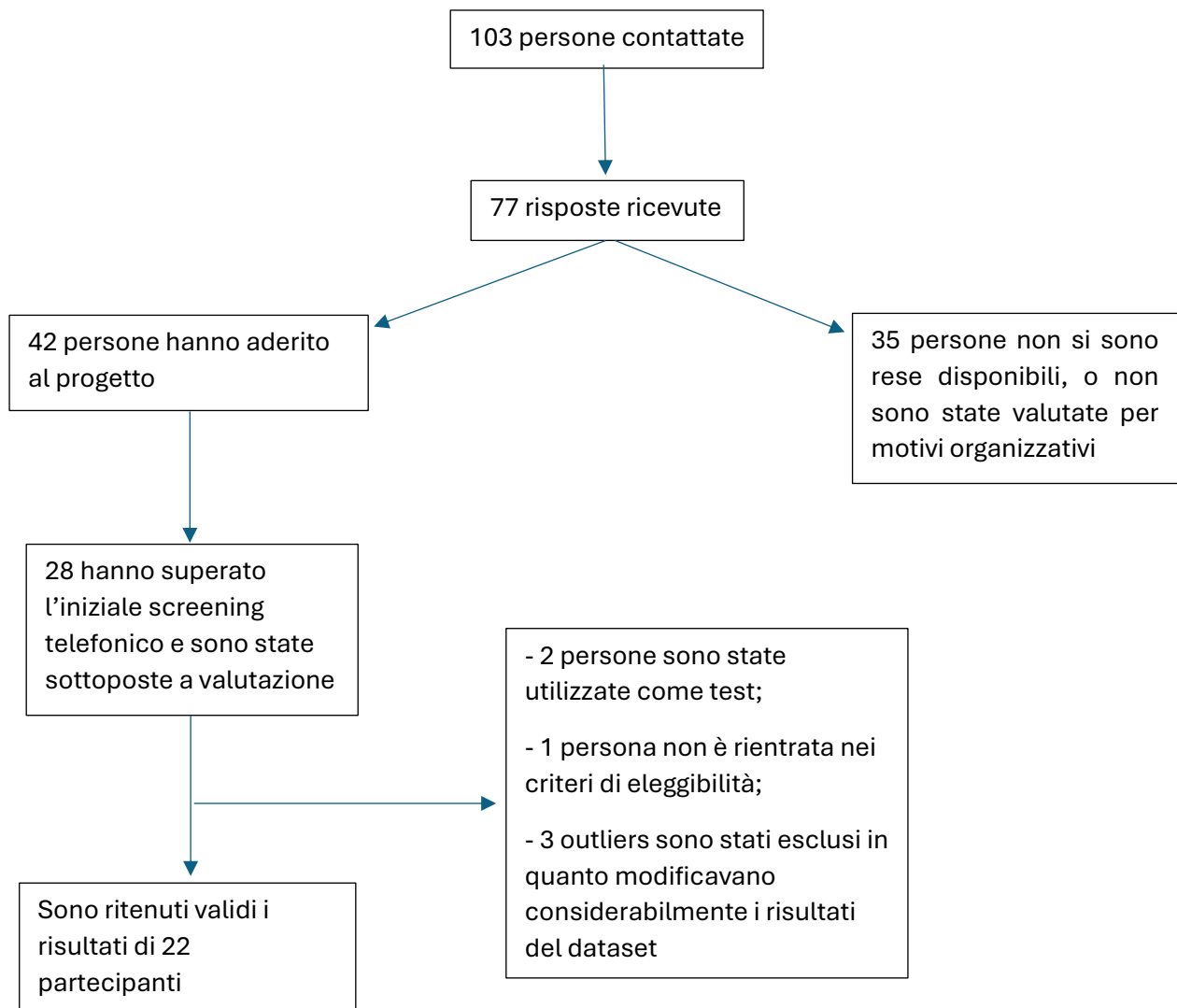
2.6 ELABORAZIONE STATISTICA:

Al termine della raccolta dati l'operatore 3 eseguirà la sintesi. Verranno utilizzati test parametrici quali il test d'ipotesi *'t di student'* per il confronto dei valori medi di due gruppi, l'analisi della varianza *'ANOVA'* ad una via per confrontare le medie di tre o più gruppi ed infine il coefficiente di correlazione di Pearson, che misura la forza e la direzione di una relazione lineare tra due variabili quantitative continue.

3. RISULTATI:

3.1 FLUSSO DEI PARTECIPANTI:

La raccolta dati si è conclusa a settembre 2024. In totale sono state contattate 103 persone, le risposte ricevute sono state 77. Tra coloro che hanno risposto, 42 hanno scelto di aderire al progetto. Dopo l'iniziale screening telefonico, 28 partecipanti sono risultati idonei e sono stati sottoposti a successiva valutazione. I primi due partecipanti sono stati utilizzati come test per individuare eventuali criticità nel protocollo. Un altro partecipante, durante la fase di valutazione, è stato escluso in quanto non soddisfaceva i criteri di eleggibilità dello studio. Infine, data la ridotta numerosità campionaria, i risultati sono particolarmente influenzati dalla presenza di outliers; per questo motivo, in fase di analisi, si è deciso di escludere i dati di 3 partecipanti che alteravano significativamente i valori medi. Pertanto, dei 28 partecipanti valutati, l'analisi finale ha considerato i dati di 22 partecipanti.



Ill. 1: diagramma di flusso

3.2 CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE:

Dei 22 volontari, 14 sono atleti che hanno effettuato l'intervento di ricostruzione e costituiscono il gruppo rLCA, 8 sono atleti sani che fanno parte del gruppo di comparazione. La popolazione del campione è quasi esclusivamente composta da persone di sesso maschile (90,9%). Verranno di seguito elencate nel dettaglio le caratteristiche dei singoli gruppi:

- **Gruppo rLCA:** l'età media del gruppo è di 22,28 anni ($\pm 5,4$), l'85,72% è di sesso maschile, il 28,57% gioca a pallacanestro, il 50% gioca a calcio, i restanti giocano a futsal (14,28%) e rugby (7,14%); la maggior parte dei soggetti ha praticato l'attività a livello agonistico dilettantistico (71,4%). Il 57,14% ha subito l'infortunio al ginocchio destro; il 35,72% ha eseguito intervento con tendine da banca, mentre il 64,28% ha effettuato l'intervento di ricostruzione con innesto autologo (di questi il 66,6% con prelievo da gracile e semitendinoso). Il 57,14% ha svolto riabilitazione pre-operatoria, la riabilitazione post operatoria è avvenuta con una durata media di 7,71 mesi. Sul totale degli atleti con rLCA il 50% è tornato a giocare al livello pre lesionale (sottogruppo 'RTP sì'), il restante 50% ha concluso l'attività o è stato declassato per diversi motivi (kinesiofobia, motivi di studio o lavoro, calo prestativo ecc...) (sottogruppo 'RTP no').
- **Gruppo comparazione:** l'età media del gruppo di comparazione è di 25,5 anni ($\pm 4,7$), il gruppo è composto esclusivamente da soggetti di sesso maschile, il 75% è un giocatore di calcio, il restante 25% gioca a pallacanestro, la maggior parte dei soggetti pratica l'attività a livello agonistico dilettantistico (87,5%).

Le principali caratteristiche dei gruppi di studio sono state sintetizzate nella Tab. 1 per facilitarne la lettura e permettere un confronto più diretto tra i gruppi.

<i>Caratteristiche</i>	<i>Gruppo rLCA</i>	<i>Gruppo comparazione</i>
<i>Numerosità</i>	n = 14	n = 8
<i>Sesso</i>	87,5% M	100 % M
<i>Età media</i>	22,28 anni ($\pm 5,4$)	25,5 anni ($\pm 4,7$)
<i>Attività sportiva</i>	- 50% calcio - 28,5% pallacanestro - 14,2% futsal	- 75% calcio - 25% pallacanestro
<i>Livello</i>	71,4% agonista dilettante	87,5 % agonista dilettante

Tab 1: tabella riassuntiva delle principali caratteristiche dei due gruppi di studio

