

INTRODUZIONE.....	3
CAPITOLO 1: ARTICOLAZIONE DEL GINOCCHIO.....	4
1.1. Osteologia	4
1.2. Artrologia	6
1.2.1. La Capsula Articolare.....	6
1.3. Apparato muscolare.....	9
1.4. Apparato legamentoso.....	11
1.4.1. Legamenti extra articolari.....	12
1.4.2. Legamenti intra articolari	14
1.5. Innervazione sensitiva dell'articolazione del ginocchio.....	16
1.6. Chinesiologia del ginocchio.....	17
1.6.1. Articolazione femoro-tibiale.....	17
1.6.2. Articolazione femoro-patellare.....	19
CAPITOLO 2: LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE.....	21
2.1. Meccanismi di danno.....	23
2.2. Sintomi.....	26
CAPITOLO 3: LA CHIRURGIA.....	28
CAPITOLO 4: RIABILITAZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE.....	29
4.1 Il Ritorno allo Sport.....	31
CAPITOLO 5: NEUROPLASTICITÀ E APPROCCIO NEUROCOGNITIVO...32	
CAPITOLO 6: MATERIALI E METODI.....	41
6.1 Lo studio.....	41
6.2 Obiettivi dello studio.....	41
6.3 Strategie di ricerca.....	41
6.4 Criteri di inclusione ed esclusione.....	42
6.5 Flowchart.....	43
6.6 Risultati.....	44

CAPITOLO 7: DISCUSSIONE.....	51
CAPITOLO 8: CONCLUSIONE.....	56
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	57

INTRODUZIONE

La lesione del **legamento crociato anteriore** è uno degli infortuni più frequenti in giovani atleti, principalmente in attività sportive caratterizzate da movimenti imprevedibili e ad alta velocità. La rottura del legamento comporta conseguenze potenzialmente gravi per la partecipazione sportiva e la salute a lungo termine. Nel caso di giovani pazienti che intendono riprendere l'attività, viene spesso consigliato di sottoporsi all'intervento di ricostruzione chirurgica, ma nonostante ciò solo il 55% degli atleti riesce a tornare al livello pre-infortunio in sport competitivi. Chi riesce a tornare all'attività ha però un alto rischio di secondo infortunio e una maggiore probabilità di sviluppare osteoartrite ad insorgenza precoce. Tutto ciò potrebbe star a significare che gli attuali programmi riabilitativi non sono ottimali nell'affrontare i deficit dovuti alla lesione e all'intervento. Molteplici studi sostengono infatti, che le capacità motorie e le capacità neuro-plastiche non sono sufficientemente incorporate al protocollo riabilitativo, in quanto in seguito alla lesione del LCA si verificano anche alterazioni dell'organizzazione del SNC oltre che delle strutture anatomiche e articolari. Lo scopo di questa revisione della letteratura è quindi quello di indagare l'influenza e l'efficacia di un approccio neuro-cognitivo e di test per il **ritorno allo sport (RTS)**.

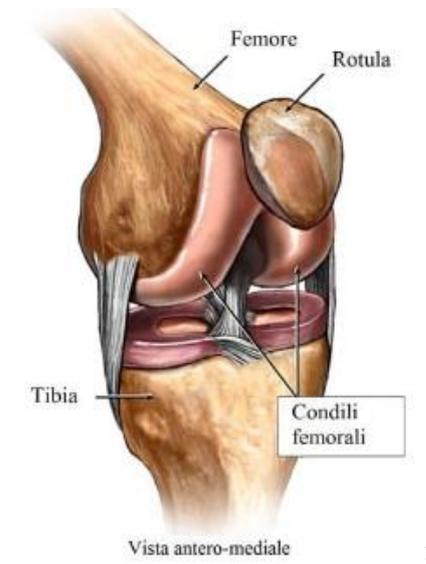
CAPITOLO 1 - ARTICOLAZIONE DEL GINOCCHIO

L'articolazione del ginocchio è una delle più grandi e complesse articolazioni del corpo, che unisce il femore alla tibia, contribuendo sia alla statica che in importanti funzioni biomeccaniche, evidenti in azioni come la deambulazione e la corsa. Il ginocchio è formato dall'articolazione femoro-tibiale e l'articolazione femoro-patellare, come vedremo meglio più avanti. Da un punto di vista funzionale, il ginocchio si muove spesso associato al movimento di altre articolazioni dell'arto inferiore, quali anca e caviglia. Questa stretta correlazione tra le tre articolazioni è riflessa dal fatto che circa i due terzi dei muscoli che interessano il ginocchio riguardano anche le altre due articolazioni.

1.1 Osteologia

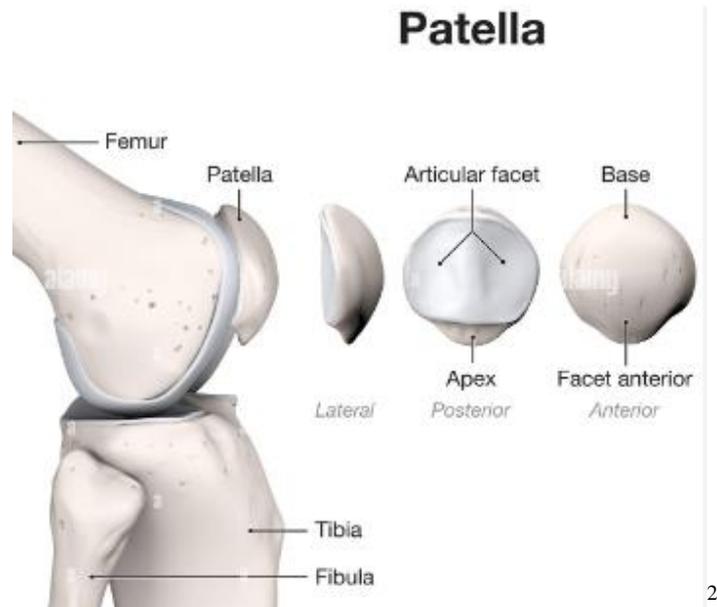
Il ginocchio è composto dagli ampi condili convessi, laterale e mediale, che si trovano in corrispondenza dell'epifisi distale del femore e che si appoggiano sulle due superfici, rispettivamente concava e piatta (o leggermente convessa), dei condili mediale e laterale dell'estremità prossimale della tibia. Tutta questa porzione viene chiamata piatto tibiale e le due superfici articolari sono separate, lungo la linea mediana, da un'eminanza intercondiloidea, formata dai due tubercoli laterale e mediale e dalle aree intercondiloidee anteriori e posteriori. La regione intercondiloidea ha un ruolo importante nell'articolazione del ginocchio in quanto funge da inserzione per i legamenti crociati e i menischi; così come è molto importante la tuberosità tibiale, che si trova sulla superficie anteriore della diafisi prossimale della tibia e serve come inserzione distale per il muscolo quadricipite femorale, attraverso il tendine rotuleo. Prossimalmente invece, i due condili del femore sono caratterizzati dalla presenza degli epicondili laterale e mediale che si proiettano da ciascun condilo e fungono da punto di inserzione per i legamenti collaterali. Posteriormente i condili vengono separati da una grande gola intercondiloidea che permette il passaggio dei legamenti crociati; anteriormente, invece, i condili si uniscono a formare il solco trocleare (intercondiloideo) o troclea femorale, che si articola con il lato posteriore della rotula, formando l'articolazione femoro-rotulea. *“il solco trocleare è concavo da un lato all'altro e leggermente convesso dalla porzione anteriore a quella posteriore. I lati inclinati del solco trocleare formano faccette laterale e mediale”* [1]. La faccetta laterale, essendo più ripida e più pronunciata anteriormente e prossimalmente

rispetto alla mediale, aiuta la stabilizzazione della rotula all'interno del solco durante il movimento del ginocchio.



La rotula (o patella) è un osso sesamoide (il più grande del corpo) di forma quasi triangolare, in quanto ha un apice appuntito inferiormente e una base curva superiormente. La patella è incorporata nel tendine del muscolo quadricipite e funge da inserzione prossimale del tendine rotuleo, che poi si inserisce alla tuberosità tibiale. La rotula è convessa nella sua superficie anteriore, mentre posteriormente, una cresta verticale divide la superficie in una faccetta laterale, più grande e leggermente concava, una mediale e una, detta “odd face”, lungo il margine mediale estremo della faccetta mediale. La superficie posteriore forma l’articolazione femoro-rotulea articolandosi parzialmente con il solco trocleare del femore; la presenza di uno strato cartilagineo che ricopre la superficie aiuta l’assorbimento delle grandi forze di compressione che attraversano l’articolazione. [1, 2]

¹ <https://www.fisioterapiarubiera.com/anatomia-del-ginocchio/>



1.2 Artrologia

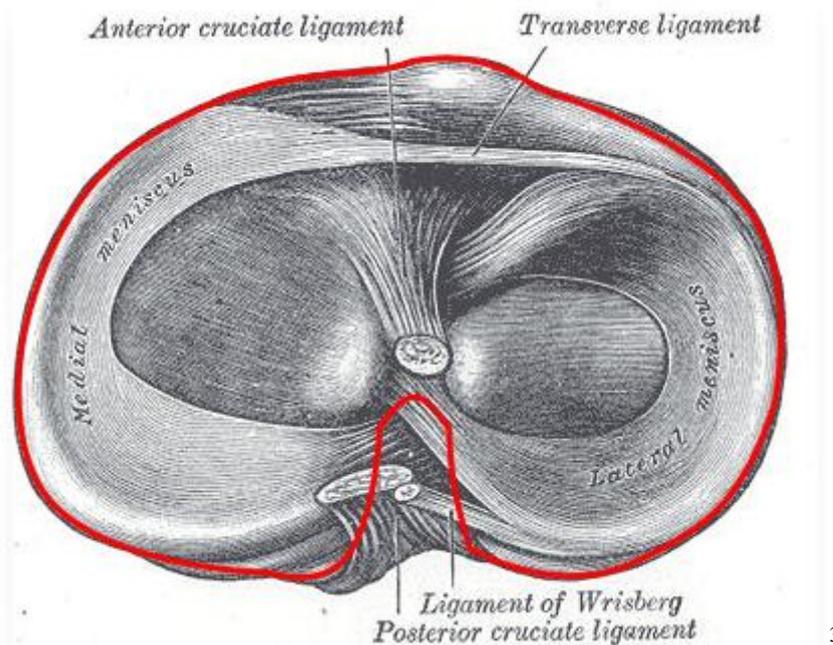
Se si traccia una linea immaginaria che parte dalla spina iliaca anteriore superiore (SIAS), fino al centro della patella e una seconda linea che invece parte dalla patella e arriva alla tuberosità tibiale, si forma un “*Angolo Q*” che negli individui normali, con ginocchio in estensione, è di circa 10° nell’uomo e 15° nella donna. Questo angolo è il risultato di un naturale angolo di inclinazione di circa 125° della porzione prossimale del femore; ciò inclina leggermente la diafisi del femore medialmente, ma dato che poi la tibia è quasi verticale alla gamba, il ginocchio crea un angolo in corrispondenza della sua faccia laterale di circa $170\text{-}175$ gradi. Se questo angolo è inferiore a 170° è chiamato *ginocchio varo eccessivo*, se invece supera i 180° è detto *valgo*. [3]

1.2.1 La capsula articolare

“*La capsula articolare del ginocchio è un manicotto fibroso che circonda l’articolazione e si inserisce ad alcuni millimetri dai capi articolari*” [4]. La capsula racchiude i compartimenti mediale e laterale delle articolazioni femoro-tibiale e femoro-patellare, mentre posteriormente va a formare un solco sagittale che la mette in contatto diretto con i legamenti crociati e che lascia spazio al tendine del muscolo popliteo. Nella sua porzione anteriore la capsula lascia il posto alla rotula e si inserisce ai suoi margini e ai margini del

² <https://www.alamy.it/fotos-immagini/frattura-della-rotula.html?sortBy=relevant>

tendine rotuleo. La superficie interna della capsula fibrosa è ricoperta dalla membrana sinoviale della capsula articolare, che dalla superficie posteriore dell'articolazione si riflette anteriormente per circondare i due legamenti crociati, ma senza inglobarli; questi risultano così intra-capsulari ma extra-sinoviali. La membrana sinoviale va quindi a costituire una piaga sinoviale infra-patellare che divide la cavità articolare in una parte di destra e una sinistra e si proietta in profondità e verso l'alto (5 cm sopra la patella), costituendo la borsa sovra-patellare.



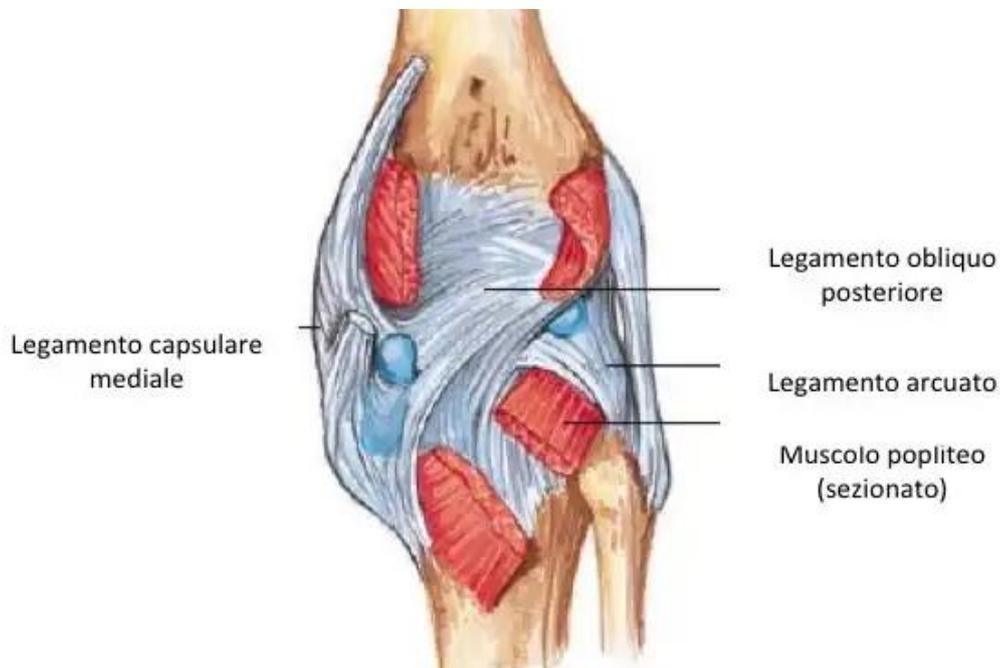
La capsula fibrosa collabora con i legamenti extra-articolari e intra-articolari e con i rinforzi di aponeurosi e tendini, per garantire una grande stabilità dell'articolazione, principalmente nella piena estensione del ginocchio (stazione eretta).