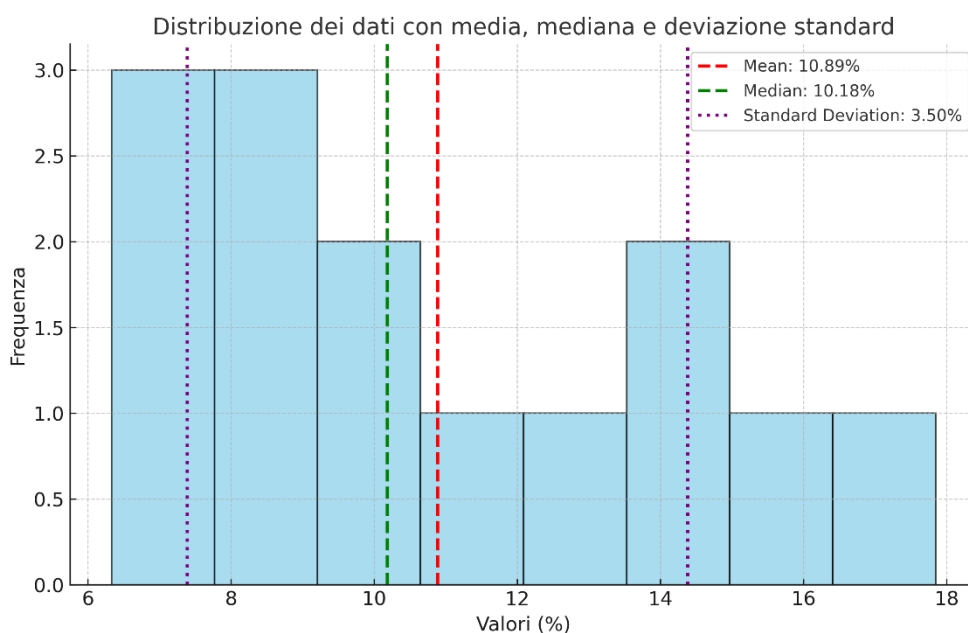
3.3 OUTCOME E MISURE

3.3.1 Dual task cost (DTC): questo parametro è stato calcolato per ogni prova del singolo partecipante e per ognuno di essi è stato identificato il costo neurocognitivo complessivo (*DTC medio*), il quale ha contribuito al calcolo della media e la relativa deviazione standard del gruppo di appartenenza. È stato eseguito in primo luogo un confronto tra le medie del gruppo rLCA e il gruppo di comparazione, in secondo luogo si è suddiviso il gruppo rLCA in ‘RTP sì’ e ‘RTP no’ e si è effettuato un secondo confronto tra i due sottogruppi e il gruppo di comparazione. I valori di DTC delle singole prove e il DTC medio dei gruppi di studio e dei sottogruppi del gruppo rLCA sono inseriti nella Tab. 2:

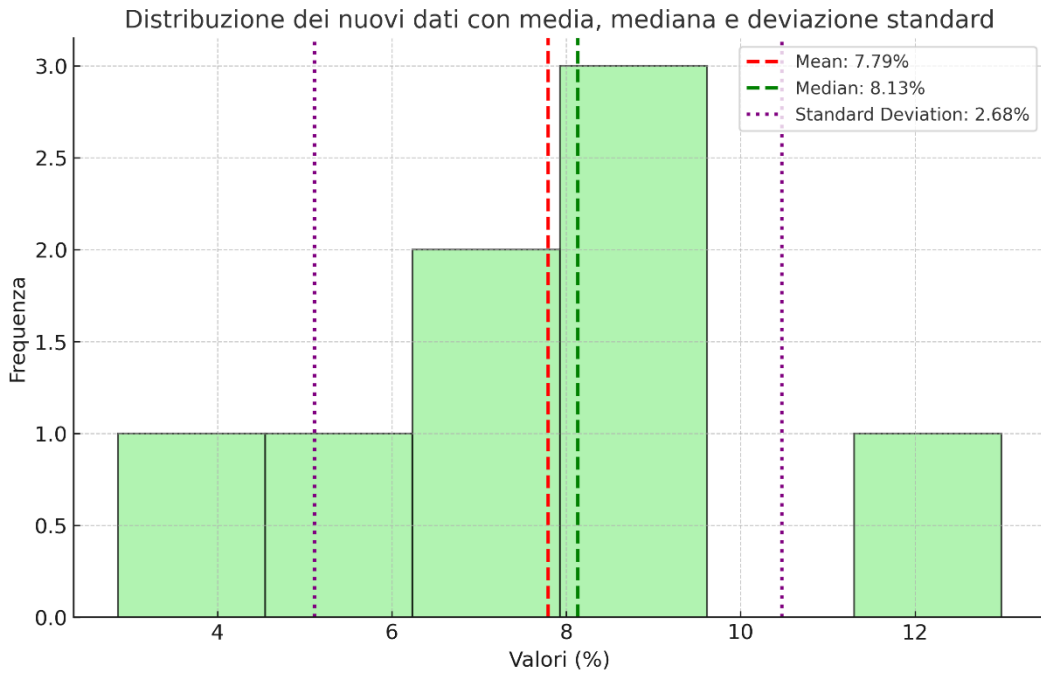
<i>DTC</i>	<i>Gruppo rLCA</i>	<i>Gruppo comparazione</i>	<i>Gruppo ‘RTP sì’</i>	<i>Gruppo ‘RTP no’</i>
<i>Media YS-Test</i>	11,92 %	9,51%	9,42%	14,42%
<i>Media T-Test</i>	3,71%	2,84%	0,61%	6,82%
<i>Media MSH- Test</i>	16,28%	11,02%	13,35%	19,21%
<i>DTC medio</i>	10,88% (± 3,48%)	7,79% (± 2,67%)	8,27% (± 2,19%)	13,5% (± 3,91%)

Tab. 2: valori di DTC delle singole prove e DTC medio dei principali gruppi di studio e dei sottogruppi del gruppo rLCA.

Per maggiore chiarezza la distribuzione dei valori di DTC complessivo dei partecipanti dei gruppi rLCA e di comparazione verrà ora rappresentata graficamente tramite dei diagrammi a barre:

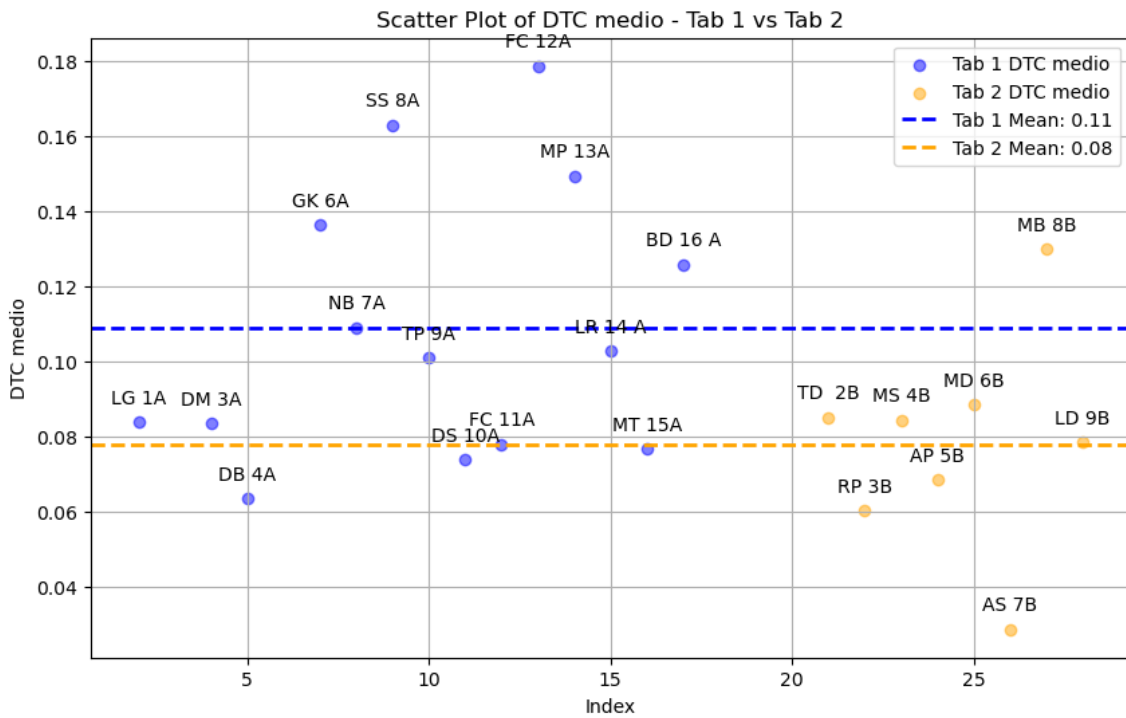


Graf. 1: rappresentazione grafica della distribuzione dei valori di DTC medio nel gruppo rLCA