- **Porzione anteriore:** la capsula è rinforzata dal quadricipite e dalle fibre dei retinacoli rotulei laterali e mediali; ovvero estensioni di tessuto connettivo che ricopre vasto laterale, mediale e fascia ileo-tibiale;
- **Porzione laterale:** viene rinforzata dal retinacolo rotuleo laterale, dalla bandelletta ileo-tibiale, dal legamento collaterale fibulare (laterale) e, nella porzione più posteriore, dal tendine del muscolo popliteo e dal legamento popliteo arcuato. Dal punto di vista muscolare invece, la stabilità viene fornita dal muscolo

³ <https://www.osteolab.net/articolazione-del-ginocchio/>

bicipite femorale, dal tendine del muscolo popliteo e dal capo laterale del muscolo gastrocnemio;

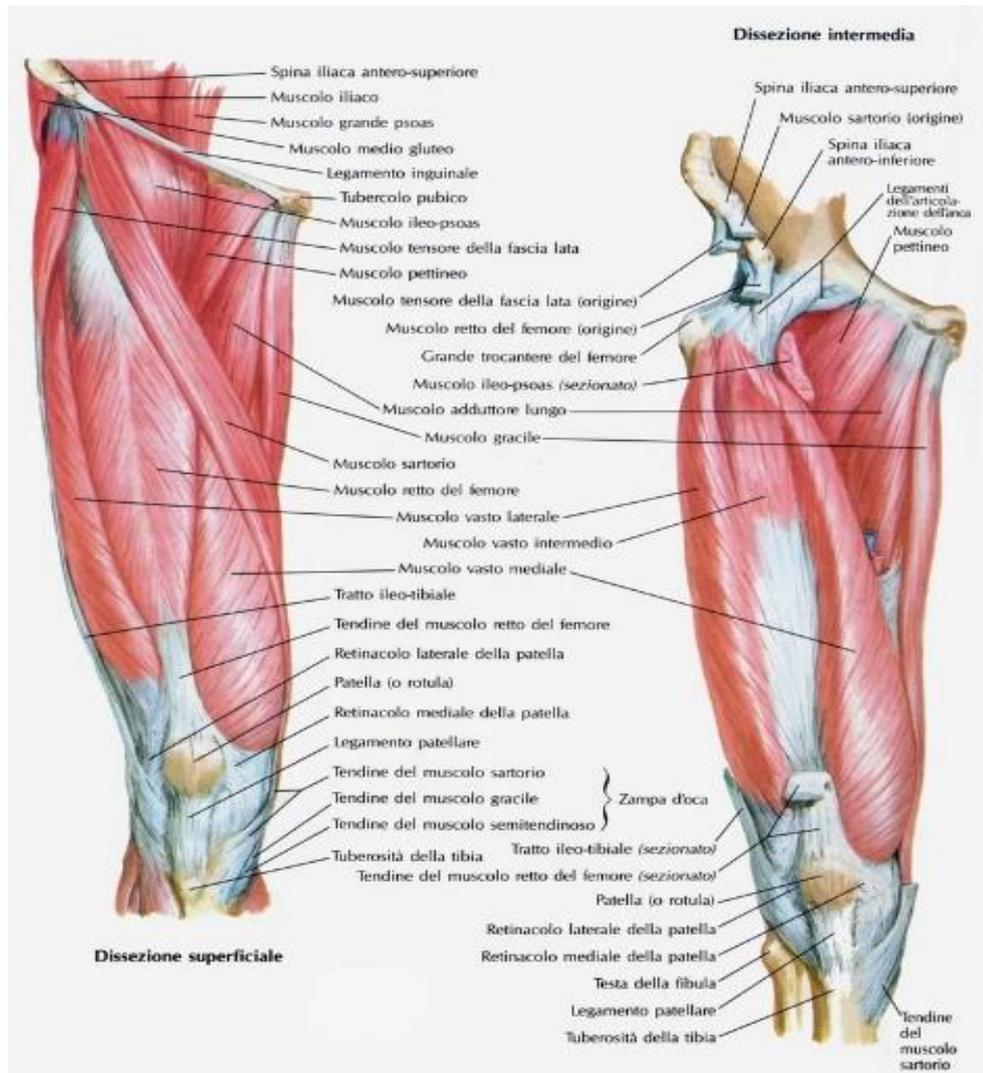
- **Porzione mediale:** la capsula assume veri spessori, costituendo un sottile strato rinforzato dalle fibre del retinacolo mediale nel terzo anteriore, per poi rinforzarsi ulteriormente grazie alle fibre superficiali e profonde del legamento collaterale mediale ed infine diventare particolarmente spesso nel terzo posteriore, grazie ai tendini della zampa d'oca (muscoli gracile, sartorio e semitendinoso) e alle espansioni tendinee del muscolo semimembranoso e della porzione posteriore della capsula;
- **Porzione posteriore:** viene rafforzata dal legamento popliteo obliquo e dal legamento popliteo arcuato, che vengono messi in tensione quando il ginocchio è in estensione. Posteriormente la capsula è ulteriormente rinforzata dalle estensioni fibrose del tendine del muscolo semimembranoso e dai muscoli popliteo, gastrocnemio e bicipite femorale. [4, 5, 6]



4

⁴ <https://www.ortopediaweb.net/web/wp-content/uploads/2014/10/Diapositiva05.jpg>

1.3 Muscoli



I muscoli che muovono il ginocchio possono essere distinti in logge, anteriore e posteriore. I muscoli del compartimento anteriore si occupano principalmente della flessione dell'anca e dell'estensione del ginocchio essendo bi-articolari. Questa loggia è rappresentata dai muscoli tensore della fascia lata, sartorio e quadricipite femorale, tutti innervati dal nervo femorale ad eccezione del tensore della fascia lata. Per quanto riguarda il compartimento posteriore della coscia, sono contenuti tre muscoli che insieme costituiscono il gruppo dei muscoli ischiocrurali: il muscolo bicipite femorale, il

⁵ <https://www.medicinapertutti.it/argomento/muscolo-quadricipite-femorale/>

semimembranoso e il semitendinoso. Al contrario della loggia anteriore, quella posteriore si occupa dell'estensione dell'anca e della flessione del ginocchio.

Il più importante muscolo del ginocchio è il quadricipite femorale: un grande e potente muscolo estensore del ginocchio, che abbraccia quasi interamente la diafisi femorale ed è in grado di esercitare forze molto maggiori rispetto a quelle necessarie per svolgere la maggior parte delle azioni quotidiane. Il muscolo è costituito da quattro capi che collaborano tra loro: il muscolo retto femorale e i tre vasti laterale, mediale e, situato più in profondità, il vasto intermedio. *“Il gruppo dei muscoli vasti si occupa solo dell'estensione del ginocchio, ma produce l'80% del momento totale, mentre il retto femorale partecipa al 20% nell'estensione del ginocchio ma si occupa anche della flessione dell'anca”* [7]. Questi vanno a formare il muscolo più voluminoso e importante del compartimento anteriore della coscia; in seguito a situazioni patologiche, che richiedono l'immobilizzazione dell'arto, il muscolo tende immediatamente ad atrofizzarsi e quindi perdere forza e volume.

I quattro capi del quadricipite, distalmente si uniscono a formare il tendine quadricipitale, che si inserisce poi alla base e ai lati della rotula. Il tendine del quadricipite viene poi “collegato” alla tibia dal tendine rotuleo, che collega appunto l'apice della rotula alla tuberosità tibiale. Prossimalmente invece i muscoli che compongono il quadricipite, hanno origini diverse. Il muscolo retto del femore, si origina vicino alla spina iliaca antero-inferiore e sopra all'acetabolo dell'anca, per poi procedere rettilineo lungo la coscia. Diversamente, i muscoli vasti laterale e mediale, hanno la loro origine nei labbri rispettivamente laterale e mediale della linea aspra del femore; il vasto intermedio occupa invece, la superficie anteriore del femore.

I muscoli estensori producono un momento circa tre volte maggiore a quello dei muscoli flessori e attraverso le loro attivazioni isometriche, eccentriche e concentriche, questo momento viene utilizzato per eseguire diverse funzioni:

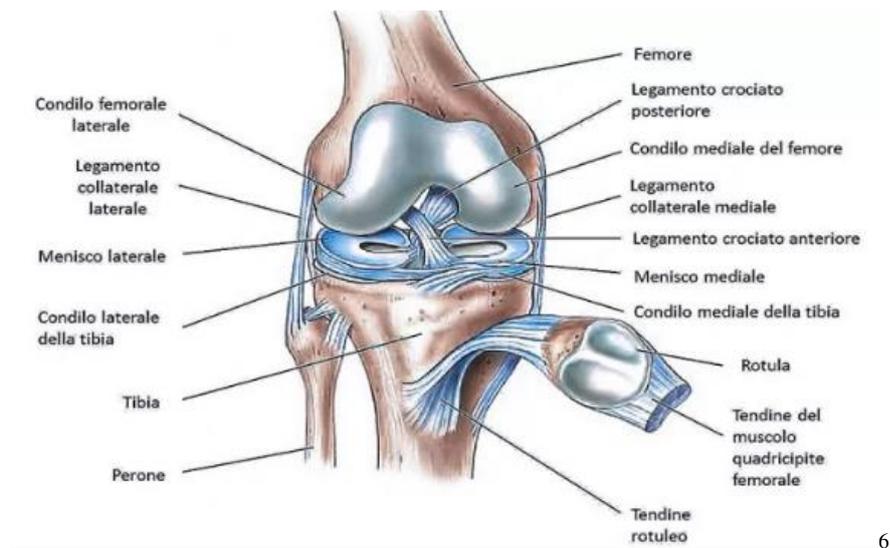
- **Attivazione isometrica:** il quadricipite aiuta a stabilizzare e proteggere il ginocchio
- **Attivazione eccentrica:** il muscolo controlla la velocità di discesa del baricentro corporeo (come quando ci si siede o ci si accovaccia dopo un

salto), controlla l'ampiezza della flessione del ginocchio e favorisce l'ammortizzazione a livello dell'articolazione.

- **Attivazione concentrica:** contrariamente da quella eccentrica, la concentrica muove la tibia o femore verso l'estensione del ginocchio, spesso per sollevare il baricentro corporeo. [7, 8]

1.4 Apparato Legamentoso

I legamenti del ginocchio sono strutture fibrose che uniscono l'estremità inferiore del femore a quella superiore della tibia, svolgendo un'importante funzione stabilizzante ed impedendo che le componenti ossee perdano il loro corretto allineamento. I legamenti del ginocchio sono costituiti per il 70-80% da fibre di Collagene di tipo 1, particolarmente resistenti alla trazione, e in percentuale minore da fibre elastiche, molto estensibili (fino al 150% della lunghezza) ma poco resistenti; questo spiega perché i legamenti reagiscono bene allo stretching ma non ai carichi elevati. Grazie alla presenza di recettori nervosi, i legamenti svolgono anche un importante ruolo propriocettivo che permette di regolare indirettamente il tono muscolare, la postura, l'equilibrio e la coordinazione tra i diversi gruppi muscolari. I legamenti che stabilizzano il ginocchio sono sia contenuti all'interno della capsula articolare, quindi intra-capsulari (o intra-articolari), sia esterni all'articolazione (extra-articolari) ma che comunque svolgono un importante ruolo di stabilizzazione. [9]



6

1.4.1 Legamenti extra-articolari:

I legamenti extra-articolari sono 5 e sono:

1. **Legamento patellare (o rotuleo):** è un nastro spesso e robusto che deriva dalla continuazione del tendine del muscolo quadricipite femorale e che quando passa sotto alla rotula prende il nome di legamento patellare, per poi inserirsi distalmente sulla tuberosità della tibia. Lateralmente e medialmente si uniscono al legamento dei fascicoli con diverso orientamento, che derivano da espansioni aponeurotiche dei muscoli vasto laterale e mediale, chiamati retinacoli della patella; questi contribuiscono alla stabilità del ginocchio su ciascun lato della patella e la mantengono in situ.
Al di sotto del legamento patellare, in corrispondenza della rima articolare, è presente il corpo adiposo infra-patellare (di Hoffa). Questo ha un ruolo molto importante nella protezione della patella dagli urti, nel favorire lo scorrimento del legamento e nel regolare la pressione nello spazio articolare interno al ginocchio. Grazie alla presenza di diversi propriocettori, il corpo di Hoffa è integrato nelle funzioni di regolazione dell'articolazione.
2. **Legamento collaterale fibulare o laterale:** robusto cordone cilindrico e più breve rispetto al legamento collaterale mediale. Decorre quasi verticalmente dall'epicondilo laterale del femore, alla testa della fibula, unendosi distalmente al

⁶ <https://www.physiolifenetwork.it/riabilitazione-ginocchio/struttura-ossea-ginocchio/>

tendine del muscolo bicipite femorale. Esso è separato dal menisco laterale per la presenza del tendine del muscolo popliteo.

3. **Legamento collaterale tibiale o mediale (LCM):** è una struttura ampia e piatta che unisce l'epicondilo mediale del femore all'estremità superiore della faccia mediale della tibia. Si può distinguere in una parte superficiale, più grande e ben definita, costituita da fibre mobili parallele e lunghe circa 10cm e una parte più profonda formata da fibre oblique e brevi, che si trovano subito sotto le fibre superficiali. Le fibre superficiali, prima di inserirsi sulla superficie medio-proximale della tibia, vanno a fondarsi con le fibre ritinacolari patellari mediali; le fibre profonde si inseriscono invece, alla porzione postero-mediale della capsula, al tendine del muscolo semimembranoso e creano una stratta connessione tra LCM e menisco mediale. Il legamento collaterale tibiale risulta più debole e più facilmente lesionabile dell'altro, nonostante una resistenza all'allungamento (stiffness pre-rottura) quasi equivalente. Nonostante sia un valido stabilizzatore, quando si trova in estensione completa, risulta infatti particolarmente vulnerabile ad un carico in valgo.

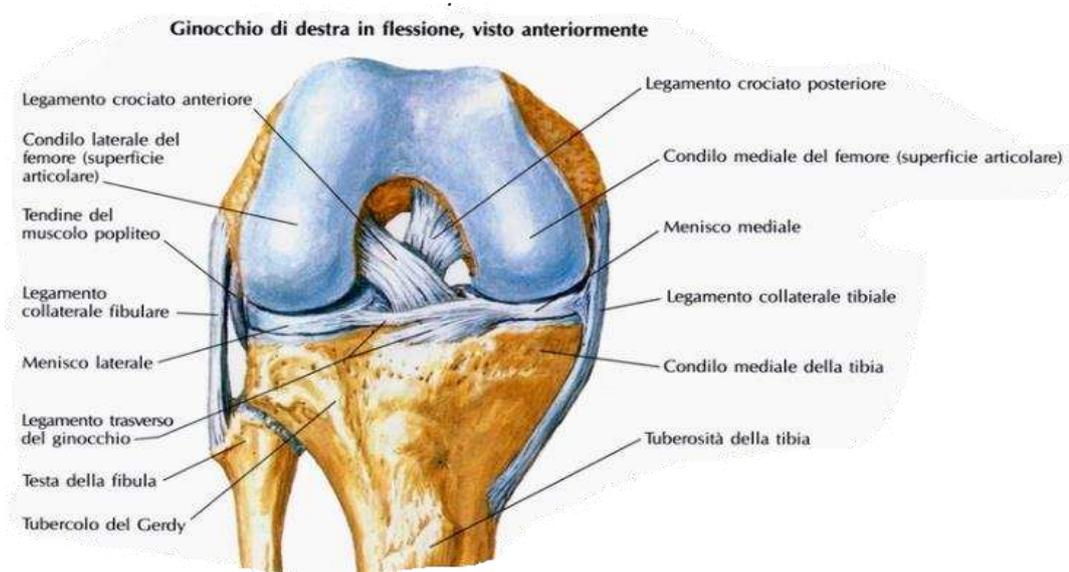
Come il legamento collaterale laterale, anche il mediale, viene messo in tensione quando il ginocchio è in estensione, limitandone il movimento eccessivo sul piano frontale e contribuendo alla stabilizzazione della stazione eretta. *“Con il ginocchio quasi o completamente esteso, il LCM fornisce una resistenza importante che si oppone a una forza in valgo (abduzione); d'altra parte il legamento collaterale fibulare fornisce una resistenza che si oppone a una forza in varo (adduzione)”* [10].

4. **Legamento popliteo obliquo:** *“espansione tendinea del muscolo semimembranoso, che si disperde nel connettivo della parte posteriore della capsula articolare”* [11]. Dalla porzione postero-mediale della tibia, decorre lateralmente e superiormente dove le fibre si fondono con la capsula adiacente al condilo femorale laterale. Il legamento popliteo obliquo contribuisce alla stabilità posteriore del ginocchio durante l'estensione completa del ginocchio.
5. **Legamento popliteo arcuato:** si inserisce sulla testa della fibula, passando a ponte sopra il muscolo popliteo per poi disperdersi nella parte posteriore della capsula articolare, contribuendo al suo rinforzo (popliteo: è la parte posteriore del

ginocchio che comprende anche la fossa poplitea). Il legamento si divide in due rami: gli archi dei rami più grandi si inseriscono sulla zona posteriore intercondiloidea della tibia, mentre il ramo minore si inserisce nella porzione posteriore del condilo laterale del femore. [10, 11]

1.4.2 Legamenti intrarticolari:

“All’interno della capsula articolare sono presenti strutture meniscolegamentose, fondamentali dal punto di vista anatomofunzionale, quali: legamenti crociati anteriore e posteriore e menischi laterale e mediale; e una porzione del muscolo popliteo” [11].



7

1. Menischi:

I menischi sono 2 strutture fibrocartilaginee a forma di C (*meniscos: mezzaluna*) che visti in sezione hanno una forma triangolare caratterizzata da uno spesso margine periferico, che permette ad entrambi i menischi di aderire alla capsula articolare tramite i legamenti coronari (laterale e mediale). Il margine interno è invece più sottile rendendo concava la superficie superiore; mentre quella inferiore risulta quasi piatta e aderisce al piatto tibiale. Il menisco laterale è collegato al legamento crociato posteriore e al condilo mediale del femore, tramite

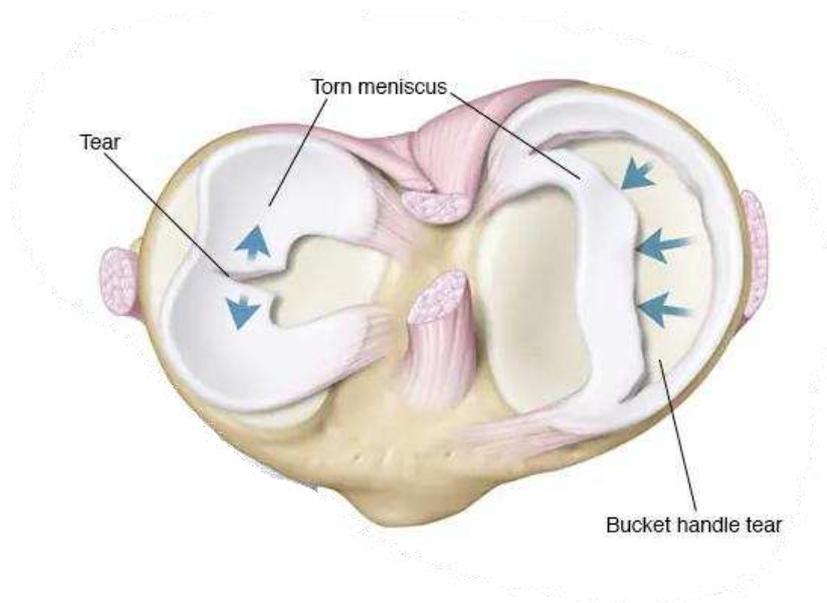
⁷<https://scienzealutebenessere.blogspot.com/2016/06/legamento-crociato-anterioreanatomia-e.html>

il legamento menisco-femorale. Questo agisce da supporto al legamento crociato e come contenimento per i movimenti del menisco laterale.