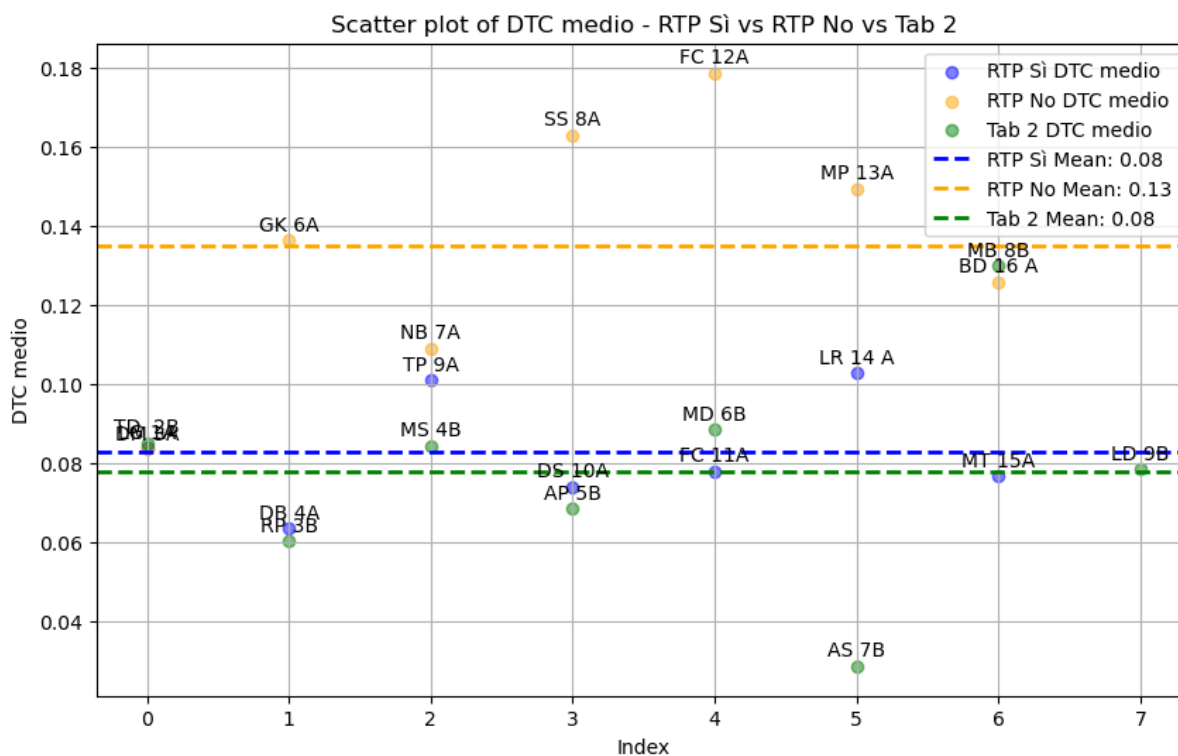
Graf. 2: rappresentazione grafica della distribuzione dei valori di DTC medio nel gruppo di comparazione

È stato utilizzato il test d'ipotesi 't di student' per confrontare il valore medio del DTC tra i due gruppi principali e verificare qualora vi fosse una differenza significativa. Il test ha restituito un valore t di 2,21 con un p-value di 0,04. Poiché quest'ultimo è inferiore al livello di significatività di 0,05, si può concludere che la differenza tra i due gruppi è statisticamente significativa (Graf. 3).



Graf. 3: rappresentazione grafica "scatter plot" della distribuzione dei valori di DTC medio dei gruppi rLCA e comparazione con le rispettive medie.

Per valutare la distribuzione e fare un confronto tra le medie dei tre gruppi è stata condotta un'analisi della varianza 'ANOVA' ad una via. I risultati hanno evidenziato un valore della statistica F pari a 6,49, accompagnato da un p-value di 0,007. Poiché quest'ultimo è inferiore al livello di significatività di 0,05, possiamo concludere che esista una differenza statisticamente significativa tra le medie del DTC nei tre gruppi.



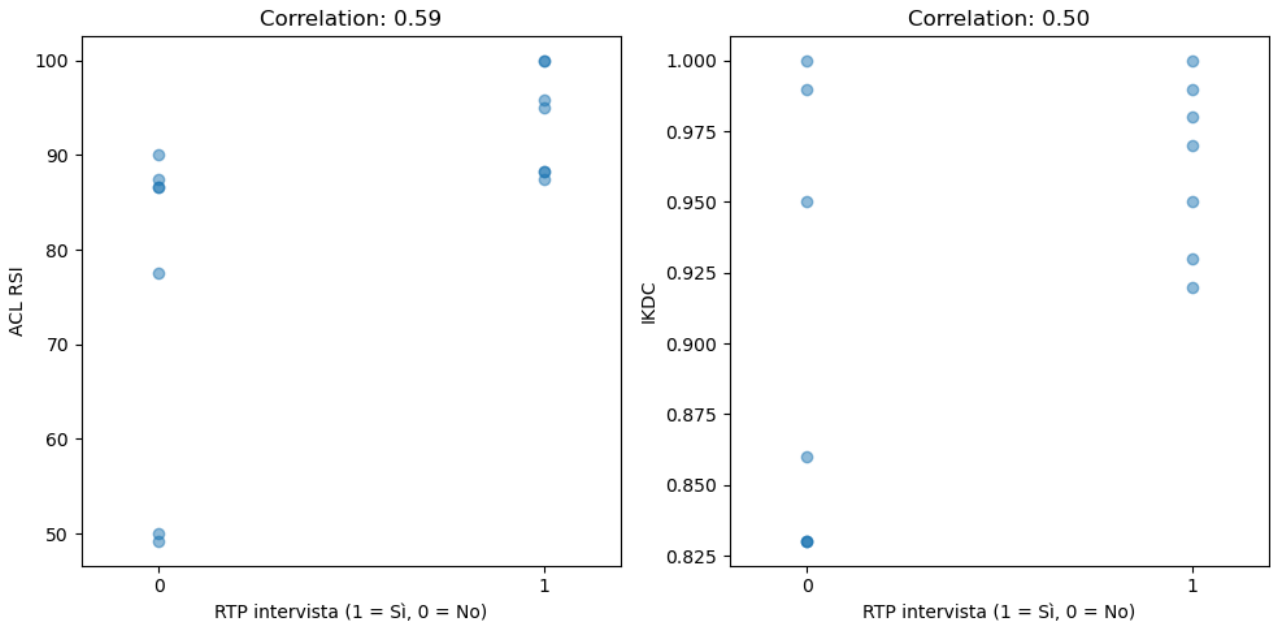
Graf. 4: rappresentazione grafica "scatter plot" della distribuzione del DTC medio dei sottogruppi "RTP sì" e "RTP no" e del gruppo di comparazione con le relative medie.

3.3.2 PROMs:

- **ACL-RSI:** il punteggio medio del gruppo rLCA è di 84,46 ($\pm 15,91$), i sottogruppi 'RTP sì' e 'RTP no' hanno punteggi medi rispettivi di 93,57 ($\pm 5,5$) e di 75,35 ($\pm 18,03$). L'item 9 ha ottenuto punteggio medio di 85/100, i due sottogruppi hanno media rispettiva di 95,71 e di 74,28 punti.
- **IKDC:** il punteggio medio del gruppo rLCA è di 93,07% ($\pm 6,61\%$), i sottogruppi 'RTP sì' e 'RTP no' hanno i punteggi medi rispettivi di 96,28% ($\pm 3\%$) e di 89,85% ($\pm 7,8\%$). L'item 10 b ha ottenuto un punteggio medio di 8,92/10, i due sottogruppi hanno media rispettiva di 9,42 e 8,42 punti.

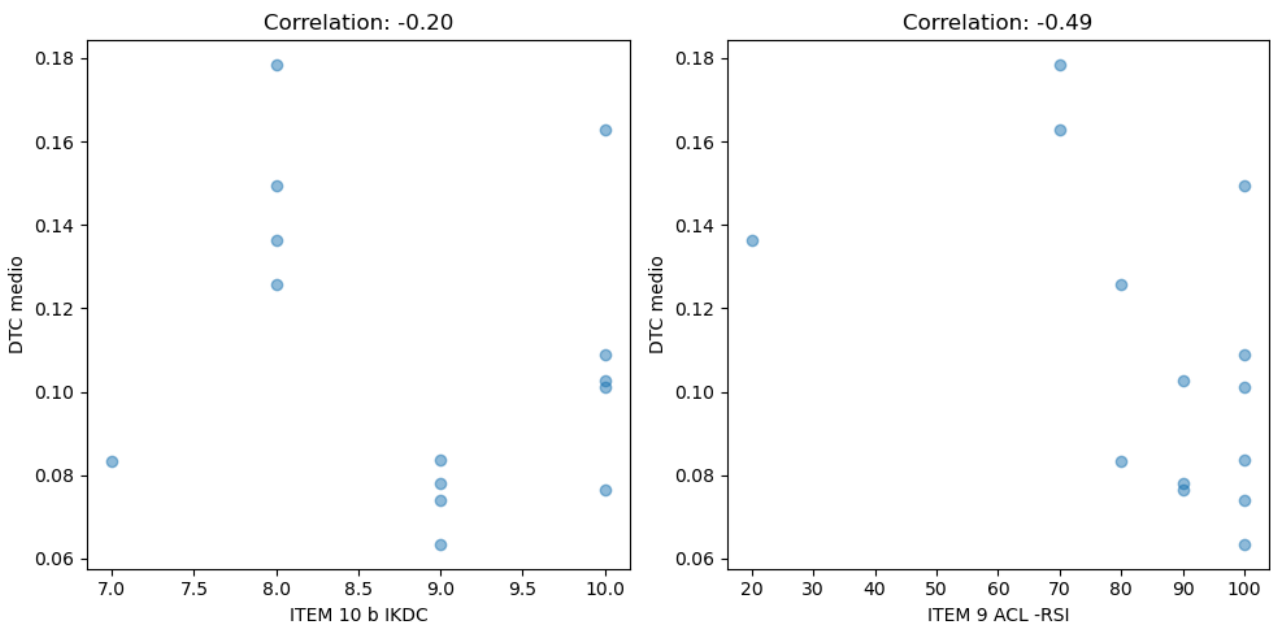
I punteggi dei questionari autovalutativi sono stati successivamente confrontati tra i due sottogruppi 'RTP sì' e 'RTP no' tramite l'indice di correlazione di Pearson. I risultati mostrano una

moderata correlazione positiva per entrambi i questionari, nello specifico è stato osservato un valore 'r' di 0,59 per la ACL-RSI e di 0,5 per l'IKDC.



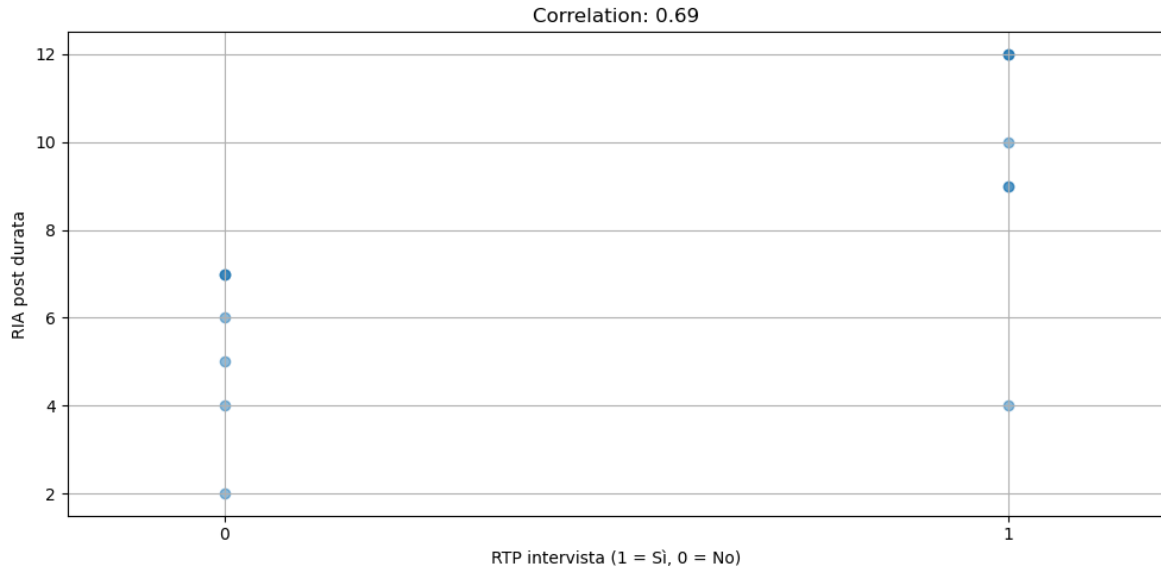
Graf. 5/6: rappresentazione grafica della correlazione tra RTP intervista e i PROMs somministrati ai partecipanti.

Il valore medio del DTC dei singoli soggetti del gruppo rLCA è stato successivamente confrontato con l'item 9 della scala ACL-RSI e l'item 10b della scala IKDC, evidenziando una correlazione negativa per entrambe le scale, indice di una relazione inversa tra i parametri considerati. La correlazione risulta più forte per la scala ACL-RSI, con un punteggio 'r' di -0,49, rispetto alla scala IKDC, che ha mostrato un punteggio di -0,2.



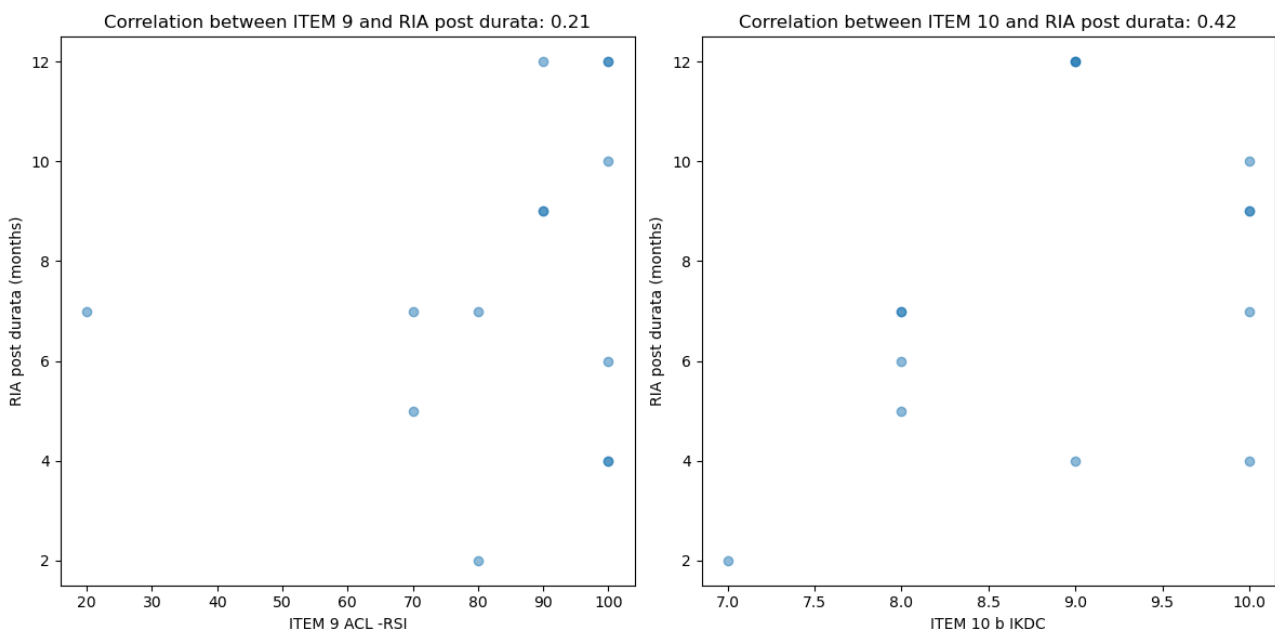
Graf. 7/8: rappresentazione grafica della correlazione tra il DTC complessivo dei partecipanti e la risposta agli item 10 b. della scala IKDC e 9 della scala ACL-RSI.

Un'ulteriore correlazione significativa emersa in fase di analisi dei dati è stata quella tra la durata della riabilitazione post-intervento e il tasso di RTP nel gruppo rLCA. In particolare, è stata riscontrata una correlazione positiva tra i due parametri con coefficiente di correlazione pari a 0,69, come illustrato nel grafico sottostante.



Graf. 7: rappresentazione grafica della correlazione tra la durata della riabilitazione post-intervento e il tasso di RTP nel gruppo rLCA.

Infine, questo parametro è stato affiancato agli item 9 della scala ACL-RSI e 10 b. della scala IKDC, che traducono la percezione di funzionalità post-lesionale dell'atleta in una variabile quantitativa discreta, ottenendo rispettivamente un valore di 'r' pari a 0,21 e 0,42 (Graf. 8).



Graf. 8: rappresentazione grafica della correlazione tra la durata della riabilitazione post-intervento e gli item 9 (ACL-RSI) e 10 b. (IKDC).

4. DISCUSSIONE

4.1 LIMITI DELLO STUDIO:

Lo studio è di natura quasi sperimentale, il che comporta la presenza di diversi bias. In primo luogo, il bias di selezione, dovuto alla ridotta numerosità campionaria ($n=22$) e alla limitata variabilità, soprattutto nel gruppo di comparazione, compromette la rappresentatività del campione. Un secondo limite significativo è il campionamento di convenienza, eseguito per favorire l'omogeneità tra i gruppi, che insieme alla mancanza di randomizzazione incide negativamente sulla significatività statistica dei risultati. Un'ulteriore criticità è la presenza di assessment bias, causato dall'assenza di un protocollo cieco, che può favorire la propensione dell'esaminatore a suffragare inconsapevolmente l'ipotesi preferita. Infine, lo studio si basa su un protocollo creato ad hoc, che, pur fondandosi su riferimenti presenti in letteratura, non è stato validato, limitando ulteriormente la generalizzabilità dei risultati e delle relative conclusioni.

4.2 SINTESI DEI PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI:

Per quanto riguarda l'outcome primario, rappresentato dal DTC medio, emerge una differenza statisticamente significativa ($p = 0,04$) tra i due principali gruppi di studio. Il gruppo rLCA ha registrato un costo neurocognitivo medio di 10,88% ($\pm 3,48\%$), mentre il gruppo di comparazione ha mostrato un costo neurocognitivo medio di 7,79% ($\pm 2,67\%$). Questo risultato indica che gli atleti sani tendono ad avere un costo neurocognitivo ridotto rispetto a quelli che hanno subito un infortunio al LCA. Ancora più evidente è il divario che si ottiene confrontando il gruppo 'RTP sì' e il gruppo di comparazione con il gruppo 'RTP no', che presenta un DTC medio superiore di circa 5 punti percentuali rispetto ai primi due. Questo risultato è accompagnato da elevato livello di significatività ($p\ value = 0,007$). Entrando nel dettaglio dei singoli test è possibile osservare una performance generalmente migliore nella prova T-test (DTC medio: 3,27%), mentre nel medial side hop il costo neurocognitivo è sensibilmente maggiore (DTC medio 13,65 %), con il gruppo di atleti sani che ottiene il punteggio più basso (11,02%).