I menischi svolgono un ruolo fondamentale nell'aumentare la congruenza tra i condili femorali e il piatto tibiale, stabilizzare l'articolazione durante il movimento, lubrificare la cartilagine e contribuire alla propriocezione e alla gestione dell'artrocinematica del ginocchio. Grazie al legamento trasverso del ginocchio, che collega le estremità anteriori delle due strutture, i menischi si muovono in modo sincrono in relazione ai movimenti del ginocchio:

- In movimenti di estensione i menischi spostano anteriormente sotto la spinta dei condili femorali, mentre in flessione scivolano posteriormente;
- Nella rotazione interna del ginocchio, il menisco laterale scivola posteriormente sul piatto tibiale, mentre quello mediale viene trascinato in avanti; nella rotazione esterna il contrario.

In situazioni in cui i menischi sostengono il peso del corpo, un improvviso movimento di torsione può provocare la lesione dei legamenti. [11, 12]



⁸<https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/knee-pain/symptoms-causes/syc-20350849#dialogId46085542>

2. Legamenti Crociati:

I legamenti crociati, anteriore e posteriore, sono strutture spesse e forti, che hanno l'importante ruolo di fornire stabilità al ginocchio; rappresentano infatti i più importanti mezzi di unione tra il femore e la tibia. Vengono chiamati "crociati" per via della loro disposizione ad "X" all'interno della gola intercondiloidea del femore, dovuta in quanto i punti di inserzione tibiale si trovano all'incirca su un piano sagittale, mentre quelli femorali sono vicini al piano frontale. Questo loro orientamento obliquo e incrociato, favorisce la stabilizzazione del ginocchio in movimenti potenzialmente stressanti, resistendo agli estremi di quasi tutti i movimenti del ginocchio.

- Il **Legamento crociato posteriore (LCP)**, origina dall'area inter-condilare posteriore della tibia e si dirige in alto, in avanti e medialmente per poi inserirsi sulla superficie laterale del condilo mediale del femore. Contrariamente al LCA, viene messo in tensione nella flessione del ginocchio, impedendo lo scivolamento anteriore del femore sulla tibia o lo scivolamento posteriore della tibia. *"Le lesioni isolate del LCP legate allo sport sono relativamente rare, generalmente dal 2% al 10% di tutti gli infortuni al ginocchio"* [13]. Il LCP è più robusto del LCA e infatti la lesione è in genere associata a traumi ad alto impatto, come incidenti automobilistici.

La lesione del legamento crociato anteriore è invece molto comune, infatti ci concentreremo in seguito sulle caratteristiche del legamento e sui suoi meccanismi di lesione. [11, 13]

1.5. Innervazione sensitiva del ginocchio

"L'innervazione sensitiva del ginocchio e dei legamenti ad esso associati è fornita principalmente dalle radici dei nervi spinali da L3 a L5, che viaggiano verso il midollo spinale principalmente nei nervi tibiale posteriore, otturatorio e femorale" [8].

- **Nervo tibiale posteriore:** è un ramo della porzione tibiale del nervo sciatico che rappresenta la più importante porzione afferente del ginocchio, comprendendo la

porzione posteriore della capsula, i relativi legamenti, gran parte delle strutture intra-articolari e il corpo adiposo infra-patellare (di Hoffa);

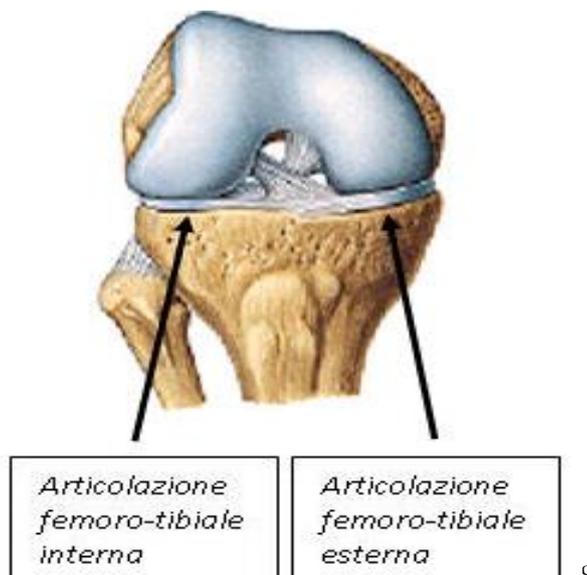
- **Nervo otturatorio:** “trasportano la sensibilità dalla cute sopra il lato mediale del ginocchio e le parti posteriore e postero-mediale della capsula”;
- **Nervo femorale:** innerva buona parte delle porzioni antero-mediale e antero-laterale della capsula. [8]

1.6. Chinesiologia del ginocchio

L'articolazione del ginocchio è una delle articolazioni più complesse del corpo. Dal punto di vista funzionale è considerato un ginglino angolare che permette movimenti di flessione-estensione e di rotazione a ginocchio leggermente flesso; contribuendo sia alla statica, stabilizzando la stazione eretta, sia alla dinamica, permettendo la deambulazione [5]. L'articolazione del ginocchio è costituita da due articolazioni che condividono la capsula articolare:

1.6.1 Articolazione femoro-tibiale:

L'articolazione femoro-tibiale viene considerata una doppia condiloartrosi che si costituisce tra i due condili mediale e laterale, in corrispondenza dell'epifisi distale del femore, e le facce articolari superiori dei rispettivi condili tibiali (piatto tibiale).



⁹ https://www.tuttopodismo.it/le_lesioni_cartilaginee_femoro.htm

Questa articolazione possiede due gradi di libertà:

- **Flessione ed estensione:** nei movimenti di flesso-estensione, generalmente un ginocchio sano raggiunge un Range of Motion (ROM) di circa 130-150 gradi di flessione e circa 5-10 gradi di estensione oltre la posizione neutra (0 gradi); l'ampiezza di movimento può però variare in relazione al genere e all'età dell'individuo. Sia i movimenti tibio-femorali che quelli femoro-tibiali avvengono in relazione ad un asse di rotazione medio-laterale, che non è fisso ma migra all'interno dei condili femorali, influenzato dalla loro curvatura eccentrica (out-of-round), definendo quindi un percorso curvo noto come "evoluto". *"L'asse di rotazione migrante altera la lunghezza del braccio del momento interno dei muscoli flessori ed estensori del ginocchio, spiegando, in parte, perché il movimento di massimo sforzo varia in base all'intervallo di movimento"* [14]. La superficie articolare della tibia rotola e scivola anteriormente rispetto ai condili femorali durante l'estensione tibio-femorale; mentre i condili femorali contemporaneamente rotolano anteriormente e scivolano posteriormente rispetto alla superficie articolare della tibia, durante l'estensione femoro-tibiale.
- **Rotazione esterna e interna:** la rotazione avviene in un piano situato perpendicolarmente a un asse longitudinale parallelo alla diafisi della tibia, denominando la rotazione in base alla posizione della tuberosità tibiale rispetto alla porzione distale anteriore del femore. La rotazione esterna tibio-femorale del ginocchio si verifica quando la tibia ruota esternamente rispetto al femore fisso; mentre la rotazione esterna femoro-tibiale avviene quando il femore ruota internamente rispetto alla tibia. La libertà di rotazione assiale aumenta con l'aumentare progressivo della flessione del ginocchio, riducendo la congruenza ossea nell'articolazione, la tensione passiva nei legamenti e nei tessuti capsulari. Un ginocchio flesso a 90°, può compiere da 40 a 45 gradi di rotazione assiale totale.

I movimenti di flesso-estensione e di rotazione sono strettamente collegati, in quanto c'è bisogno di una rotazione esterna di circa 10 gradi per bloccare il ginocchio in estensione e di una leggera rotazione interna, guidata principalmente dal muscolo popliteo, per sbloccare il ginocchio consentire la flessione. Questa rotazione congiunta è definita

rotazione screw-home ed i suoi meccanismi sono guidati da almeno 3 fattori: la forma del condilo femorale mediale, la tensione passiva nel legamento crociato anteriore e la leggera trazione laterale del muscolo quadricipite. [14]

1.6.2. Articolazioni femoro-patellare:

L'articolazione femoro-patellare (o femoro-rotulea), viene considerata un ginglino angolare che si costituisce tra la faccia patellare del femore (solco trocleare), femorali e la faccia articolare della patella. Dal punto di vista funzionale, la patella (o rotula) è un osso sesamoide che ha molteplici ruoli:

- Si fa carico di parte del lavoro del legamento crociato posteriore e delle strutture capsulari dorsali dell'articolazione, riducendo l'avanzamento dei condili del femore nella flessione del ginocchio
- *“La spessa cartilagine ialina della faccia posteriore della patella riduce notevolmente lo sfregamento nei movimenti di flessione ed estensione durante la corsa, grazie anche alla funzione lubrificante del liquido sinoviale”* [15];
- Aiuta il tendine del muscolo quadricipite a sopportare la compressione che viene esercitata quando si sta in ginocchio
- Pone l'articolazione in una posizione di vantaggio meccanico, aumentando il braccio di leva del quadricipite e permettendo lo spostamento anteriore del tendine rispetto all'asse

A causa della solida inserzione del tendine rotuleo nella tuberosità tibiale, la rotula viene spostata nella direzione della tibia in movimento; infatti durante i movimenti della tibia rispetto al femore, la rotula scivola rispetto al solco trocleare fisso del femore. Durante i movimenti del femore rispetto alla tibia invece, il solco trocleare scivola rispetto alla patella fissa. [15]



*Articolazione
femoro-
rotulea in
estensione*



*Articolazione
femoro-
rotulea in
flessione*

10

¹⁰ https://www.tuttopodismo.it/le_lesioni_cartilaginee_femoro.htm

CAPITOLO 2 - LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE

Il **Legamento crociato anteriore (LCA)** è fascio di tessuto fibroso lungo circa 30 mm e con diametro medio di circa 11 mm, ma che nonostante le piccole dimensioni risulta comunque molto resistente. È composto principalmente da fibre di collagene di tipo I, che attorcigliandosi l'una sull'altra formano gruppi di fasci spiralizzati che vengono distinti in fasci antero-mediale (più voluminoso) e postero-mediale, in base alla porzione di tibia in cui si inseriscono. Il legamento crociato anteriore si origina dalla superficie mediale del condilo laterale del femore, per poi portarsi medialmente e anteriormente, formando una "X" con il legamento crociato posteriore che decorre in senso opposto e inserendosi nell'area intercondilare anteriore della tibia. Il LCA ha un ruolo fondamentale nella stabilità sia statica che dinamica del ginocchio, impedendo lo scivolamento (lussazione) anteriore della tibia o lo scivolamento posteriore del femore sulla tibia.

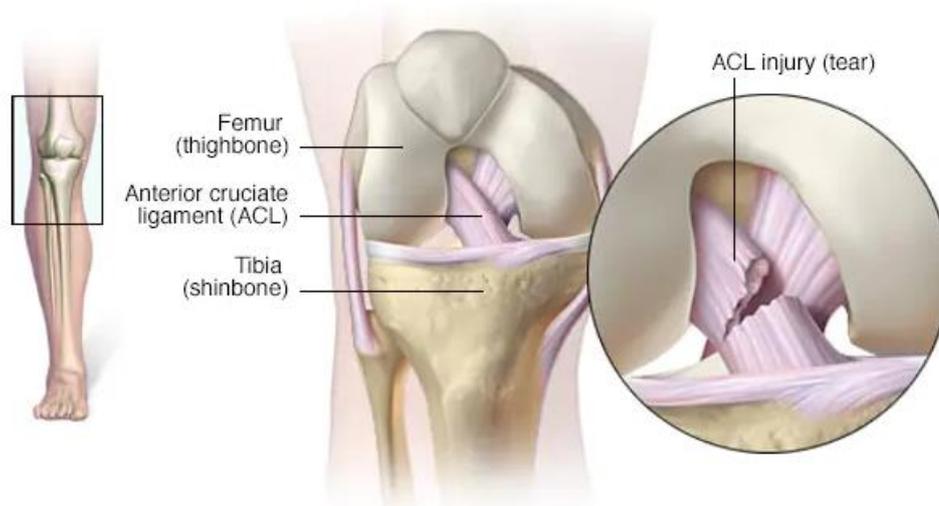


Il legamento crociato anteriore raggiunge gradualmente la sua massima tensione, man mano che il ginocchio raggiunge il range massimo di estensione. Oltre al LCA, anche la parte posteriore della capsula, i legamenti collaterali e tutti i muscoli flessori del

¹¹<https://www.ior.it/curarsi-al-rizzoli/malattie-trattamenti/lesione-del-legamento-crociato-anteriore>

ginocchio, collaborano ad aumentare la stabilità del ginocchio in estensione (ad esempio in stazione eretta). *“La tensione, la torsione e l’orientamento spaziale generale dei fasci di fibre all’interno del LCA cambiano quando il ginocchio si flette e si estende. I qualsiasi punto lungo il range di movimento sul piano sagittale, alcune fibre del LCA sono relativamente tese”* [16].

Il LCA è caratterizzato da un apporto di sangue relativamente scarso, proveniente principalmente dall’arteria genicolata mediale e raggiunge poi i legamenti tramite dei piccoli vasi contenuti dalla membrana sinoviale che riveste le strutture. L’irrorazione sanguigna dipende dalla porzione di legamento considerata: la porzione centrale è meno vascolarizzata rispetto a quelle distale e prossimale. L’afflusso di sangue che caratterizza il legamento non è sufficiente per garantire la sua rigenerazione in caso si subisca una lesione parziale o totale dei suoi fasci connettivali. [16, 17]



© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.

12

2.1 Meccanismi comuni di danno:

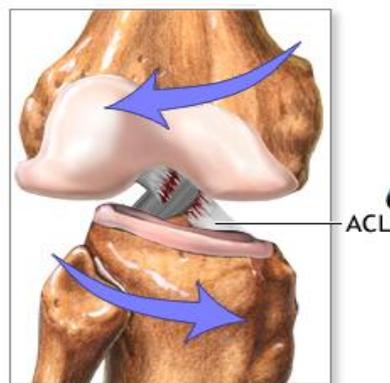
“Il LCA è il legamento del ginocchio che si lesiona più frequentemente. Circa la metà di tutte le lesioni si verifica in persone attive tra i 15 e i 25 anni, principalmente in attività sportive ad alta velocità come il football americano, lo sci, il basket, e il calcio” [18]. Le lesioni del LCA possono essere dovute sia a situazioni caratterizzate da un contatto, come

¹²<https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/acl-injury/symptoms-causes/syc-20350738#dialogId7566048>

incidenti o colluttazioni, sia in assenza di contatto, come una decelerazione, un atterraggio da un salto o un cambio di direzione.

Ad Esempio negli sport, il 70 % degli infortuni al legamento sono provocati da un contatto minimo o in assenza di contatto, con meccanismi rapidi e imprevedibili. La ricerca spiega infatti che ci sono molteplici fattori associati ad un infortunio al LCA senza contatto:

1. Una forza applicata all'articolazione che porta ad un collasso del ginocchio in valgo;
2. Una esagerata attivazione del muscolo quadricipite, quando il ginocchio si trova in una posizione di leggera flessione o di estensione quasi completa;
3. Una esagerata rotazione interna del femore sulla tibia fissa (rotazione esterna del ginocchio) o una rotazione interna eccessiva del ginocchio, ma associata alla relativa estensione e ad una posizione di valgo estremo.



ACL injuries occur when bones of the leg twist in opposite directions under full body weight ¹³

Il Legamento crociato anteriore ha tutti i presupposti per resistere agli estremi di essenzialmente tutti i movimenti del ginocchio e per fornire ad esso, un ampio intervallo di stabilità. Il LCA è infatti caratterizzato da una disposizione anatomica ideale, per via della presenza di fasci multipli di fibre che compongono il legamento e per il suo orientamento spaziale obliquo; ma ciò rende tese molte fibre nella maggior parte del range di movimento e quindi il legamento risulterà vulnerabile alle lesioni dovute a molte combinazioni di movimenti estremi. Come ogni legamento anche il LCA, è particolarmente soggetto a lesione quando viene applicata una distensione ad alta

¹³ <https://medlineplus.gov/ency/article/001074.htm>

velocità, che provoca uno sforzo tensile maggiore alla forza o lunghezza fisiologica del legamento. Generalmente il tendine riesce a raggiungere lunghezze di stiramento di circa il 11-19% della sua lunghezza totale, per poi arrivare ad un grado massimo di deformazione rispetto allo stato rilassato e quindi lesionarsi. Oltre allo stress che viene applicato al legamento, contribuiscono alla lesione anche dei complessi fattori biomeccanici. Questi fattori sono correlati tra di loro e includono: *“la direzione e l’entità della forza di reazione al suolo; la quantità e la direzione di compressione e forze di taglio in corrispondenza dell’articolazione femoro-tibiale; la quantità, il controllo e il sequenziamento preciso delle forze muscolari; l’integrità e la forza dei tessuti circostanti; l’allineamento e la posizione delle articolazioni nell’arto inferiore e nel tronco”* [18].