I risultati dei PROMs si discostano invece nei due sottogruppi. Da una parte vediamo una sostanziale differenza nel punteggio del questionario ACL-RSI tra il gruppo 'RTP sì' (93,57; $\pm 5,5$) e il gruppo 'RTP no' (75,35; $\pm 18,03$), portando ancora una volta l'accento su quanto la kinesiofobia sia un aspetto di estrema rilevanza nel RTP di questi atleti; dall'altra vediamo come il punteggio del questionario IKDC sia piuttosto simile nei due gruppi, con punteggio di 96,28% ($\pm 3\%$) nel gruppo 'RTP sì' e di 89,85% ($\pm 7,8\%$) nel gruppo 'RTP no'. Questa discrepanza si rispecchia anche negli

specifici item delle scale analizzate: per quanto riguarda l'item 9 (ACL-RSI) le medie dei sottogruppi sono rispettivamente 95,71 e 74,28 punti, mentre per l'item 10 b invece i punteggi medi sono 9,42 e 8,42 punti.

Ciononostante, si osservano moderate correlazioni positive per entrambi i punteggi medi dei questionari autovalutativi e il tasso di RTP, con un indice di correlazione di 0,59 per la scala ACL-RSI e di 0,5 per la scala IKDC. Sono stati successivamente confrontati gli item 9 (ACL-RSI) e 10 b. (IKDC), i quali indagano la percezione dell'atleta sul livello di attività post-lesionale, con il DTC medio. In questo caso, si è riscontrata una correlazione negativa, evidenziando una relazione inversa tra i due parametri: un DTC medio più elevato si associa a punteggi inferiori del singolo item e viceversa. Questo fenomeno avviene maggiormente per l'item 9, che presenta un indice di correlazione di 0,49, rispetto all'item 10 b., con un indice di correlazione più debole, pari a 0,2.

In fase di analisi dei dati è emersa un'ulteriore correlazione significativa, quella tra la durata della riabilitazione post-operatoria e il tasso di RTP, con un indice di 0,69 indice di una forte relazione positiva che lega questi due parametri. Successivamente, questo dato è stato confrontato anche con l'item 9 (ACL-RSI) e l'item 10 b. (IKDC), rilevando una correlazione più forte con il secondo ($r = 0,42$). Questo potrebbe suggerire che la durata della riabilitazione possa avere maggiore influenza sulla funzionalità del ginocchio, mentre per l'aspetto psicologico potrebbe risultare più rilevante la specificità degli interventi.

4.3 CONSIDERAZIONI SUI PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI

Tenendo conto dei numerosi limiti dello studio, i risultati relativi all'outcome primario, il costo neurocognitivo (DTC), permettono di affermare che:

- Gli atleti sani hanno ottenuto prestazioni migliori nei compiti *dual task* rispetto a quelli che hanno subito un intervento di ricostruzione LCA.

Questo assunto si trova in linea con gli studi neurofisiologici di Faltus J. et al., (2020) e Chaput M. et al., (2022), in cui si afferma che, a seguito della lesione al legamento crociato, si verificano degli adattamenti neuroplastici a livello del SNC che conducono ad una maggiore "cognitivizzazione" di atti motori normalmente svolti in maniera automatica. Il motivo di questi adattamenti risiede principalmente nel deficit sensoriale propriocettivo che origina dalla lesione del legamento stesso. Sebbene l'innesto, qualunque sia la sua natura, permetta di sopperire la funzione biomeccanica del legamento, non è in grado di ripristinare quella sensoriale, in quanto privo di terminazioni nervose. La deafferentazione induce il SNC ad una riorganizzazione che interessa numerose aree, tra cui la corteccia motoria, che deve sopperire alla riduzione

dell'eccitabilità corticospinale e al deficit di reclutamento del quadricipite; l'area supplementare motoria, che è dedicata alla pianificazione del movimento, viene reclutata maggiormente, indicando la necessità del nostro sistema nervoso di ricevere più informazioni per programmare ed eseguire l'atto motorio (Neto T. et al, 2019); anche la corteccia somatosensoriale, il giro linguale e la circonvoluzione temporale inferiore (che si occupano dell'elaborazione visiva e della congruenza sensoriale-visiva) mostrano un'attività intensificata, indice di una maggiore necessità di informazioni periferiche; in particolare, l'interessamento dell'area visiva del lobo temporale riflette l'esigenza di un maggiore feedback visivo durante il movimento dell'articolazione lesa (Raisbeck L.D et al., 2020, Kapreli E. et al. 2009). Questi adattamenti hanno lo scopo di mantenere un'efficace organizzazione del movimento nonostante i deficit descritti, ma comportano un maggiore impiego di risorse neurocognitive e allungano il tempo necessario per la pianificazione e l'esecuzione motoria. Inoltre, una raccolta di informazioni basata primariamente sul canale visivo è sfavorevole e inadeguata per rispondere alle numerose sollecitazioni tipiche degli sport *open skills*. Da tutto ciò sembrano conseguire i deficit legati al tempo di reazione e alla velocità di processamento delle informazioni individuati negli atleti dopo infortunio al LCA, come attesta lo studio di Swanik C.B. (2015).

- Gli atleti post rLCA che non sono tornati al livello di attività pre-lesionale (RTP no) mostrano una performance significativamente peggiore nelle prove dual task rispetto alla controparte che ha ripreso l'attività (RTP si).

Sebbene la validità ecologica dei test inclusi nel protocollo sia limitata a vantaggio di una migliore standardizzazione, questi strumenti, integrando la richiesta cognitiva a quella motoria, cercano di simulare più fedelmente le richieste sport-specifiche di carattere situazionale. Il calo di performance funzionale in questa categoria di soggetti è di conseguenza emblematico, segnale del persistere di un'eccessiva dipendenza dai processi neurocognitivi, nonostante il lungo periodo di tempo trascorso dall'intervento. L'interferenza cognitivo motoria (CMi) è un fenomeno presente in ogni individuo; tuttavia, in questi pazienti risulta significativamente marcato e, se non gestito adeguatamente, può compromettere il loro rendimento al momento del ritorno in campo. Un altro dato rilevante è che il gruppo RTP mostra un DTC medio solo leggermente superiore rispetto al gruppo di comparazione. Sebbene non sia stato indagato con precisione se e in che misura la componente neurocognitiva sia stata inserita nel protocollo riabilitativo, questo dato potrebbe suggerire che tale componente sia allenabile. Ad avvalorare questa ipotesi la revisione sistematica di Wu J. et al. (2024), che dimostra come tutti gli atleti sperimentino un calo di

performance legato alla CMi, ma che questo calo si riduca sensibilmente in seguito ad un training specifico cognitivo-motorio.

In linea con il precedente risultato è il confronto tra gli item 9 della scala ACL-RSI e 10 b. della IKDC, che esprimono con un valore discreto la differenza di funzionalità pre e post lesionale percepita dell'atleta e il DTC medio. Il confronto tra queste variabili ha permesso in entrambi i casi di evidenziare una moderata relazione negativa tra di esse, stando a significare che la funzionalità post-lesionale percepita aumenta, sebbene non in maniera lineare, al diminuire del DTC medio.

Alla luce di questi risultati e considerando le premesse su cui si fonda lo studio, ovvero che solamente il 65% degli atleti riesce a tornare con successo al livello di attività pre-lesionale e che il rischio di recidiva o di lesione del controlaterale raggiunge il 25%, è ragionevole concludere che il costo neurocognitivo rappresenti un fattore determinante nel recupero del pieno livello funzionale e nel RTS negli sport di livello 1. Diventa quindi opportuno ripensare i protocolli riabilitativi di questa categoria di pazienti, integrando la componente neurocognitiva sia in fase di trattamento che di valutazione nelle fasi avanzate della riabilitazione. A sostegno di questa prospettiva abbiamo un numero crescente di studi in letteratura, tra cui quello di Lang M.K et al. (2023), che ha esaminato le differenze nelle funzioni neurocognitive tra atleti che hanno superato o meno i criteri standard per il RTP. Gli autori evidenziano che, in generale, gli atleti post rLCA abbiano un deficit per quanto riguarda le funzioni neurocognitive; inoltre, deficit nei domini come attenzione, memoria di lavoro e flessibilità cognitiva sono emersi anche tra coloro che sono stati autorizzati al RTP. Questo dato sottolinea l'inadeguatezza dei criteri che, ancora oggi, rappresentano lo standard per il *decision-making* dei clinici: criteri temporali, neuromuscolari e funzionali (sebbene nel 42% degli studi si parli ancora solo di quello temporale) (Unzvergat C. et al., 2021). Anche i test funzionali, basati su *closed motor skills* - movimenti standardizzati svolti in un ambiente prevedibile - non rispecchiano del tutto la complessità delle richieste motorie che bisogna affrontare all'interno del campo di gioco. Negli sport di livello 1 gli atleti sono inseriti in un ambiente in continua evoluzione, scandito da un ritmo esterno, in cui il legame percezione-azione è fondamentale per garantire una prestazione adeguata e competitiva. Il giocatore deve riconoscere non solo le proprie opportunità d'azione, ma anche valutare quelle degli avversari e dei compagni di squadra, arrivando ad una soluzione motoria in tempi estremamente rapidi. Qualsiasi deficit o ritardo nell'elaborazione sensoriale o attentiva può portare a errori di coordinazione e provocare movimenti del ginocchio ad alto rischio.

I risultati dello studio devono essere contestualizzati: come già osservato esistono altri fattori che vanno ad incidere significativamente sul recupero del livello funzionale, tra cui la kinesiofobia e

la durata della riabilitazione post-intervento, entrambi fortemente correlati con il RTP ($r > 0,5$). Per quanto importante la componente neurocognitiva, da sola non è sufficiente a garantire un RTP efficace; al contrario, è un aspetto che risulta più appropriato inserire nella fasi avanzate della riabilitazione, in particolare nella transizione dal contesto riabilitativo, protetto e prevedibile, al ritorno in campo, dinamico e imprevedibile. Questo passaggio, tuttavia, richiede il raggiungimento di determinati prerequisiti funzionali che sono propedeutici allo svolgimento delle attività dual task. Tale aspetto dovrebbe quindi essere considerato un'integrazione agli attuali protocolli, con l'obiettivo di offrire una riabilitazione completa e multidimensionale, capace di supportare gli atleti in ogni versante della loro prestazione sportiva.

5. CONCLUSIONI

L'obiettivo principale dello studio era analizzare, in ottica retrospettiva, qualora il costo neurocognitivo (DTC) rappresenti un fattore rilevante nel recupero del livello funzionale degli atleti di sport di livello 1 dopo un intervento di ricostruzione del legamento crociato anteriore. Questo aspetto è stato indagato confrontando il DTC tra atleti che sono tornati al loro livello di attività pre-lesionale e quelli che non vi sono riusciti. Un ulteriore obiettivo era verificare se gli atleti operati mostrino una performance ridotta nei test con inserimento della componente neurocognitiva rispetto ai soggetti sani. I risultati ottenuti sono coerenti con entrambi gli obiettivi dello studio, indicando che gli atleti operati di LCA ottengono delle prestazioni tendenzialmente inferiori nelle prove cognitivo-motorie; tale divario è ancora più significativo per gli atleti che non sono tornati al livello di attività pre-lesionale. Tenendo conto dei numerosi limiti di questo progetto, i risultati si allineano ad una letteratura sempre più corposa e avvalorano l'ipotesi in studio, ovvero che il costo neurocognitivo sia un fattore rilevante nel recupero del livello funzionale e nel ritorno allo sport. L'integrazione della componente neurocognitiva negli attuali protocolli riabilitativi potrebbe essere la chiave per aumentare le percentuali di ritorno all'attività sportiva negli atleti di sport di livello 1, che si attestano tuttora al 65%, e per ridurre il rischio di recidiva che perseguita quasi un quarto di questi pazienti.

5.1 POSSIBILI SVILUPPI FUTURI

Essendo il primo studio di questo genere in letteratura, i futuri sviluppi potrebbero seguire la linea di questo progetto, ampliando e diversificando il campione di studio e implementando un protocollo di valutazione validato, al fine di migliorare la generalizzabilità dei risultati ottenuti. Ulteriori prospettive potrebbero riguardare l'applicazione di questo approccio anche ad altri tipi di infortuni, come le distorsioni di caviglia, o l'analisi del possibile legame tra gli aspetti psicologici, come l'ansia e la motivazione, e la componente neurocognitiva, per comprendere meglio se e come questi fattori possano influenzarsi e come questo possa incidere sul percorso riabilitativo.

6. BIBLIOGRAFIA

1. FEUCHT M.J, COTIC M, SAIER T, MINZLAFF P, PLATH J.E, IMHOFF A.B, ET AL. (2016), “*Patient expectations of primary and revision anterior cruciate ligament reconstruction.*” *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. Vol: 24 (1), pag: 201–7.
2. ARDERN C.L, TAYLOR N.F, FELLER J.A, WEBSTER K.E. (2014), “*Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors.*” *British Journal of Sports Medicine*. Vol: 48 (21), pag: 1543–52.
3. BARBER-WESTIN S, RNOYES F. (2020), “*One in 5 Athletes Sustain Reinjury Upon Return to High-Risk Sports After ACL Reconstruction: A Systematic Review in 1239 Athletes Younger Than 20 Years*”. *Sports Health*. Vol: 12 (6), pag: 587-597.
4. FALTUS J, RYAN CRISS C, GROOMS D.R. (2020), “*Shifting Focus: A Clinician's Guide to Understanding Neuroplasticity for Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation.*” *Current Sports Medicine. Rep*. Vol: 19 (2), pag: 76-83.
5. GROOMS D.R, PAGE S.J, NICHOLS-LARSEN D.S, ET AL. (2017), “*Neuroplasticity associated with anterior cruciate ligament reconstruction.*” *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*. Vol 47, pag: 180-9.
6. GROOMS D.R ET AL. (2023), “*Combining Neurocognitive and Functional Tests to Improve Return-to-Sport Decisions Following ACL Reconstruction.*” *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*. Vol: 53 (8), pag: 415–419.
7. HERMAN D.C ET AL. (2015), “*Effect of neurocognition and concussion on musculoskeletal injury risk.*” *Current sports medicine reports*. Vol: 14 (3), pag: 194-9.
8. PISKIN D. ET AL. (2022), “*Neurocognitive and Neurophysiological Functions Related to ACL Injury: A Framework for Neurocognitive Approaches in Rehabilitation and Return-to-Sports Tests.*” *Sports health*. Vol: 14 (4), pag: 549-555.
9. BERTOZZI F. ET AL. (2023), “*Associations Between Cognitive Function and ACL Injury-Related Biomechanics: A Systematic Review.*” *Sports health*. Vol: 15 (6), pag: 855-866.
10. LEONE C, FEYS P, MOUMDJIAN L, D’AMICO E, ZAPPIA M, PATTI F. (2017), “*Cognitive-motor dual-task interference: A systematic review of neural correlates.*” *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, pag: 348-360.

11. NEUMANN D. ET AL. (2019), “Ginocchio” in “*Chinesiologia del sistema muscoloscheletrico*”, Piccin Ed, pag: 545-602.
12. EVANS J, MABROUK A, NIELSON J.L. (2024), “*Anterior Cruciate Ligament Knee Injury.*” [Updated 2023 Nov 17].
Disponibile on-line all’indirizzo: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499848/>
13. BARBER-WESTIN S, AND NOYES F.R. (1999), “*Assessment of sports participation levels following knee injuries.*” *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*. Vol. 28 (1), pag: 1-10.
14. GOKELER A. ET AL. (2021), “*Anterior cruciate ligament injury mechanisms through a neurocognition lens: implications for injury screening.*” *BMJ open sport & exercise medicine*. Vol. 7 (2).
15. HAGGERTY A.L, SIMON J.E, CRISS C.R, HOWON K, WOHL T, GROOMS D.R. (2020), “*Neuroplastic multimodal ACL rehabilitation*”. Aspetar.
16. BRINLEE A.W ET AL. (2022), “*ACL Reconstruction Rehabilitation: Clinical Data, Biologic Healing, and Criterion-Based Milestones to Inform a Return-to-Sport Guideline.*” *Sports health*. Vol. 14 (5), pag: 770-779.
17. HARVEY P.D. (2019), “*Domains of cognition and their assessment.*” *Dialogues in Clinical Neuroscience*. Vol: 21(3), pag: 227-237.
18. LANG K.F, MARYAM ET AL. (2023), “*Differences in Neurocognitive Functions Between Healthy Controls and Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Male Athletes Who Passed or Failed Return to Sport Criteria: A Preliminary Study.*” *Journal of sport rehabilitation*. Vol. 32, (6) pag: 645-654.
19. DIAMOND A. (2013), “*Executive functions.*” *Annual Review of Psychology*. Vol: 64, pag: 68-135.
20. NESS B.M, ZIMNEY K, SCHWEINLE W.E, CLELAND J.A. (2020), “*Dual-task assesment implications for anterior cruciate ligament injury: a systematic review.*” *International Journal of Sports Physical Therapy*. Vol: 15 (6), pag: 840-855.
21. MIKO S.C ET AL. (2021), “*Postural stability during visual-based cognitive and motor dual-tasks after ACLR.*” *Journal of science and medicine in sport*. Vol. 24 (2), pag: 146-151.
22. HORNÍKOVÁ H, ZEMKOVÁ E. (2022), “*Determinants of Y-Shaped Agility Test in Basketball Players.*” *Applied Science*. Vol:12 (4), 1865.
23. PAUOLE K, MADOLE K, GARHAMMER J, LACOURSE M, ROZENEK R. (2000), “*Reliability and Validity of the T-Test as a Measure of Agility, Leg Power, and Leg Speed in College-Aged Men and Women.*” *Journal of Strength and Conditioning Research*. Vol: 14 (4), pag: 443-450.