La **diagnosi di lesione** del legamento crociato anteriore è definita dalla combinazione di anamnesi, esame fisico e esami di imaging. [19]

1. Come prima cosa infatti, il professionista sanitario deve informarsi sulla storia medica del paziente, sulle eventuali problematiche che già condizionavano il ginocchio prima dell’evento, sui sintomi e sul meccanismo di lesione. Risulta molto importante al fine di avere una chiara panoramica sul trauma e quindi stabilire il modo migliore in cui agire, analizzare la dinamica della lesione e i molteplici fattori associati ad essa. L’imprevedibilità e la rapidità del fenomeno, rende necessario l’utilizzo di simulazioni e video, che permettono di definire con certezza la posizione e la direzione delle forze applicate nel momento dell’infortunio.

ESAME FISICO

Ispezione: cicatrici, gonfiore, atrofia muscolare, allineamento degli arti inferiori, andatura

Palpazione: temperatura, versamento al ginocchio, punti trigger, presa, blocco, crepitio

Funzione: ampiezza di movimento, forza del ginocchio

Test speciali: stabilità anteroposteriore (test di Lachman, cassetto anteriore), stabilità rotazionale (test del segno dello spostamento del perno) e stabilità mediolaterale (test valgo-varo), test meniscali

14

2. Seguirà poi l'esame fisico, in cui il medico procederà ad un esame dell'articolazione, al fine di controllare la dolorosità, il range di movimento (ROM) e il gonfiore del ginocchio, e ad esami fisici che includono manovre specifiche come il test di Lachman, il test di spostamento del perno, il test del cassetto anteriore (per valutare la stabilità del ginocchio e suscitare segni di danno al legamento).
3. I principali esami di imaging svolti per valutare e confermare l'entità del danno sono: i raggi X e la risonanza magnetica. Il primo non mostra i tessuti molli, è infatti utile per escludere una frattura ossea; la risonanza invece *“utilizza le onde radio e un forte campo magnetico per creare immagini dei tessuti duri e molli del corpo”* [19], mostrando gli eventuali danni ad altri tessuti del ginocchio e l'effettiva entità della lesione legamentosa.

Una buona analisi e conoscenza dei meccanismi di danno del legamento crociato anteriore, aiuta a chiarire i rischi e formulare quindi delle strategie di prevenzione. Ad esempio alcuni studi sperimentali condotti su campioni di ginocchia di cadavere, hanno dimostrato che il grado di sopportazione del LCA è ridotto e risulta quindi più suscettibile di cedimento, quando il ginocchio viene caricato rapidamente e ripetutamente da cicli di carico pari o superiori a 3 BW; *“pertanto, limitare l'aumento del numero e della gravità*

¹⁴ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4628627/>

delle manovre di carico, eseguite in una settimana di allenamento avrebbe senso dal punto di vista della prevenzione degli infortuni” [20]. Oltre ad una prevenzione più “passiva”, basata sul porre attenzione sulla sicurezza e sui meccanismi di svolgimento delle attività sportive e non, risulta molto importante anche mantenere un buon trofismo della muscolatura degli arti inferiori [19]. Altri studi infatti, suggeriscono strategie definite da “linee guida di pratica clinica (CPG) basate sull'evidenza per la gestione della fisioterapia ortopedica e sportiva e la prevenzione delle menomazioni muscoloscheletriche” [21]; che descrivono una prevenzione attiva basata sull’esercizio fisico e sul mantenimento di uno stile di vita attivo e partecipativo. Le linee guida includono “l’attività fisica; rafforzamento; stiramento; esercizi neuromuscolari, propriocettivi, di agilità o pliometrici; e altre modalità di formazione, ma esclude interventi passivi come il tutore o programmi che coinvolgono solo l’istruzione” [21].

2.2 Sintomi

La lesione del LCA è un evento grave provocato da una distorsione o da uno stiramento eccessivo e che inizialmente, al momento della lesione, si manifesta con una sensazione di qualcosa che si rompe all’interno dell’articolazione, seguito da una sensazione di cedimento del ginocchio. La lesione sarà poi seguita da sintomi quali: gonfiore, dolore, sanguinamento nello spazio articolare (emartro), instabilità e compromissione della funzionalità del ginocchio. *“Solitamente dolore e gonfiore si risolvono nel giro di 2 settimane circa dopo il riposo e l’utilizzo di ghiaccio e FANS mentre permane l’instabilità che non permette al paziente di ritornare alla pratica sportiva” [22].* La gravità della lesione viene stabilita in base alla completezza della lesione e all’intensità del trauma, per poi distinguere 3 gradi di lesione:

- **1° grado:** danno lieve in cui non c’è la lesione del legamento ma viene solo allungato, perciò l’articolazione rimane ancora stabile;
- **2° grado:** corrisponde alla rottura parziale del legamento, dove le fibre lesionate sono meno del 50% del legamento totale. Il legamento si allenta e quindi l’articolazione risulta meno stabile rispetto alla lesione di primo grado
- **3° grado:** corrisponde alla lesione completa del legamento, determinando quindi l’instabilità dell’articolazione [18]

Un'articolazione instabile può portare all'alterazione della funzionalità del ginocchio e determinare quindi la riduzione e la limitazione di attività sportive e quotidiane, con la conseguente riduzione della partecipazione e aumento della probabilità di problematiche psicosociali. [18, 22]

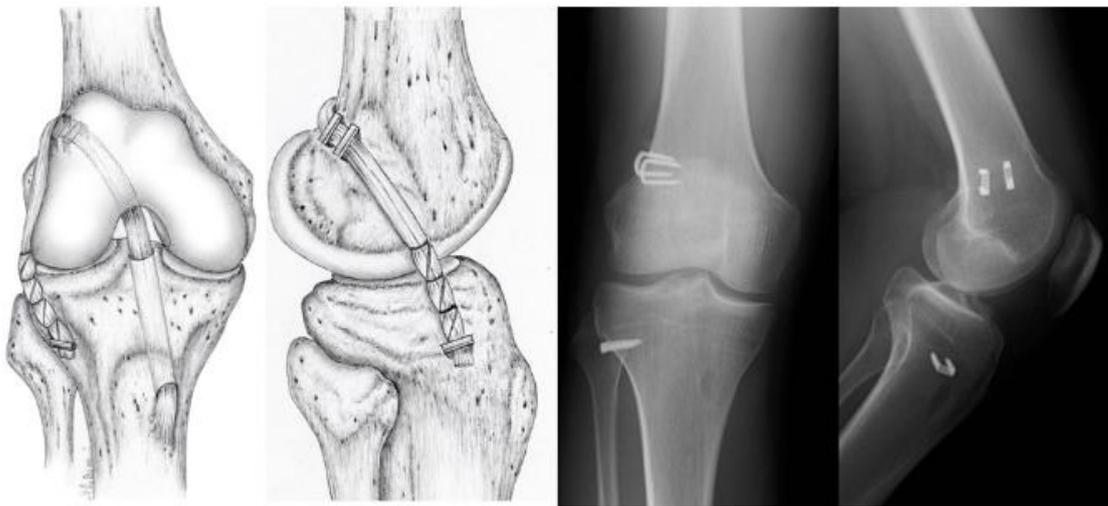
La maggior parte degli infortuni al LCA, non sono caratterizzati da lesioni isolate; possono infatti causare traumi secondari ad altri tessuti e strutture, come ossa, cartilagine articolare, menischi o il legamento collaterale mediale. La lesione associata di queste strutture è favorita dalla sublussazione transitoria del ginocchio, che molto spesso segue la lesione del legamento crociato. *“Lesioni al legamento crociato anteriore possono inoltre portare ad instabilità cronica e a relativa alterazione della cinematica, che possono causare ulteriore stress, dannoso per tessuti come i menischi e la cartilagine articolare”* [23]. Questi cambiamenti a lungo termine, insieme a processi patogeni intra-articolari relativi alle citochine pro- e anti-infiammatorie al momento della lesione, possono predisporre il ginocchio ad artrosi a esordio precoce. Degli studi evidenziano che in media il 50% dei pazienti che hanno avuto una lesione del legamento crociato anteriore o del menisco, dopo 10-20 anni dalla diagnosi, andrà incontro ad artrosi con dolore associato e compromissione funzionale [23, 24].

Come già detto precedentemente, dopo la lesione legamentosa possono persistere disturbi clinici a lungo termine che influiscono sull'aspetto funzionale, sulla stabilità dell'articolazione e quindi anche sulla vita quotidiana e sul ritorno allo sport. Recenti studi hanno definito che questi deficit possono essere dovuti a modificazioni nel cervello e nel sistema nervoso centrale, che provocano appunto delle misure neurofisiologiche che alterano l'eccitabilità del sistema motorio, la plasticità delle reti neurali e la funzionalità del sistema somato-sensoriale. Nei capitoli successivi andremo in fatti a vedere, come oltre alla riabilitazione tradizionale, sia molto importante integrare anche dei principi di apprendimento motorio, che vadano a supportare il riapprendimento delle capacità neuromotorie e neuroplastiche; questi principi contribuiscono a prevenire il rischio di una seconda lesione del legamento e a ristabilire le prestazioni funzionali pre-infortunio. [25, 19]

CAPITOLO 3 - LA CHIRURGIA

Generalmente l'**intervento chirurgico** viene consigliato dal medico, a persone giovani e attive, o atleti che vogliono tornare allo sport e al livello pre-infortunio; in situazioni in cui è stato lesionato più di un legamento o altre strutture articolari (cartilagine); quando *“l'infortunio sta causando la flessione del ginocchio durante le attività quotidiane”* [26]. Nel caso di pazienti anziani o non sportivi, è preferibile scegliere il protocollo conservativo, riducendo i tempi di riabilitazione e evitando tutte le complicanze che possono derivare da un intervento chirurgico.

L'intervento chirurgico consiste nell'innesto di un neolegamento proveniente dal paziente stesso, nel caso dell'autotrapianto, o proveniente da un cadavere donatore, nel caso dell'allotrapianto. Il nuovo legamento può provenire da svariate porzioni anatomiche, quali: il tendine dei muscoli quadricipite, semimembranoso o gracile, o il tendine rotuleo dell'arto omolaterale alla lesione. Le tecniche chirurgiche sono evolute notevolmente negli ultimi anni, grazie all'introduzione della chirurgia artroscopica, che riduce i tempi di recupero e minimizza l'invasività [24]; l'intervento di ricostruzione viene infatti considerata *“una procedura medica economicamente vantaggiosa”* [19].



¹⁵Tecnica di ricostruzione di LCA con gracile e semitendinoso autologhi + plastica esterna: schema anatomico e controllo radiografico dopo l'intervento chirurgico.

<https://www.ior.it/curarsi-al-rizzoli/malattie-trattamenti/lesione-del-legamento-crociato-anteriore>

La maggior parte degli atleti che subiscono una lesione del legamento crociato anteriore si sottoporranno a un intervento di ricostruzione del LCA con grandi aspettative di tornare ai livelli di funzionalità precedenti all'infortunio. La realtà è che l'81% degli atleti torna allo sport (RTS), ma solo il 55% agli sport competitivi [27]. Dopo l'intervento è quindi fondamentale seguire un programma riabilitativo personalizzato, per recuperare la forza e la stabilità del ginocchio, con l'obiettivo di ritornare alle normali attività fisiche nel giro di 6-12 mesi; il tempo necessario al ritorno del paziente allo sport, non è un gold standard e la scelta viene presa alla "fine ipotetica" del recupero. Alcuni studi riscontrano infatti, un rischio aumentato di una seconda lesione del LCA fino al 23% nei giovani atleti che tornano allo sport nel primo anno dall'intervento chirurgico [28]. Nonostante il notevole successo dell'intervento nel ripristinare la stabilità e la funzione di base del ginocchio, la cinematica naturale e, in alcuni casi, la forza muscolare pre-lesione non vengono completamente ristabilite. In seguito all'intervento chirurgico e nonostante i progressi, vi è ancora il rischio di complicazioni a lungo termine, tra cui rigidità articolare, artrosi, infezioni o fallimento dell'innesto. [19, 26, 27, 28]

CAPITOLO 4 - RIABILITAZIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE

I protocolli riabilitativi post lesione del legamento crociato anteriore sono strutturati per garantire un recupero funzionale ottimale del ginocchio, ridurre il rischio di nuove lesioni e facilitare il ritorno alle attività quotidiane e sportive.

PROCEDURA PRIMARIA
Lesione: data, meccanismo della lesione, sintomi
Intervento chirurgico: data, tecnica chirurgica, scelta dell'innesto, metodi di fissazione, lesioni associate, altre procedure chirurgiche
Postoperatorio: complicazioni, riabilitazione, ritorno all'attività sportiva
Recidiva: data, meccanismo della lesione, segni e sintomi (instabilità/dolore/rigidità/versamento al ginocchio)

16

Al momento della lesione, la prima cosa da fare è occuparsi del trattamento della fase acuta e del dolore tramite l'applicazione del protocollo R.I.C.E. di auto-cura a casa: riposo, ghiaccio, compressione, elevazione e utilizzo di antinfiammatori, immobilizzazione e consulto medico. La riabilitazione post lesione può seguire le modalità di trattamento conservativo o chirurgico, in relazione alla gravità dell'infortunio, all'età, alle esigenze del paziente e considerando la scarsa capacità rigenerativa del legamento dovuta alla scarsa vascolarizzazione, che quindi rende la chirurgia una valida alternativa. Entrambi gli approcci hanno caratteristiche ed obiettivi in comune, nonostante i diversi tempi di recupero e le diverse fasi del trattamento. Sia il trattamento chirurgico che quello conservativo si concentrano, nelle fasi iniziali, sulla gestione del dolore e dell'infiammazione, e sul recupero del range di movimento; per poi procedere con esercizi di rinforzo della muscolatura e per il potenziamento della propriocezione.

La **riabilitazione conservativa** inizia generalmente immediatamente dopo l'infortunio e permette un ritorno all'attività dopo circa un mese, ma si possono arrivare a risultati ottimali anche dopo 6 mesi o un anno. La riabilitazione conservativa necessita di un'indagine sulle abitudini del paziente e sul grado di sportività, inquanto richiede un

¹⁶ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4628627/>

adattamento dell'attività del paziente, evitando salti, torsioni e forti decelerazioni. Dopo le fasi volte a ridurre l'infiammazione e il dolore e ripristinare la gamma di movimento, si procede con il rinforzo della muscolatura intorno al ginocchio per aumentare la stabilità dell'articolazione e tornare gradualmente all'attività.

Al contrario la **riabilitazione post-chirurgica** segue appunto, l'intervento di ricostruzione del legamento, che tratteremo meglio successivamente. Il recupero di solito prevede una fase di rinforzo in ambulatorio o in palestra, che precede l'intervento e mira a rafforzare la muscolatura, in modo da ottimizzare i risultati post-chirurgici. Dopo la chirurgia segue una fase in regime di degenza (4-6 giorni), che mira a controllare il dolore e il gonfiore e a recuperare la gamma di movimento (esattamente come nell'approccio conservativo). Successivamente si procede con una fase post-operatoria ambulatoriale, che dura per i primi 2-3 mesi del progetto riabilitativo e si pone come obiettivi:

- il recupero completo del ROM precedente alla lesione, con un'estensione completa già dalla prima settimana mentre la flessione raggiunge i 120-130 gradi alla fine del secondo mese circa;
- il rinforzo della muscolatura che circonda il ginocchio per migliorare la stabilità e per favorire il graduale ritorno alla quotidianità e allo sport. Gli esercizi diventeranno man mano più complessi e specifici per le necessità del paziente e per l'attività da esso praticata; si passerà da esercizi a basso carico, propriocettivi e propedeutici alla deambulazione, ad esercizi con pesi e contro resistenza.

Per i successivi mesi si procederà con un rinforzo in palestra, fino a valutare la differenza di prestazione tra l'arto operato e quello sano, tramite il test isocinetico, il training isocinetico ed esercizi specifici per il gesto tecnico. Se la discrepanza è al di sotto del 10%, viene concesso il rientro all'attività sportiva tra il 6° e il 7° mese. La riabilitazione chirurgica può portare a risultati più prevedibili in termini di stabilità del ginocchio e non richiede un adattamento dell'attività, ma può richiedere fino a 9-12 mesi per garantire che l'innesto sia pienamente maturo e integrato e espone il soggetto ai rischi intrinseci della chirurgia e a possibili complicanze.

4.1 Il Ritorno allo Sport (RTS)

Il ritorno allo sport (RTS) dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore è un processo meticolosamente strutturato, che bilancia la necessità di una corretta guarigione con il desiderio dell'atleta di riprendere prestazioni di alto livello. Un approccio strategico e centrato sul paziente aumenta la probabilità di un ritorno allo sport con successo, riducendo al minimo il rischio di lesioni. Il percorso per riprendere le attività sportive è infatti impegnativo ed eterogeneo, che richiede la valutazione e l'integrazione di elementi medici, fisici e psicologici.

Il tempo trascorso dall'infortunio e dall'intervento chirurgico rappresenta un prerequisito fondamentale, in quanto permette una progressione biologica del neo-legamento, necessaria affinché possa sopportare i carichi richiesti dall'atleta. Si raccomandano generalmente 9 mesi prima di tornare agli sport agonistici, ma i tempi cambiano in base alla variabilità individuale del paziente, che richiede piani di recupero personalizzati, la maturità del legamento, influenzata da altri fattori quali il tipo e la fonte dell'innesto e la prontezza psicologica. *“Alcuni autori riferiscono di utilizzare principalmente criteri basati sul tempo, mentre altri sostengono misure fisiche e test cinematici per informare il processo decisionale”*, altri ancora *“hanno iniziato a studiare l'utilità di incorporare immagini che dimostrano la correlazione con la forza dell'innesto in tali algoritmi decisionali”* [29]; gli studi condotti finora suggeriscono un approccio algoritmico multimodale che coinvolge tutti gli strumenti menzionati.

Dal punto di vista riabilitativo il momento del ritorno allo sport è una decisione critica che viene influenzata da diversi fattori, tra cui la natura dello sport, il livello di competizione e i progressi del paziente durante la riabilitazione. Infatti man mano che il paziente progredisce vengono integrati esercizi volti a migliorare il controllo neuromuscolare, l'agilità e l'equilibrio, anche tramite attività di allenamento funzionale ai movimenti specifici dello sport. [29]

CAPITOLO 5 - PRINCIPI DI APPRENDIMENTO MOTORIO PER SUPPORTARE LA NEUROPLASTICITÀ DOPO UNA LESIONE DEL LEGAMENTO CROCIATO ANTERIORE

La **neuroplasticità**, o plasticità neurale, è la capacità del sistema nervoso centrale di adattarsi in risposta a fattori ambientali, esperienze o lesioni intrinseche. Questi cambiamenti coinvolgono diverse strategie cognitive e circuiti neurali. I compiti neuro-cognitivi, come la misurazione del tempo di reazione o della memoria, sono usati per valutare la prestazione cerebrale e possono essere influenzati da vari fattori, come attenzione, consapevolezza della situazione e livelli di eccitazione. Durante attività sportive infatti, l'aumento del grado di eccitazione o ansia può determinare un abbassamento della concentrazione, dell'attività muscolare e del campo attentivo dell'atleta e quindi portare ad un peggioramento della coordinazione e delle prestazioni. [30]

Lo sport richiede una buona *“consapevolezza situazionale di un ampio campo attentivo, per monitorare continuamente l'ambiente circostante, filtrare le informazioni irrilevanti ed eseguire simultaneamente programmi motori complessi”* [30]. Tuttavia, i calcoli neurali associati al movimento e al rischio di infortunio sono spesso trascurati nelle terapie di recupero, limitando il successo dei pazienti nel ritorno allo sport.

L'approccio neuro-cognitivo sfrutta la capacità del cervello di riorganizzarsi e adattarsi a nuove esperienze e stimoli, consentendo l'acquisizione di nuove competenze e di recuperare da lesioni cerebrali. Questo approccio si basa su una stretta correlazione tra la struttura e la funzione del cervello e il modo in cui queste componenti influenzano le capacità cognitive degli individui, come la memoria, l'attenzione, il linguaggio e l'apprendimento.

È stato dimostrato che la lesione del legamento crociato anteriore (LCA) provoca alterazioni nel cervello che potrebbero non essere sufficientemente trattate con gli attuali approcci riabilitativi.

L'utilizzo dei principi dell'apprendimento motorio potrebbe avere il potenziale di supportare i processi neuroplastici per ridurre il rischio di una seconda lesione del legamento crociato anteriore e l'incidenza dell'osteoartrite precoce.

17

Dopo una rottura del legamento crociato anteriore è stato osservato che il SNC può affidarsi maggiormente a feedback sensoriali alternativi, come quello visivo, tattile e propriocettivo. Studi con EEG e risonanza magnetica funzionale (fMRI) hanno mostrato un'aumentata attivazione in aree cerebrali legate all'elaborazione visiva, alla pianificazione motoria e all'elaborazione del dolore, che tendono a lavorare di più per compensare una ridotta eccitabilità della corteccia motoria. Dopo una lesione del LCA, le persone sperimentano cambiamenti nei meccanismi di controllo motorio, spesso dovuti alla riduzione della propriocezione, alterando i segnali provenienti dalle articolazioni e compromettendo quindi la capacità di controllo fine del movimento e il senso di stabilità. Queste modificazioni richiedono un maggiore coinvolgimento cognitivo, dato che il paziente dovrà dedicare maggiore attenzione ai movimenti che precedentemente avvenivano in modo automatico [31].

Molteplici studi sostengono che le capacità motorie e le capacità neuro-plastiche non sono sufficientemente incorporate al protocollo riabilitativo per il trattamento post ricostruzione del legamento crociato anteriore. Questo può avvenire attraverso esercizi e test che mirano a ristabilire la propriocezione e il controllo motorio automatico, in modo tale che il Sistema Nervoso Centrale possa riorganizzare le connessioni neuronali per adattarsi alla nuova situazione del ginocchio. L'integrazione di approcci neuro-cognitivi

¹⁷ *Revisione Medicina sportiva*. Giugno 2019;49(6):853-865. doi: 10.1007/s40279-019-01058-0.

nei test di riabilitazione può migliorare il ritorno sicuro e performante degli atleti allo sport, riducendo il rischio di recidive e migliorando la qualità del recupero [30].

Come descritto dallo studio “Principles of Motor Learning to Support Neuroplasticity After ACL Injury: Implications for Optimizing Performance and Reducing Risk of Second ACL Injury” [25], che verrà poi preso in considerazione per la revisione della letteratura, gli autori presentano “nuovi criteri di apprendimento motorio clinicamente integrati per supportare la neuroplasticità del paziente”, al fine di migliorare la riabilitazione, preparare il paziente al ritorno allo sport e ridurre il rischio di una seconda lesione del LCA. Per apprendimento motorio si intende “la capacità del paziente di acquisire delle abilità motorie, con un cambiamento relativamente permanente nella prestazione in funzione della pratica o dell’esperienza”. A supporto dell’apprendimento motorio sono stati introdotti 4 concetti chiave:

- **External focus of attention:**

Il **focus interno** (IF) si riferisce all'attenzione rivolta ai movimenti del proprio corpo, come le istruzioni specifiche su come coordinare gli arti. Nonostante il 95% dei pazienti fornisca istruzioni con focus interno, studi recenti hanno dimostrato che questo tipo di focus potrebbe limitare l’efficienza del sistema motorio, inducendo un controllo consapevole che ostacola i processi automatici. Il **focus esterno** (EF), invece, si concentra sugli effetti del movimento sull'ambiente circostante. Ad esempio, nel contesto della riabilitazione dell'estensione del ginocchio, invece di dire al paziente di "raddrizzare il ginocchio", un fisioterapista potrebbe suggerire di immaginare di calciare una palla. Questo tipo di approccio facilita un apprendimento più rapido e una maggiore automaticità del movimento, riducendo le interferenze cognitive durante l'esecuzione del compito. Gli studi mostrano che il focus esterno non solo migliora la performance motoria, ma può anche stimolare specifici meccanismi neurofisiologici, come l'inibizione intracorticale, che gioca un ruolo cruciale nel recupero muscolare dopo lesioni al LCA. Questo focus sembra promuovere l'uso di circuiti motori automatici, rendendo i movimenti più fluidi ed efficienti, influenzando positivamente sull’apprendimento motorio e sulla prevenzione degli infortuni durante la riabilitazione [25].



18

¹⁸ Un'istruzione di messa a fuoco esterna per migliorare la stabilità posturale: “cerca di mantenere le barre sulla balance board il più ferme possibile”.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6548061/figure/Fig1/>



19

¹⁹ Un'istruzione di messa a fuoco esterna per migliorare la stabilità posturale: "mantieni la barra orizzontale".

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6548061/figure/fig2/>

- **Implicit learning:**

L'apprendimento implicito nello sport e nella riabilitazione si basa sull'acquisizione di abilità motorie senza la necessità di conoscenze esplicite o dettagliate riguardanti l'esecuzione del movimento. L'apprendimento implicito utilizza analogie o metafore per aiutare l'atleta o il paziente a sviluppare un movimento automatico. Ad esempio, utilizzare analogie come "spingi via il pavimento con forza" (anziché concentrarsi su specifici movimenti articolari) permette al paziente di apprendere movimenti complessi senza sovraccaricare la memoria di lavoro, promuovendo un recupero più efficiente e prevenendo la recidiva di infortuni. L'apprendimento implicito, oltre a provocare un cambiamento nell'organizzazione dei percorsi corticomotori facilitando l'efficienza neurale, offre 3 importanti vantaggi:

1. **Riduce il reinvestimento:** Quando gli atleti sono sotto pressione, possono cadere nel cosiddetto "reinvestimento", ovvero dirigere la propria attenzione su movimenti che dovrebbero essere automatici. Questo porta a un deterioramento della performance, poiché l'atleta suddivide l'esecuzione fluida in blocchi più rigidi, creando errori tecnici. L'apprendimento implicito riduce la dipendenza dalla memoria di lavoro, prevenendo questa tendenza e mantenendo la fluidità del movimento.
 2. **Aumento dell'automaticità:** Poiché l'apprendimento implicito promuove processi automatici, esso risulta particolarmente utile in compiti complessi e sotto condizioni di stress, come negli sport competitivi. L'atleta è meno incline a eseguire movimenti tecnici con eccessiva attenzione, permettendo una performance più naturale e meno disturbata da fattori psicologici.
 3. **Migliora l'anticipazione:** Un altro vantaggio dell'apprendimento implicito è la sua connessione con l'anticipazione e il processo decisionale. Durante le fasi avanzate della riabilitazione, gli atleti devono essere esposti a stress simili a quelli dello sport reale. L'apprendimento implicito, che utilizza informazioni visive limitate, migliora le capacità di anticipazione, aiutando gli atleti a rispondere meglio alle perturbazioni esterne e riducendo il rischio di infortuni.
- [25]

- **Differential learning:**

L'apprendimento differenziale si basa sulla teoria dei sistemi dinamici, in cui gli schemi motori vengono intenzionalmente variati durante la pratica per promuovere un apprendimento auto-organizzato. Questo approccio permette agli atleti di sperimentare diversi modi di eseguire un compito, sviluppando soluzioni motorie personalizzate in base al proprio corpo e al contesto. Secondo recenti studi l'approccio differenziale stimola una maggiore attività cerebrale nelle aree parieto-occipitali e posteriori, rinforzando le tracce di memoria somatosensoriale e migliorando l'efficienza dell'immagazzinamento delle risorse attentive. Questo rende gli atleti più capaci di anticipare situazioni di rischio e attivare preventivamente il sistema neuromuscolare. La mancanza di variazione potrebbe ridurre l'eccitabilità della corteccia motoria e limitare la neuroplasticità; ad esempio sarebbe infatti utile, variare più versioni dello stesso esercizio ripetendole non più di due volte o alternare ambienti e contesti diversi. Incorporare l'apprendimento differenziale nella riabilitazione potrebbe migliorare il recupero motorio, fornendo benefici clinici che gli approcci tradizionali non riescono a ottenere. [25]

- **Self-controlled learning:**

L'apprendimento autocontrollato prevede che i pazienti abbiano un ruolo attivo nella propria riabilitazione, scegliendo alcuni aspetti della pratica e coinvolgendo maggiormente i pazienti, rendendoli partecipi del processo decisionale. L'apprendimento autocontrollato, in cui i pazienti scelgono quando ricevere feedback o quali esercizi svolgere, può ottimizzare l'apprendimento motorio, soprattutto attraverso l'uso di feedback positivi che aumentano la motivazione e il senso di competenza. I programmi di feedback autocontrollato, adattati alle esigenze dei singoli pazienti, possono aumentare l'impegno, lo sforzo e la conformità durante le sessioni di pratica. L'aumento della motivazione è stato collegato a una maggiore performance e coinvolgimento neuronale, dimostrato anche da studi EEG, che hanno rilevato una migliore precisione nell'apprendimento motorio e segni di neuroplasticità legati ai miglioramenti comportamentali [25].



20

- **Contextual interference:**

L'interferenza contestuale nell'apprendimento motorio, rappresenta il grado di interferenza che si verifica quando un individuo pratica un compito all'interno di un contesto che include anche altri compiti. Questa interferenza sarà bassa, nella pratica bloccata, in quanto prevede la ripetizione continua di una singola abilità con poca o nessuna variazione; sarà alta nella pratica casuale, che invece prevede l'apprendimento di più abilità in un ordine casuale e con variazioni continue. Il grado di interferenza deve essere messo in relazione con il concetto di “difficoltà desiderate”, che si riferisce a condizioni di pratica che, pur essendo impegnative, migliorano il mantenimento a lungo termine e il trasferimento delle abilità. Una elevata interferenza contestuale infatti, durante la fase di acquisizione causerà prestazioni inferiori e più difficili da portare a termine, portando però migliori risultati di apprendimento a lungo termine rispetto alla pratica con bassa

²⁰*Apprendimento autocontrollato, il paziente può scegliere, ad esempio, tre dei nove esercizi disponibili nell'ordine che preferisce.*

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/core/lw/2.0/html/tileshop_pmc/tileshop_pmc_inline.html?title=Click%20on%20image%20to%20zoom&p=PMC3&id=6548061_40279_2019_1058_Fig3_HTML.jpg

interferenza. Per l'applicazione clinica, il livello di abilità del paziente è un fattore chiave nella scelta della quantità di interferenza contestuale da includere nella pratica. I pazienti meno esperti tendono a trarre maggior beneficio da una bassa interferenza contestuale, poiché fornisce un ambiente di apprendimento più stabile, mentre gli atleti o pazienti più avanzati rispondono meglio a livelli di interferenza più elevati, che promuovono una maggiore flessibilità e adattabilità nell'apprendimento motorio [25].

Anche le istruzioni e il feedback hanno un ruolo importante. Infatti il linguaggio didattico e le giuste istruzioni sono molto influenti sulla prestazione del movimento e sul risultato dell'apprendimento motorio.

CAPITOLO 6 - MATERIALI E METODI

6.1. Studio

“Approccio Neuro-cognitivo negli atleti dopo ricostruzione di LCA nel Ritorno allo Sport: Revisione della letteratura”

“Neurocognitive approach in athletes after acl surgery in Return to Sport: literature review”

6.2. Obiettivo dello studio

L'obiettivo di questa *Revisione della Letteratura* è quello di indagare l'influenza e l'efficacia dell'integrazione di un approccio neuro-cognitivo, in giovani atleti reduci da un intervento di riparazione del legamento crociato anteriore (LCA) con l'obiettivo del ritorno allo sport (RTS).