24. DINGENEN B. ET AL. (2019), "*Test-retest reliability and discriminative ability of forward, medial and rotational single-leg hop tests.*" *The Knee*. Vol. 26 (5), pag: 978-987.
25. WALKER J.M ET AL. (2021), "*Integrating neurocognitive challenges into injury prevention training: A clinical commentary.*" *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*. Vol. 51, pag: 8-16.
26. CHAABAN C.R ET AL. (2023), "*Think outside the box: Incorporating secondary cognitive tasks into return to sport testing after ACL reconstruction.*" *Frontiers in sports and active living*. Vol. 4 (15).
27. FARRAYE B.T ET AL. (2022), "*Development and reliability of a visual-cognitive medial side hop for return to sport testing.*" *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*. Vol. 57, pag: 40-45.
28. THIEBAT G. ET AL. (2022), "*Italian version of the anterior cruciate ligament-return to sport after injury scale (IT ACL-RSI): translation, cross-cultural adaptation, validation and ability to predict the return to sport at medium-term follow-up in a population of sport patients.*" *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*. Vol. 30 (1), pag: 270-279.
29. PADUA R. ET AL. (2004), "*Italian version of the International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form: cross-cultural adaptation and validation.*" *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. Vol. 20 (8), pag: 819-23.
30. BAEZ S. ET AL. (2023), "*Psychological Readiness, Injury-Related Fear, and Persistent Knee Symptoms After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.*" *Journal of athletic training*. Vol. 58 (11-12), pag: 998-1003.
31. DIEKFUSS J.A, GROOMS D.R, NISSEN K.S, ET AL. (2020), "*Alterations in knee sensorimotor brain functional connectivity contributes to ACL injury in male high-school football players: a prospective neuroimaging analysis.*" *Brazilian Journal of Physical Therapy*. Vol: 24 (5), pag: 415-423.
32. DIEKFUSS J.A, GROOMS D.R, YUAN W, ET AL. (2019), "*Does brain functional connectivity contribute to musculoskeletal injury? A preliminary prospective analysis of a neural biomarker of ACL injury risk.*" *Journal of Science and Medicine in Sport*. Vol: 22 (2), pag: 169-174.
33. CHAPUT M, NESS B, LUCAS K, ZIMNEY K. (2022), "*A Multi-Systems Approach to Human Movement after ACL Reconstruction: The Nervous System.*" *International Journal of Sports Physical Therapy*. Vol: 17.

34. NETO T. ET AL. (2019), "*Functional Brain Plasticity Associated with ACL Injury: A Scoping Review of Current Evidence.*" Neural plasticity.
35. KAPRELI E. ET AL. (2009), "*Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study.*" The American journal of sports medicine. Vol: 37 (12), pag: 2419-26.
36. RAISBECK L.D, DIEKFUSS J.A, GROOMS D.R, SCHMITZ R. (2020), "*The Effects of Attentional Focus on Brain Function During a Gross Motor Task*". Journal of Sport Rehabilitation. Vol: 29 (4), pag: 441–7.
37. SWANIK C.B. (2015), "*Brains and Sprains: The Brain's Role in Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries.*" Journal of athletic training. Vol: 50 (10), pag: 1100-2.
38. JUNYU W, PENG Q, SHUAIBING L, MINGXIAN C, YOUQIANG L. (2024), "*The effects of cognitive-motor dual-task training on athletes' cognition and motor performance.*" Frontiers in Psychology. Vol: 15.
39. UNVERZAGT C. ET AL. (2021), "*ACL Return to Sport Testing: It's Time to Step up Our Game.*" International journal of sports physical therapy. Vol. 16 (4), pag: 1169-1177.

7. ALLEGATI

ALLEGATO n° 1: modulo intervista

Codice:

Età:

Sesso:

Scaletta intervista:

1. Attività sportiva:

- Quale attività sportiva svolgi/hai svolto e da quanto tempo?

- Svolgi/hai svolto la tua attività a livello agonistico? Se sì, a livello dilettantistico o professionistico?

- Quale ruolo svolgi/hai svolto (sport di squadra)?

- Qual è il volume di allenamento settimanale medio in season?

- Svolgi altre attività nel tempo libero?

2. Infortunio:

AI: SX/DX

- Quando e come è avvenuto l'infortunio al ginocchio?

- Hai effettuato riabilitazione prima dell'intervento? Se sì, come si è svolta? (frequenza, durata, interventi)

- Quando e che tipo di intervento chirurgico è stato effettuato?

- Hai subito altri infortuni rilevanti?

3. Eventuali comorbidità:

- In questo momento percepisci dolore al ginocchio, o in altri distretti?

- È stato diagnosticato un disturbo specifico dell'apprendimento?

- Ti sono stati diagnosticati disturbi di carattere neurologico o vestibolare?

4. Percorso riabilitativo post intervento:

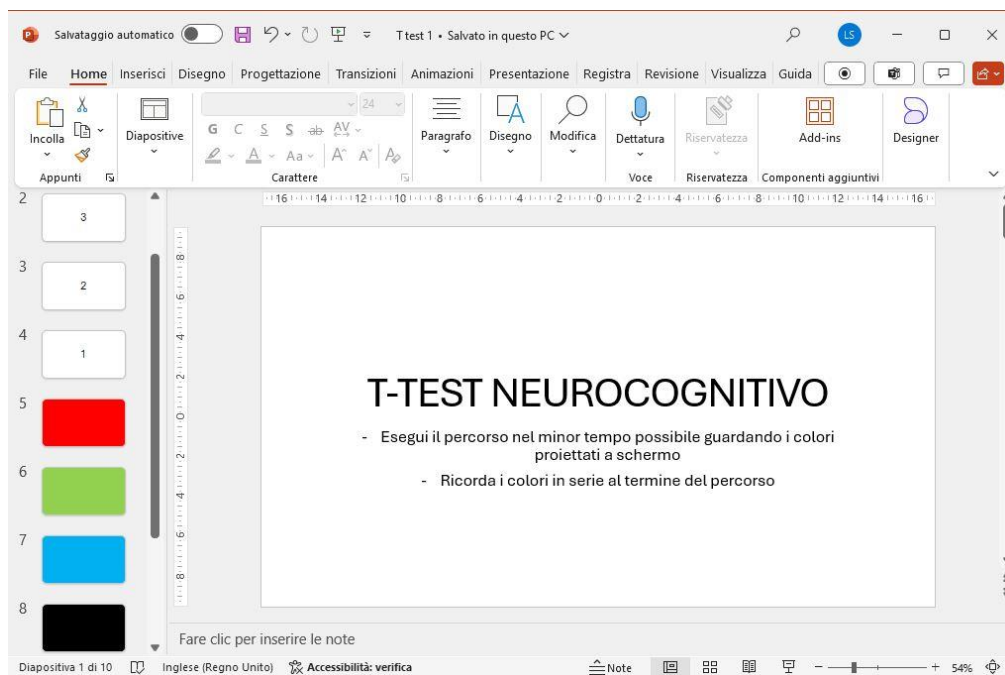
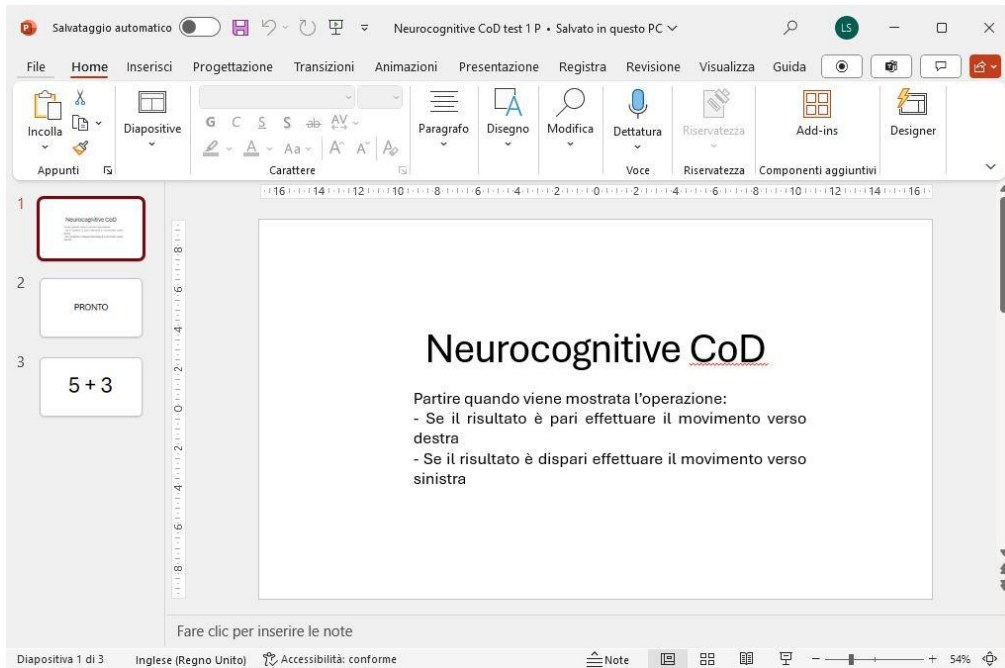
- Come si è svolta la riabilitazione dopo l'intervento? (frequenza, durata, interventi)