6.3. Strategie di ricerca

La ricerca della letteratura è iniziata a maggio 2024 e si è conclusa a settembre 2024, nel database *PubMed*. La ricerca è partita dal considerare pazienti reduci da lesione di LCA che hanno subito un intervento di ricostruzione, impostando la seguente stringa:

((anterior cruciate ligament reconstruction) OR (reconstruction of the anterior cruciate ligament) OR (ACLR) OR (RLCA) OR (ACL-R))

Da questa ricerca iniziale sono stati ricavati 19464 studi. Il campo di ricerca è stato poi ristretto considerando anche l'approccio neuro-cognitivo e sinonimi, ricavando 200 risultati, grazie all'impostazione del seguente codice:

((((anterior cruciate ligament reconstruction) OR (reconstruction of the anterior cruciate ligament) OR (ACLR) OR (RLCA) OR (ACL-R)) AND ((neurocognitive approach) OR (neurocognitive rehabilitation) OR (CCT) OR (cognitive rehabilitation method) OR (neurocognitive functions) OR (double task) OR (external focus) OR (FE) OR (EF) OR (Motor learning))))

6.4. Criteri di inclusione ed esclusione

I risultati ottenuti sono stati filtrati secondo i seguenti criteri di inclusione:

- Timeframe di 10 anni, dal 2014 al 2024
- Articoli disponibili in formato integrale (full text)
- Articoli in lingua inglese

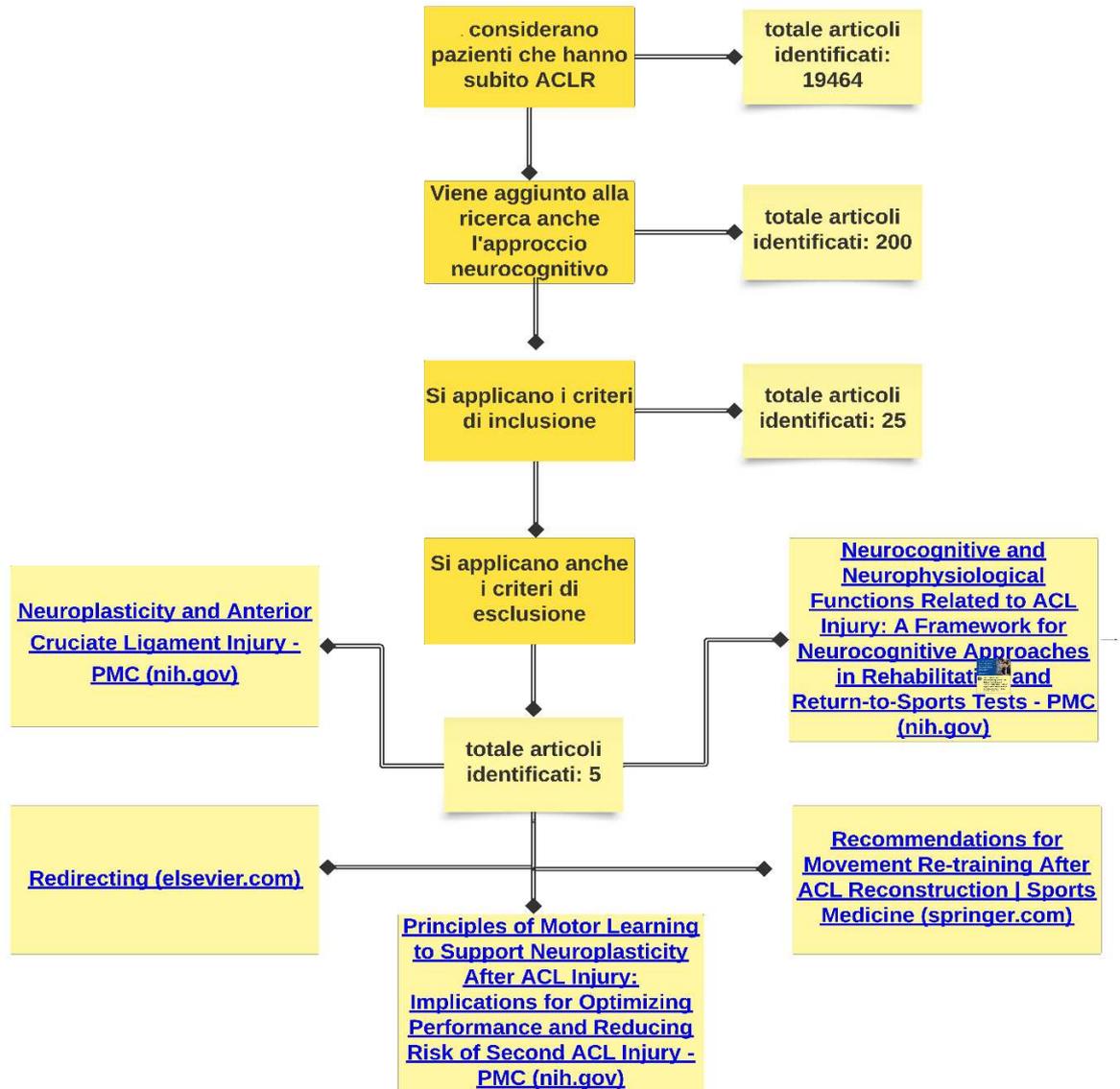
A questo punto sono stati ottenuti 163 studi, di cui però sono state considerate le meta-analisi, le revisioni sistematiche, revisioni ed eventuali studi randomizzati recenti che non sono contenuti nelle raccolte già revisionate. In seguito a questa selezione abbiamo ottenuto 25 articoli, a cui abbiamo applicato dei criteri di esclusione.

Ai 25 studi rimasti dall'applicazione dei criteri di inclusione, abbiamo applicato i seguenti criteri di esclusione:

- Non si considerano articoli duplicati
- Gli studi devono riguardare l'aspetto neurocognitivo e neurofisiologico del trattamento riabilitativo
- I soggetti protagonisti dell'approccio devono essere giovani sportivi che hanno subito un intervento di ricostruzione post-lesione del LCA, non devono essere considerati altri infortuni o pazienti non operati al legamento
- L'obiettivo finale della riabilitazione e del soggetto interessato deve essere il ritorno allo sport

Una volta fatte le considerazioni opportune, otteniamo per questa revisione della letteratura una selezione di 6 studi clinici randomizzati controllati (RCT) e 2 revisioni sistematiche. Dobbiamo però escludere due dei sei RCT, in quanto uno risulta già incluso in una delle due revisioni sistematiche, mentre l'altro valuta l'atleta nel suo ritorno allo sport post lesione di LCA, ma non considera un approccio neuro-cognitivo; escludiamo anche una delle due revisioni sistematiche in quanto non prende in considerazione i pazienti operati di ACLR, ma valuta il rischio di lesione del LCA in relazione al carico cognitivo dell'atleta. Una volta fatte le nostre considerazioni rimaniamo quindi con 4 studi clinici randomizzati e una revisione sistematica, composta a sua volta da 16 RCT, per un totale di 20 studi clinici randomizzati.

6.5. Flowchart



21

²¹ Flowchart fatto su LucidChart, rappresenta la strategia di ricerca e l'applicazione dei criteri

6.6. Risultati

In questo paragrafo, verrà fatta una breve sintesi delle due revisioni sistematiche e dello studio clinico randomizzato, che sono stati scelti per questa revisione della letteratura.

PRIMO STUDIO

“Neurocognitive and Neurophysiological Functions Related to ACL Injury: A Framework for Neurocognitive Approaches in Rehabilitation and Return-to-Sports Tests” Piskin, D., Benjaminse, A., Dimitrakis, P., & Gokeler, A. (2022), Sports Health, 14(4), 549–555.

“Funzioni neurocognitive e neurofisiologiche correlate alla lesione del legamento crociato anteriore: un quadro per gli approcci neurocognitivi nei test di riabilitazione e ritorno allo sport”

Prove emergenti considerano le lesioni di LCA anche come lesioni neurofisiologiche, che determinano una riorganizzazione corticale che può intaccare le funzioni neuro-cognitive, come l'attenzione, la memoria di lavoro e il controllo inibitorio, influenzando quindi la capacità di adattamenti a situazioni imprevedibili. I protocolli attuali per il ritorno allo sport (RTS) di pazienti che hanno subito un intervento di ricostruzione del LCA, si basano su test biomeccanici e neuromuscolari, senza considerare la complessità delle funzioni neurocognitive necessarie negli sport dinamici e open skill, dove gli atleti sono sottoposti a stimoli multipli. Questa revisione sistematica mira proprio ad approfondire le prove esistenti sulle funzioni neurocognitive e neurofisiologiche negli atleti, in modo da integrare questi concetti alla lesione del LCA e ampliare la prospettiva degli approcci di valutazione e riabilitazione.

Le evidenze disponibili indicano che le capacità cognitive e le funzioni del sistema nervoso centrale sono correlate a un aumento del rischio di infortuni e a una diminuzione delle performance post-infortunio. La riorganizzazione corticale può richiedere l'adozione di strategie compensatorie, occupando risorse cognitive e rendendo complessa la gestione degli ambienti dinamici tipici degli sport. Pertanto, i concetti di RTS e di riabilitazione dovrebbero tenere conto di queste considerazioni per prevenire ulteriori infortuni e garantire che gli atleti raggiungano un livello competitivo adeguato.[31]

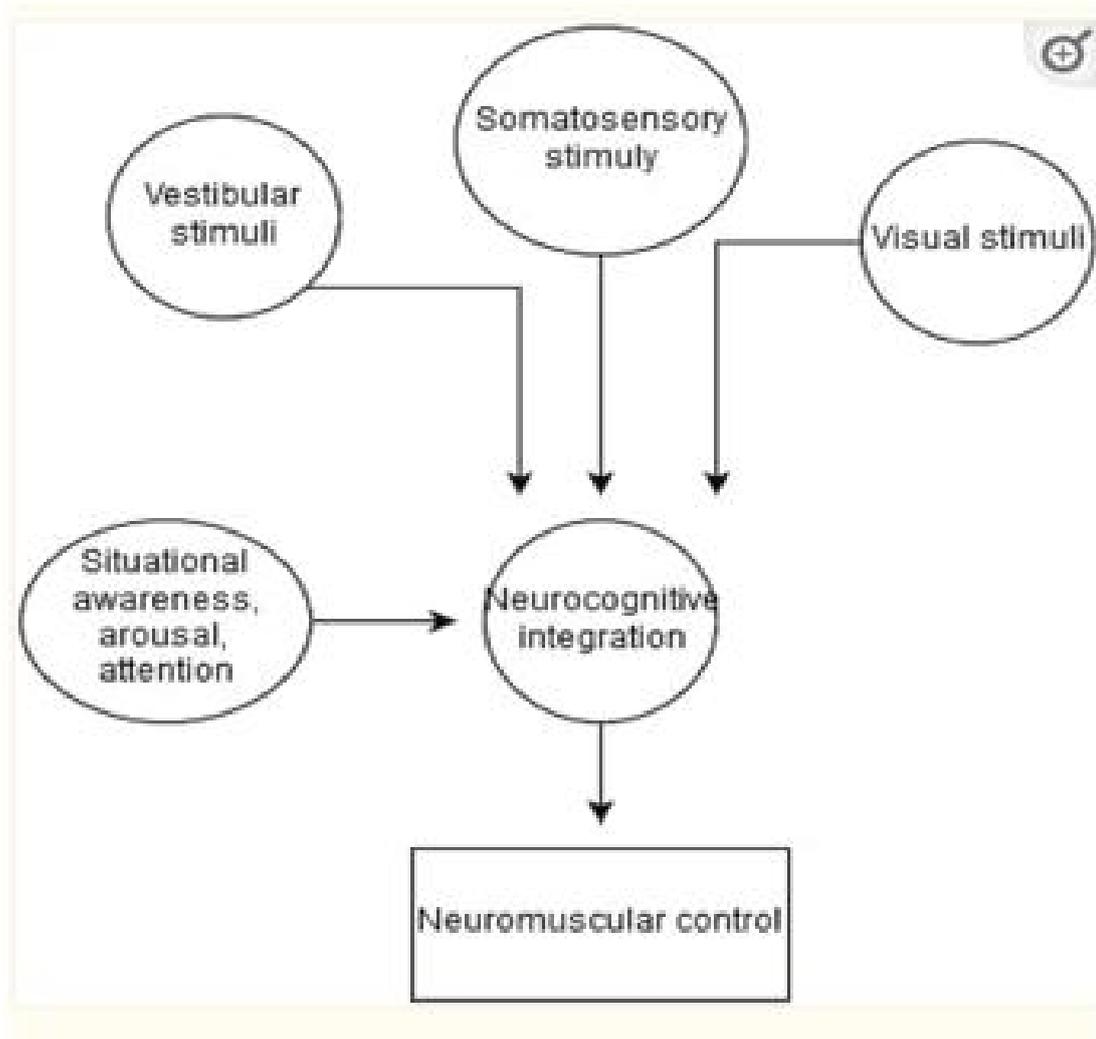
SECONDO STUDIO

“Neuroplasticity and Anterior Cruciate Ligament Injury”. Kakavas, G., Malliaropoulos, N., Pruna, R., Traster, D., Bikos, G., & Maffulli, N. (2020). *Indian Journal of Orthopaedics*, 54(3), 275–280

“Neuroplasticità e lesione del legamento crociato anteriore”

Le lesioni del legamento crociato anteriore sono infortuni molto comuni tra gli atleti. Le conseguenze della lesione sono potenzialmente gravi per quanto riguarda il ritorno all'attività sportiva e lo stato di salute generale e muscoloscheletrica. La maggior parte degli infortunati riesce a tornare allo sport in seguito all'intervento di ricostruzione del LCA, ma nonostante ciò spesso persistono ulteriori problemi al ginocchio e un'aumentata probabilità di seconda lesione del legamento. Questi fattori negativi lasciano intendere la necessità di un approccio diverso alla riabilitazione. L'articolo descrive come l'allenamento neuromuscolare possa contribuire alla riabilitazione dopo una lesione del LCA, enfatizzando l'importanza di programmi personalizzati che incorporino vari aspetti come la propriocezione, l'agilità e le abilità specifiche per lo sport.

Secondo l'articolo è importante che la ricerca futura, quantifichi l'alterazione neuroplastica indotta dalle lesioni muscoloscheletriche, utilizzando compiti di controllo motorio più complessi. La ricerca futura, dovrebbe approfondire la neuroplasticità legata a queste lesioni, esplorando metodi avanzati per valutare il controllo motorio. È fondamentale capire quali combinazioni di principi di apprendimento motorio possano ottimizzare la riabilitazione. Ogni atleta, con le sue specificità, potrebbe richiedere un approccio su misura per massimizzare il recupero e prevenire future lesioni.[30]



22

²²*Integrazione del controllo neuromuscolare.*

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32399146/>

TERZO STUDIO

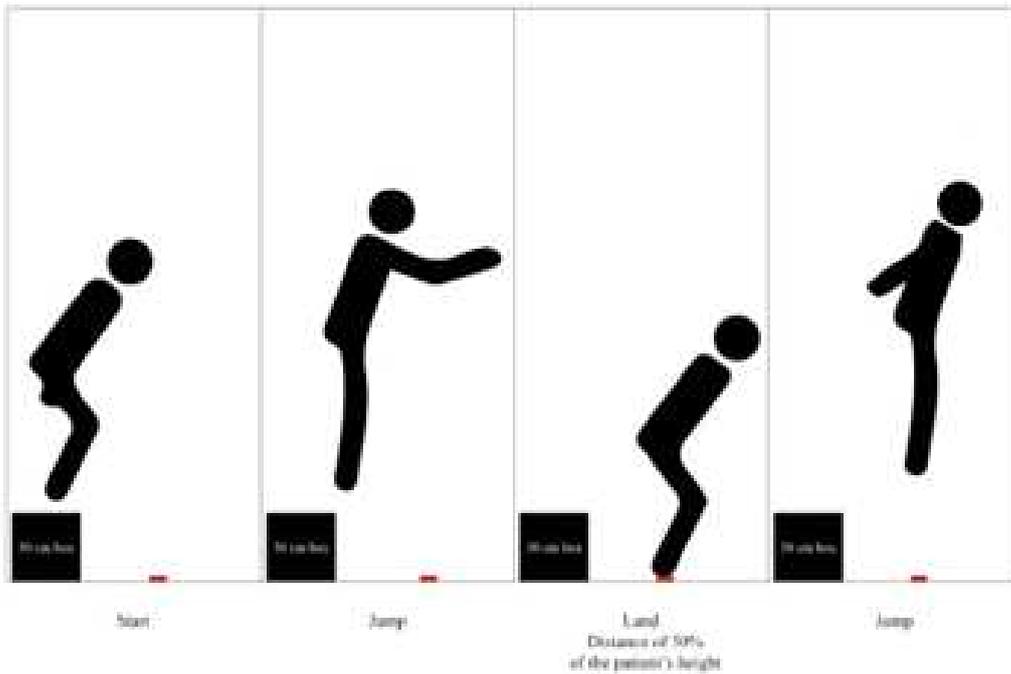
“Using a target as external focus of attention results in a better jump-landing technique in patients after anterior cruciate ligament reconstruction - A cross-over study” Bæktoft van Weert, M., Skovdal Rathleff, M., Eppinga, P., Møller Mølgaard, C., & Welling, W. (2023). The Knee, 42, 390–399.

“L'utilizzo di un bersaglio come focus esterno dell'attenzione determina una migliore tecnica di atterraggio del salto nei pazienti dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore - Uno studio cross-over”

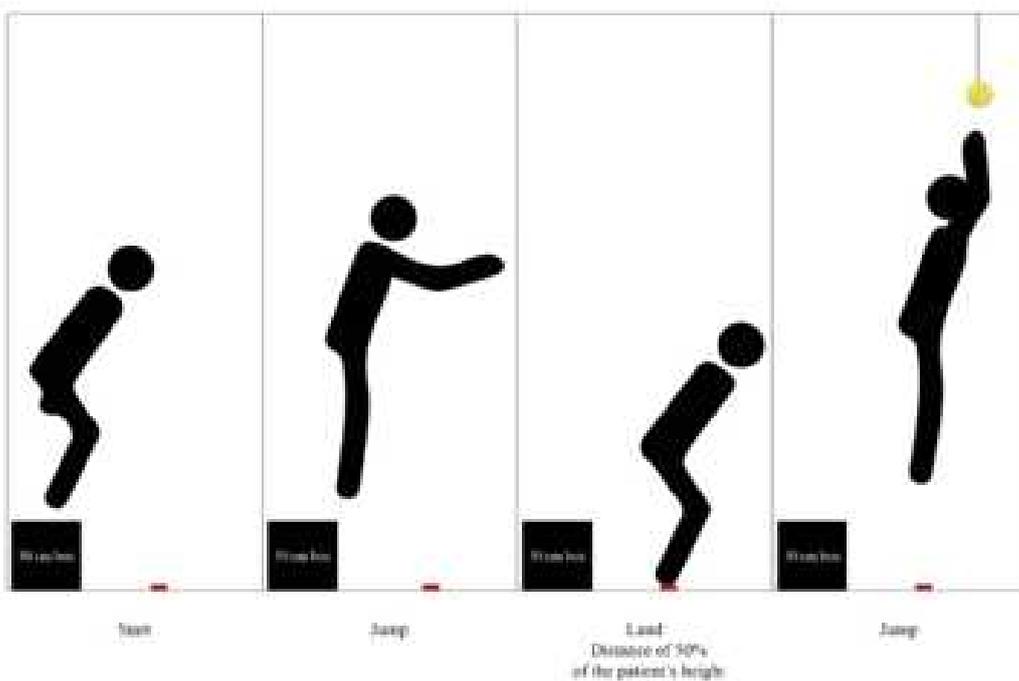
Una parte fondamentale della riabilitazione del legamento crociato anteriore (LCA) è l'ottimizzazione della tecnica di atterraggio nel salto, che può ridurre i deficit neuromuscolari e gli schemi di movimento asimmetrici. Recenti ricerche hanno evidenziato come l'utilizzo di feedback e l'integrazione di esercizi che sfruttano l'attenzione del paziente, contribuiscono a migliorare le prestazioni motorie dell'atleta infortunato. L'attenzione può essere guidata tramite due diversi tipi di focus:

- Il **focus interno (IF)**, che riguarda il modo di eseguire i movimenti, concentrandosi sulla struttura corporea interessata e sull'azione in sé
- Il **focus esterno (EF)**, che si concentra sui risultati del movimento, spostando l'attenzione sull'obiettivo

Lo studio evidenzia che l'utilizzo di esercizi che sfruttano il principio del focus esterno tramite semplici comandi verbali, determinano una tecnica di atterraggio nel salto nettamente migliore rispetto ad esercizi con focus interno o esercizi che non considerano l'attenzione del paziente (NF). [32]



23



24

²³ Salto vertical con attenzione interna.

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0968016023001035-gr1.jpg>

²⁴ Salto verticale con attenzione rivolta verso l'esterno.

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0968016023001035-gr2.jpg>

QUARTO STUDIO

“Principles of Motor Learning to Support Neuroplasticity After ACL Injury: Implications for Optimizing Performance and Reducing Risk of Second ACL Injury” Gokeler, A., Neuhaus, D., Benjaminse, A., Grooms, D. R., & Baumeister, J. (2019). Sports Medicine (Auckland, N.Z.), 49(6), 853–865

“Principi di apprendimento motorio per supportare la neuroplasticità dopo una lesione del legamento crociato anteriore: implicazioni per ottimizzare le prestazioni e ridurre il rischio di una seconda lesione del legamento crociato anteriore”

Dopo la ricostruzione del legamento LCA, circa la metà dei pazienti trona al livello sportivo pre-infortunio, con un aumentato rischio di secondo infortunio. È stato dimostrato che la lesione del legamento crociato anteriore causa cambiamenti nel SNC e che tale aspetto non viene sufficientemente considerato negli attuali approcci riabilitativi. Lo studio propone dei principi dell'apprendimento motorio che potrebbero essere capaci di supportare i processi neuro-plastici, ridurre il rischio di una seconda lesione e diminuire la probabilità di sviluppare l'osteoartrite precoce. L'articolo introduce quindi i concetti di:

- External focus of attention (focus esterno, EF)
- Implicit learning (apprendimento implicito)
- Differential learning (apprendimento differenziale)
- Self-controlled learning and contextual interference (apprendimento autocontrollato e interferenza contestuale)

Gli autori dello studio hanno così fornito un continuum di programmi di allenamento neuromuscolare, basati su nuovi metodi adattati per ridurre i fattori di rischio biomeccanici e neuromuscolari identificati nei pazienti dopo ACLR. Lo scopo di questi nuovi programmi di apprendimento motorio, dovrebbe essere di supporto alla neuroplasticità del SNC, in seguito ad alterazioni dovute alla lesione del LCA. In futuro la ricerca dovrebbe concentrarsi su quali dei principi precedentemente elencati, produce risultati clinici più rilevanti, nonostante la soluzione ottimale potrebbe essere specifica e adattata individualmente per ogni atleta infortunato, considerando che ogni cervello è diverso. [25]

QUINTO STUDIO

“Recommendations for Movement Re-training After ACL Reconstruction” Buckthorpe, M. Sports Med 51, 1601–1618 (2021)

“Raccomandazioni per il riadattamento del movimento dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore”

Ottimizzare il recupero funzionale dopo una ricostruzione del legamento crociato anteriore (LCA) è fondamentale per garantire ai pazienti un ritorno allo sport (RTS), sicuro ed efficace. È essenziale ripristinare la qualità del movimento, poiché le alterazioni in questo ambito possono portare a risultati scadenti post-intervento. Le difficoltà nel correggere i problemi di movimento prima del ritorno allo sport, possono derivare da programmi di riabilitazione insufficienti in termini di volume e intensità. Lo scopo dell'articolo è proprio quello di stabilire gli aspetti rilevanti per la disfunzione del movimento e la riqualificazione del legamento.

Il documento propone un approccio complesso composto da tre fasi, che considera i fattori neuromuscolari, biomeccanici, sensomotori e neurocognitivi, al fine di favorire un riadattamento motorio dopo un ACLR. Le tre fasi sono:

1. **Fase di valutazione:** Identificare e affrontare i fattori di controllo neuromuscolare, biomeccanico e sensomotorio che influenzano la qualità del movimento. Questo è essenziale per preparare il paziente a un apprendimento motorio efficace.
2. **Fase di riaddestramento progressivo:** Introdurre attività funzionali in modo progressivo, ottimizzando la coordinazione e l'apprendimento motorio. È cruciale che le attività siano gradualmente più complesse e mirate.
3. **Fase di applicazione sul campo:** condurre l'allenamento in ambienti realistici che simulano le richieste del movimento sportivo. Questa fase deve includere la progressione delle situazioni di allenamento per adattarsi ai vincoli ambientali.

Le tre fasi devono essere parte di un programma riabilitativo progettato in modo efficace e con un continuum di attività che favoriscano il progresso. Inoltre, l'utilizzo di tecniche

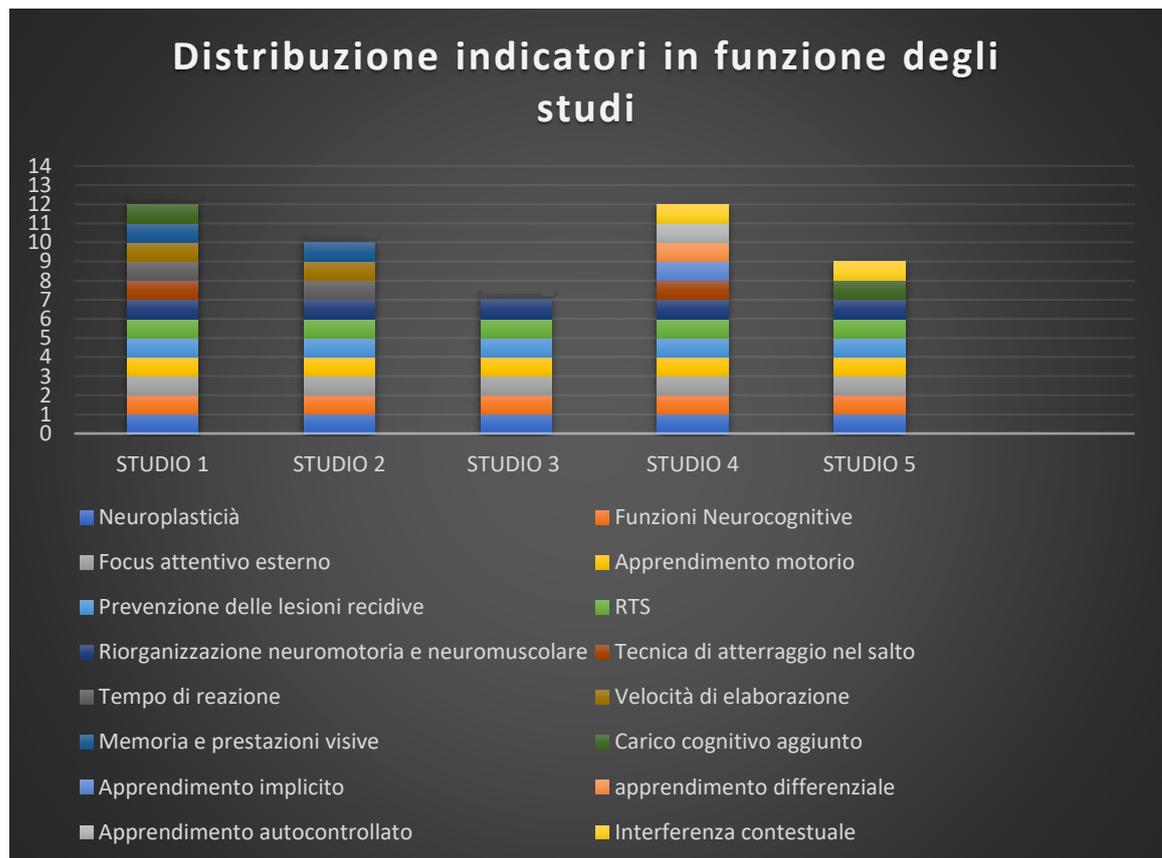
di coaching e feedback, e un'analisi qualitativa del movimento, sono essenziali per monitorare i progressi e facilitare la transizione verso il ritorno allo sport. [33]

CAPITOLO 7 – DISCUSSIONE

Le recenti ricerche stanno rivalutando il tradizionale approccio biomeccanico e neuromuscolare per la riabilitazione del legamento crociato anteriore in seguito ad un intervento di ricostruzione, suggerendo l'integrazione di elementi neurocognitivi e neurofisiologici, al fine di ottimizzare il recupero e il ritorno allo sport e ridurre il rischio di recidive. I 5 studi considerati nella revisione della letteratura, considerano le lesioni di LCA, non solo come problemi articolari ma ne analizzano anche gli impatti neurofisiologici significativi. Questi infortuni determinano una riorganizzazione corticale che può influenzare le funzioni neurocognitive, come l'attenzione e la memoria di lavoro, essenziali per la gestione di ambienti sportivi dinamici. La neuroplasticità indotta dalla lesione, se non gestita correttamente, può portare a una "neuroplasticità disadattiva", dove il cervello adotta strategie compensatorie che aumentano la richiesta cognitiva per compiti motori semplici, riducendo la capacità di gestire stimoli complessi e imprevisi.

Un tema chiave che emerge dagli studi è l'importanza dell'apprendimento motorio per facilitare la neuroplasticità positiva e ottimizzare il recupero funzionale. Un paio di studi tra quelli considerati, sostengono che l'integrazione di principi come il focus attentivo esterno (EF), l'apprendimento implicito, il differenziale, l'autocontrollato e l'interferenza contestuale, sia fondamentale per migliorare il controllo neuromotorio e ridurre il rischio di un secondo infortunio. Ad esempio, uno studio si concentra nel dimostrare che l'uso di un focus esterno migliora significativamente la tecnica di atterraggio nel salto, rispetto all'uso di un focus interno o esercizi che non tengono conto delle funzioni cognitive. Questo supporta l'idea che concentrare l'attenzione del paziente su obiettivi esterni, piuttosto che sul movimento stesso, possa ottimizzare la performance motoria e facilitare un recupero più efficace. Gli studi considerati propongono un approccio olistico, al fine di ottimizzare il ritorno allo sport dell'atleta e ridurre il rischio di secondo infortunio. È necessario integrare componenti neurocognitive e sensomotorie, definendo un programma riabilitativo che valuti i deficit neuromuscolari, biomeccanici e neurocognitivi che influenzano la qualità del movimento, per poi procedere con un riaddestramento progressivo che punti a migliorare la coordinazione e l'apprendimento motorio, aumentando gradualmente la complessità dell'attività e simulando le richieste ambientali e sportive reali.

Dai 5 studi analizzati sono stati evidenziati 16 indicatori, relativi alla riabilitazione e al recupero post-lesione del LCA, con particolare attenzione agli aspetti neurocognitivi, neurofisiologici e all'apprendimento motorio. Questi corrispondono ai vari temi trattati negli articoli e sono stati poi raggruppati nei seguenti grafici con lo scopo di descrivere ed evidenziare gli aspetti in comune, le differenze e i vari approfondimenti di ogni studio.



25

Tutti gli articoli enfatizzano l'importanza della neuroplasticità nel processo di riabilitazione post-ACL, con però un maggiore approfondimento negli studi 1, 2 e 4. La lesione del legamento non influisce solo sull'articolazione, ma provoca alterazioni nei circuiti neuronali legati al controllo motorio, che richiedono una riorganizzazione funzionale durante la riabilitazione. Come descritto dallo studio 2, “questi adattamenti possono comportare alterazioni delle strategie cognitive complessive, del reclutamento di

²⁵ Il grafico rappresenta la distribuzione dei vari indicatori in relazione a quali studi li contengono.

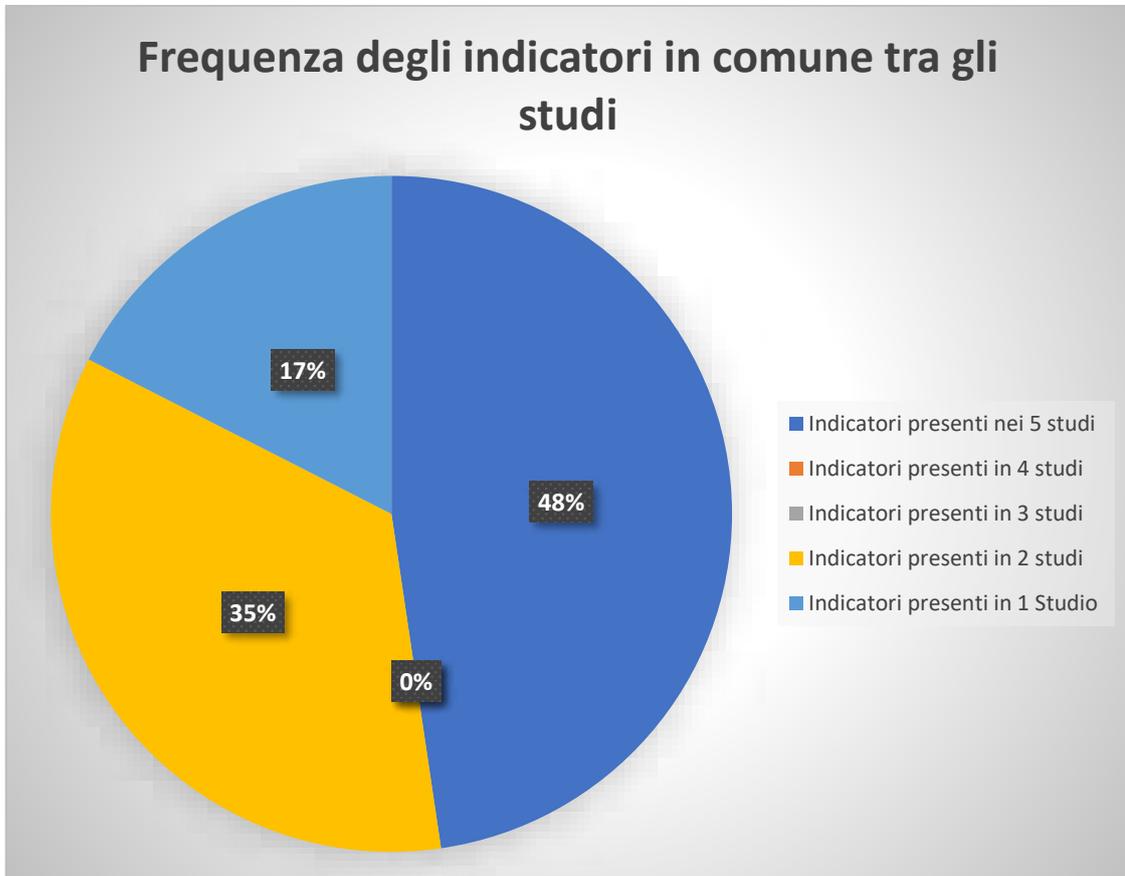
diversi circuiti neurali, o amplificazione/riduzione del coinvolgimento di determinate connessioni o aree cerebrali”. Lo studio 1 spiega come la riorganizzazione corticale e le funzioni neurofisiologiche, possano innescare delle strategie compensatorie che determinano un aumento del rischio di infortunio e una diminuzione della performance negli atleti; ciò è dovuto anche all’aumentata richiesta di elaborazione per il compito primario che limitando la riserva cognitiva indirizzata ai compiti secondari. Questo meccanismo spiega il concetto di “Carico Cognitivo Aggiunto” (o “Carico neurocognitivo”) trattato nello studio 1 e nello studio 5; ovvero vincoli visivi o compiti doppi che aumentano la richiesta cognitiva e influenzano negativamente la qualità del movimento, la stabilità e il carico del ginocchio durante il movimento, aumentano il rischio di secondo infortunio.