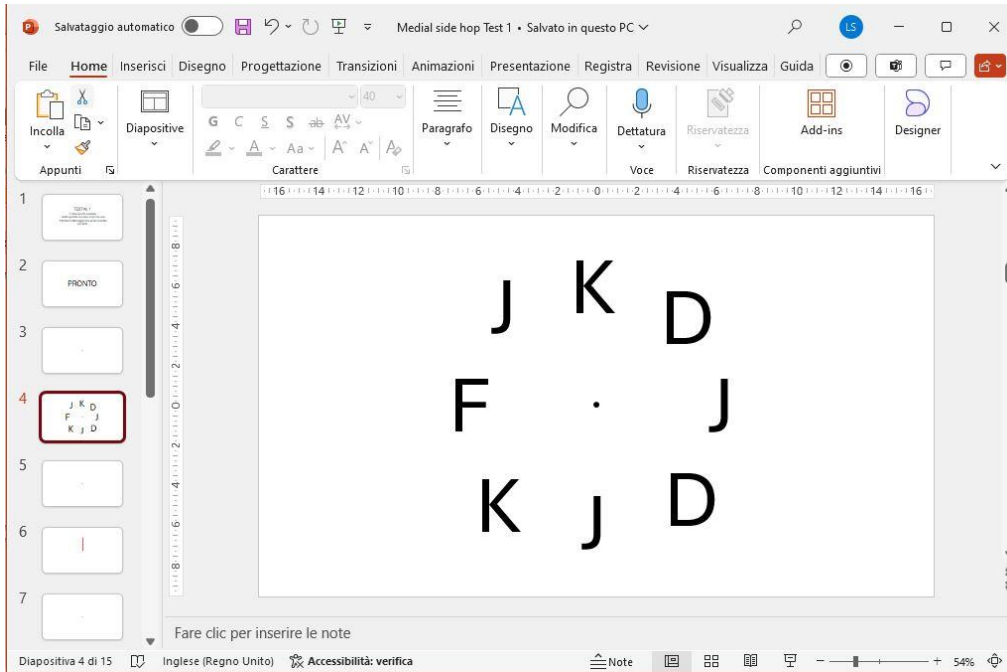
- Sei tornato a svolgere la tua attività sportiva? Se sì, ai livelli precedenti l'infortunio?

RISULTATI TEST:

TEST	Prova funzionale	Prova cognitiva	Prova DT
VCMH	Distanza: Tempo di reazione:	Errori:	Distanza: Errori: Tempo di reazione:
T-TEST	Tempo di esecuzione:	Errori:	Tempo di esecuzione: Errori:
YST-DM	Tempo di esecuzione:	Errori:	Tempo di esecuzione: Errori:

ALLEGATO n°2: test neurocognitivi su PowerPoint





ALLEGATO n° 3: scala ACL-RSI

ACL-RSI - Versione Italiana -

Cognome: Nome:

Sesso: M F Data di nascita ___/___/___

Data intervento chirurgico ___/___/___ Arto operato: Destro Sinistro

Data valutazione attuale ___/___/___

Istruzione alla compilazione:

Le chiediamo di rispondere alle domande in riferimento alla sua principale attività sportiva praticata prima dell'incidente. Per ogni domanda, seleziona la casella tra le due estremità in base a ciò che sembra corrispondere meglio alla situazione attuale del tuo ginocchio.

1. Sei nervoso al pensiero di praticare il tuo sport?

Estremamente nervoso 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Per nulla nervoso

2. Trovi frustrante dover pensare al ginocchio nel praticare il tuo sport?

Estremamente frustrante 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Per nulla frustrante

3. Ti senti tranquillo al pensiero di praticare il tuo sport?

Per niente tranquillo 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Estremamente tranquillo

4. Hai paura di subire lo stesso infortunio al ginocchio praticando il tuo sport?

Estremamente impaurito 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Per niente impaurito

5. Hai paura di infortunarti il ginocchio accidentalmente praticando il tuo sport?

Estremamente impaurito 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Per niente impaurito

6. Sei sicuro che il tuo ginocchio non "cederà" praticando il tuo sport?

Per niente sicuro 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Estremamente sicuro

7. Sei sicuro di poter praticare il tuo sport senza preoccuparti del ginocchio?

Per niente sicuro 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Estremamente sicuro

8. Sei sicuro che il ginocchio regga durante attività intense?

Per niente sicuro 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Estremamente sicuro

9. Sei sicuro di poter praticare il tuo sport al livello precedente l'infortunio?

Per niente sicuro 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Estremamente sicuro

10. Sei sicuro della tua capacità di ottenere buone prestazioni nel tuo sport?

Per niente sicuro 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Estremamente sicuro

11. Pensi sia probabile infortunarti nuovamente al ginocchio praticando il tuo sport?

Estremamente probabile 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Per niente probabile

12. Il pensiero di dover affrontare nuovamente l'intervento chirurgico e la riabilitazione ti ostacola dal praticare il tuo sport?

Estremamente 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Per niente

PUNTEGGIO ACL-RSI TOTALE / 12 = _____

E. Tortoli, L. Francini, G. Giovannico, C. Ramponi. Translation, cross-cultural adaptation and validation of the Italian version of the Anterior Cruciate Ligament-Return to sport after injury (ACL-RSI) scale.

ALLEGATO n°4: scala IKDC

Questionario IKDC

1. **A quale livello di attività può sottoporsi senza provare dolore significativo al ginocchio.**

- a. Attività molto vigorose come saltare o fare pemo su un piede (come quando si dribbla nel calcio o nel basket)
- b. Attività vigorose come lavoro fisico pesante, sci o tennis
- c. Attività di moderata intensità come lavoro fisico moderato, corsa o jogging
- d. Attività leggere come camminare, faccende domestiche o giardinaggio
- e. Impossibile praticare le attività sopracitate a causa del dolore al ginocchio

2. **Nelle ultime 4 settimane o dal giorno del suo infortunio, con che frequenza ha accusato dolore?**

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Se m pr e
al	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

3. **Se prova dolore, quanto è forte?**

Nessun dolore	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Il peggior dolore immaginabile
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

- b. Attività vigorose come lavoro fisico pesante, sci o tennis
- c. Attività di moderata intensità come lavoro fisico moderato, corsa o jogging
- d. Attività leggere come camminare, faccende domestiche o giardinaggio
- e. Impossibile praticare le attività sopracitate a causa del dolore al ginocchio

8. **A quale livello di attività sportiva può partecipare regolarmente?**

- a. Attività molto vigorose come saltare o fare pemo su un piede (come quando si dribbla nel calcio o nel basket)
- b. Attività vigorose come lavoro fisico pesante, sci o tennis
- c. Attività di moderata intensità come lavoro fisico moderato, corsa o jogging
- d. Attività leggere come camminare, faccende domestiche o giardinaggio
- e. Impossibile praticare le attività sopracitate a causa del dolore al ginocchio

9. **Il suo ginocchio quanto influisce sulla sua capacità di...**

	Per niente	Lievemente	Moderatamente	Molto	Mi è impossibile
a. Salire le scale	1	2	3	4	5
b. Scendere le scale	1	2	3	4	5
c. Inginocchiarsi	1	2	3	4	5

4.	Molto Forte	Forte	Moderato	Lieve	Nessuno
Nelle ultime 4 settimane o dal giorno del suo infortunio, che livello di gonfiore o rigidità ha notato nel ginocchio	1	2	3	4	5

5. **A quale livello di attività può sottoporsi senza che il ginocchio si gonfi significativamente?**

- a. Attività molto vigorose come saltare o fare pemo su un piede (come quando si dribbla nel calcio o nel basket)
- b. Attività vigorose come lavoro fisico pesante, sci o tennis
- c. Attività di moderata intensità come lavoro fisico moderato, corsa o jogging
- d. Attività leggere come camminare, faccende domestiche o giardinaggio
- e. Impossibile praticare le attività sopracitate a causa del dolore al ginocchio

6.	Si	No
Nelle ultime 4 settimane o dal giorno del suo infortunio, Le è capitato che il suo ginocchio si sia bloccato oppure che abbia "scattato"?	1	2

7. **A quale livello di attività può sottoporsi senza che il ginocchio ceda?**

- a. Attività molto vigorose come saltare o fare pemo su un piede (come quando si dribbla nel calcio o nel basket)

d. Accovacciarsi	1	2	3	4	5
e. Sedersi (a ginocchio flessso)	1	2	3	4	5
f. Alzarsi dalla sedia	1	2	3	4	5
g. Correre per dritto	1	2	3	4	5
h. Saltare atterrando sulla gamba interessata	1	2	3	4	5
i. Fermarsi e ripartire rapidamente	1	2	3	4	5

10. **Come giudicherebbe la funzionalità del tuo ginocchio in base ad una scala da 0 a 10, dove 10 è la normalità e 0 è l'incapacità di eseguire una o più delle attività quotidiane, comprese eventuali attività sportive? (indichi il numero)**

a. Funzionalità prima dell'infortunio al ginocchio	
Impossibile praticare le attività quotidiane	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Nessuna limitazione nel praticare le attività quotidiane

b. Funzionalità attuale al ginocchio	
Impossibile praticare le attività quotidiane	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Nessuna limitazione nel praticare le attività quotidiane