Secondo gli studi considerati (principalmente gli studi 1, 2 e 5) andrebbero valutati i tempi di reazione, la velocità di elaborazione, la memoria visiva e le prestazioni visive, al fine di sviluppare un allenamento che sfida la cognizione, l’attenzione e la percezione spaziale del paziente, per ottimizzare la riorganizzazione motoria. Gli articoli propongono infatti un approccio basato sull’apprendimento motorio per ripristinare la funzionalità muscolare e ridurre il rischio di recidive. L’insegnamento di schemi motori corretti e il riapprendimento delle capacità motorie sono centrali nel recupero. Ad Esempio lo studio 4 sostiene che la riabilitazione dovrebbe essere guidata da principi dell’apprendimento motorio, come la ripetizione, il feedback e la variabilità del movimento e dell’ambiente; lo studio 5 menziona la necessità di un ri-training del movimento basato su strategie di apprendimento motorio per ottimizzare il ritorno alle prestazioni atletiche.

Nello studio 4 viene fatta un’analisi approfondita dell’apprendimento motorio, presentando i seguenti concetti chiave (già descritti nel capitolo 5): focus attentivo esterno, apprendimento implicito, apprendimento differenziale, apprendimento autocontrollato, interferenza contestuale. Queste tecniche appaiono anche in altri studi, tra quelli analizzati; il focus esterno che viene trattato in tutti gli studi e l’interferenza contestuale che viene citata anche nello studio 5.

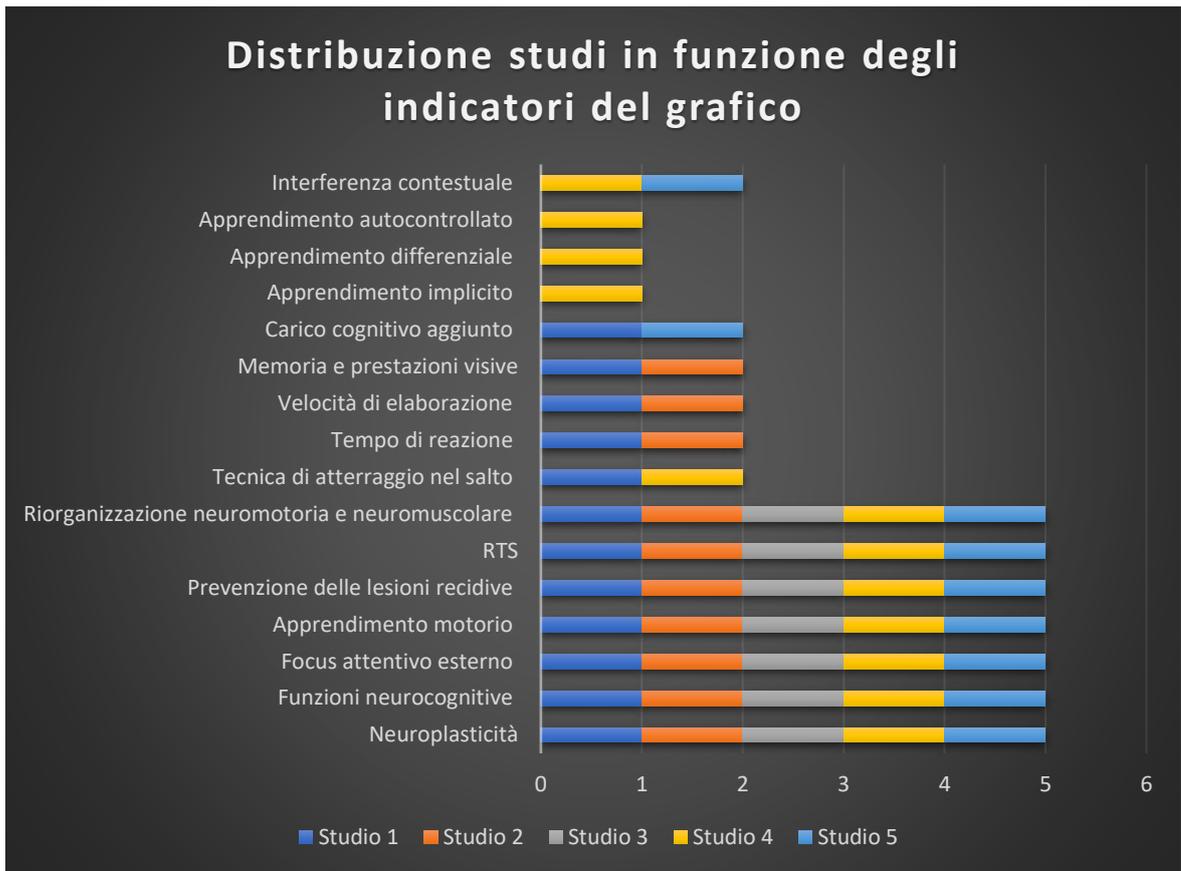
Come appena accennato, tutti gli studi mettono in evidenza l’importanza del focus esterno rispetto a quello interno durante il re-training dei movimenti. Lo studio 3 approfondisce più degli altri l’efficacia del focus esterno rispetto al focus interno, applicandolo alla

tecnica di atterraggio nel salto. Lo studio spiega come l'utilizzo di feedback, semplici comandi verbali e esercizi che sfruttano l'attenzione del paziente, possano contribuire al miglioramento delle prestazioni motorie dell'atleta post lesione di LCA.



26

²⁶ Il grafico indica la frequenza degli indicatori negli studi e quanti indicatori sono in comune negli studi

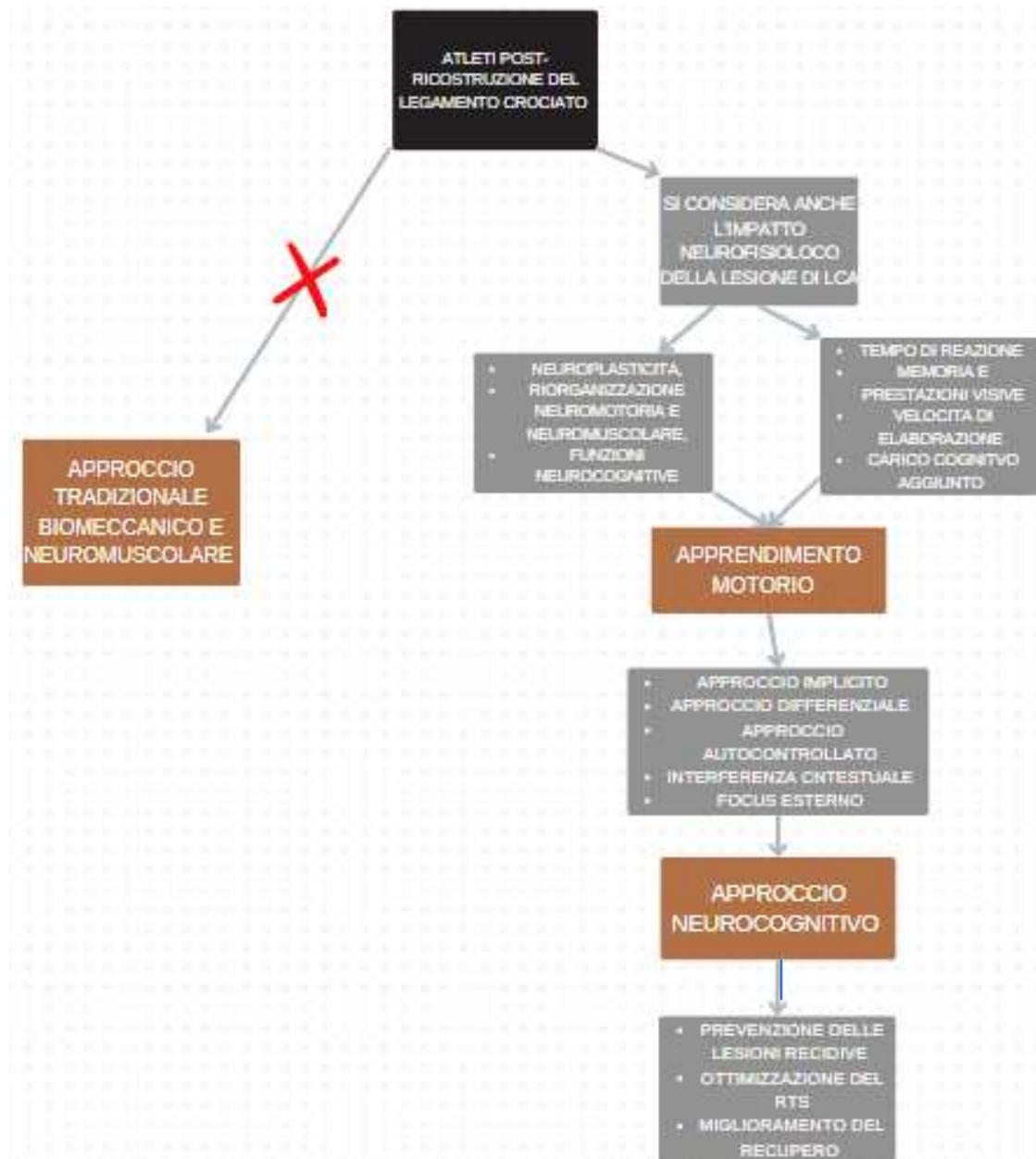


27

²⁷ Il grafico rappresenta la distribuzione degli studi in relazione agli indicatori individuati. Il grafico permette di in quali studi sono presenti gli indicatori

CAPITOLO 8 – CONCLUSIONE

La riabilitazione neurocognitiva non riguarda solo il recupero fisico, ma anche il coinvolgimento attivo del cervello nel controllo del movimento. È importante integrare la cognizione nel processo di riabilitazione, per migliorare la coordinazione e il controllo motorio, restituendo agli atleti un sistema neuromuscolare più reattivo e resiliente.



28

²⁸ Il grafico rappresenta l'approccio neurocognitivo e i suoi aspetti principali, trattati nei 5 studi presi in considerazione della revisione della letteratura

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. *Chinesiologia del Sistema Muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.546
2. *Anatomia del ginocchio*. (2018, ottobre 24). *Fisioterapia Rubiera*.
<https://www.fisioterapiarubiera.com/anatomia-del-ginocchio/>
3. *Chinesiologia del Sistema Muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.548
4. *Articolazione del ginocchio: Descrizione anatomica delle strutture* | *Osteolab*. (2018, aprile 7). <https://www.osteolab.net/articolazione-del-ginocchio/>
5. *Anatomia Funzionale e Imaging*, Manrico Morroni, p.277
6. *Chinesiologia del Sistema Muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.549
7. *Chinesiologia del Sistema Muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.566
8. *Anatomia Funzionale e Imaging*, Manrico Morroni, p.310
9. *studiofisiomedical*. (2020, gennaio 22). *Legamenti del ginocchio: Cosa sono, quali sono e a cosa servono*. *Studio fisiomediCal*.
<https://www.studiofisiomedical.it/legamenti-del-ginocchio/>
10. *Chinesiologia del Sistema Muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.557
11. *Anatomia Funzionale e Imaging*, Manrico Morroni, p.281
12. *Chinesiologia del sistema muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.551
13. *Chinesiologia del sistema muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.563
14. *Chinesiologia del sistema muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.554
15. *Anatomia Funzionale e Imaging*, Manrico Morroni, p.311
16. *Chinesiologia del Sistema Muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.559
17. *ACL injury—Symptoms and causes*. (s.d.). *Mayo Clinic*. Recuperato 14 ottobre 2024, da <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/acl-injury/symptoms-causes/syc-20350738>
18. *Chinesiologia del Sistema Muscoloscheletrico*, Donald A. Neumann, p.561
19. *ACL injury—Diagnosis and treatment—Mayo Clinic*. (s.d.). Recuperato 24 settembre 2024, da <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/acl-injury/diagnosis-treatment/drc-20350744>

20. Lipps, D. B., Wojtys, E. M., & Ashton-Miller, J. A. (2013). Anterior cruciate ligament fatigue failures in knees subjected to repeated simulated pivot landings. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(5), 1058–1066. <https://doi.org/10.1177/0363546513477836>
21. Practice Guideline *J Orthop Sports Phys Ther*. 2018 Sep;48(9):A1-A42.doi: 10.2519/jospt.2018.0303. - Cerca con Google. (s.d.). Recuperato 24 settembre 2024, da [https://www.google.com/search?q=Practice+Guideline+J+Orthop+Sports+Phys+Ther.+2018+Sep%3B48\(9\)%3AA1-A42.doi%3A+10.2519%2Fjospt.2018.0303.&oq=Practice+Guideline+J+Orthop+Sports+Phys+Ther.+2018+Sep%3B48\(9\)%3AA1-A42.doi%3A+10.2519%2Fjospt.2018.0303.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqBggAEEUYOzIGCAAQRrg70gEHNzM0ajBqNKgCALACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Practice+Guideline+J+Orthop+Sports+Phys+Ther.+2018+Sep%3B48(9)%3AA1-A42.doi%3A+10.2519%2Fjospt.2018.0303.&oq=Practice+Guideline+J+Orthop+Sports+Phys+Ther.+2018+Sep%3B48(9)%3AA1-A42.doi%3A+10.2519%2Fjospt.2018.0303.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqBggAEEUYOzIGCAAQRrg70gEHNzM0ajBqNKgCALACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
22. Lesione del legamento crociato anteriore. (s.d.). Humanitas. Recuperato 24 settembre 2024, da <https://www.humanitas.it/malattie/lesione-del-legamento-crociato-anteriore/>
23. Lesione Legamento Crociato Anteriore—Prof. Nicola Portinaro—Ortopedico. (s.d.). Recuperato 24 settembre 2024, da <https://www.nicolaportinaro.it/lesione-legamento-crociato-anteriore/>
24. The Long-term Consequence of Anterior Cruciate Ligament and Meniscus Injuries: Osteoarthritis—L. Stefan Lohmander, P. Martin Englund, Ludvig L. Dahl, Ewa M. Roos, 2007. (s.d.). Recuperato 24 settembre 2024, da <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546507307396>
25. Gokeler, A., Neuhaus, D., Benjaminse, A., Grooms, D. R., & Baumeister, J. (2019). Principles of Motor Learning to Support Neuroplasticity After ACL Injury: Implications for Optimizing Performance and Reducing Risk of Second ACL Injury. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(6), 853–865. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01058-0>

26. Brown, C. H., Carson, E. W., & Amis, A. A. (2013). *The Transplantation of the Cruciate Ligaments of the Knee*. *Journal of Orthopaedic Research*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27327919/>
27. 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*, 48(21), 1543–1552. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093398>
28. Wiggins, A. J., Grandhi, R. K., Schneider, D. K., Stanfield, D., Webster, K. E., & Myer, G. D. (2016). *Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis*. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(7), 1861–1876. <https://doi.org/10.1177/0363546515621554>
29. *Ritorno allo sport dopo la ricostruzione del legamento crociato anteriore: L'argomento a favore di un approccio multimodale per ottimizzare il processo decisionale: Concetti attuali—Journal of ISAKOS*. (s.d.). Recuperato 24 settembre 2024, da [https://www.jisakos.com/article/S2059-7754\(21\)00314-X/fulltext](https://www.jisakos.com/article/S2059-7754(21)00314-X/fulltext)
30. Kakavas, G., Malliaropoulos, N., Pruna, R., Traster, D., Bikos, G., & Maffulli, N. (2020). *Neuroplasticity and Anterior Cruciate Ligament Injury*. *Indian Journal of Orthopaedics*, 54(3), 275–280. <https://doi.org/10.1007/s43465-020-00045-2>
31. *Funzioni neurocognitive e neurofisiologiche correlate alla lesione del legamento crociato anteriore: Un quadro per gli approcci neurocognitivi nei test di riabilitazione e ritorno allo sport—PMC*. (s.d.). Recuperato 24 settembre 2024, da <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9214902/>
32. Bæktoft van Weert, M., Skovdal Rathleff, M., Eppinga, P., Møller Mølgaard, C., & Welling, W. (2023). *Using a target as external focus of attention results in a better jump-landing technique in patients after anterior cruciate ligament*

reconstruction—A cross-over study. The Knee, 42, 390–399.
<https://doi.org/10.1016/j.knee.2023.04.016>

33. *Recommendations for Movement Re-training After ACL Reconstruction | Sports Medicine. (s.d.). Recuperato 13 ottobre 2024, da*
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-021-01454-5>