



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI GENOVA



## **Università degli Studi di Genova**

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze Materno-Infantili

### **Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici**

A.A. 2018/2019

Campus Universitario di Savona

## **Disordini muscoloscheletrici nei bambini e adolescenti dopo concussione cerebrale: revisione della letteratura.**

Candidato:

Dott.ssa FT, Giulia Timpanaro

Relatore:

Dott. FT, OMPT Andrea Colombi

## INDICE

<b>INDICE</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>INTRODUZIONE</b> .....	4
Definizione.....	4
Differenze anatomiche tra bambini e adulti .....	4
Incidenza.....	6
Sintomatologia .....	8
Neuroimaging .....	12
Scopo dell’elaborato.....	13
<b>MATERIALI E METODI</b> .....	14
<b>RISULTATI</b> .....	18
<b>DISCUSSIONI</b> .....	27
Confronto con altri studi .....	31
Limiti .....	35
<b>CONCLUSIONI</b> .....	36
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	38

## ABSTRACT

**BACKGROUND E OBIETTIVI** La concussione cerebrale è un trauma abbastanza frequente nella popolazione pediatrica, in particolare associato a incidenti sportivi. A causa delle differenze anatomiche tra bambini e adulti, la sintomatologia in seguito a tale evento risulta diversa a seconda l'età del paziente. Lo scopo di questo elaborato è quello di studiare i sintomi muscoloscheletrici nella popolazione pediatrica in seguito a un lieve TBI (traumatic brain injury).

**MATERIALI E METODI** Per lo svolgimento della revisione è stata condotta una ricerca in tre diverse banche dati: Medline, Scopus e Web of Science. Sono stati inclusi solo articoli in lingua inglese che analizzano sintomi muscoloscheletrici in bambini e adolescenti fra i 6 e i 18 anni, in seguito a una concussione con punteggio alla Glasgow Coma Scale superiore a 13.

**RISULTATI** Sono stati inseriti nella revisione 9 studi osservazionali: 5 studi di coorte, 2 caso-controllo, uno studio trasversale e un case-series. I lavori sono stati valutati qualitativamente tramite la scala Newcastle Ottawa.

**DISCUSSIONI** Dall'analisi degli articoli sono emersi diversi disturbi muscoloscheletrici: quelli riscontrati più frequentemente dopo un TBI sono disturbi dell'equilibrio, fatica, dolore cervicale e alterazioni nella cinematica del cammino soprattutto con dual task. I sintomi descritti variano notevolmente a seconda degli articoli, in funzione della popolazione presa in esame, dell'età e del sesso dei soggetti, della numerosità del campione e delle metodiche utilizzate per raccogliere, analizzare e presentare i dati.

**CONCLUSIONI** Dall'attuale revisione si evince che gli studi che esaminano i sintomi muscoloscheletrici in età pediatrica sono inferiori rispetto a quelli sui disturbi psico-cognitivo-comportamentali. Si rendono necessarie ulteriori ricerche affinché tali sintomi vengano riconosciuti più facilmente e non si evolvano in una sindrome post-concussiva. In seguito a un TBI sarà fondamentale una valutazione adeguata degli impairments e un trattamento riabilitativo appropriato in modo da garantire un approccio completo e una qualità di vita migliore possibile per il futuro del bambino.

## INTRODUZIONE

### Definizione

La concussione cerebrale è un tipo di lesione cerebrale traumatica o TBI (Traumatic brain injury) ed è tra le condizioni neurologiche acquisite che si verificano più frequentemente, soprattutto fra i bambini.

Il CDC (Centers for Disease Control and Prevention) [1], definisce il TBI come un'interruzione della normale funzione cerebrale che può essere causata da un urto, un colpo di frusta o una scossa alla testa che induce quest'ultima e il cervello a muoversi rapidamente avanti e indietro. Questo movimento improvviso può danneggiare le cellule cerebrali, creando cambiamenti chimici, mentre i risultati di neuroimaging strutturali come la tomografia computerizzata o la risonanza magnetica sono spesso normali.

Secondo il National Center for Injury Prevention and Control (NCIPC) [1] un TBI viene definita anche come "mild traumatic brain injury" o mTBI, in quanto si tratta il più delle volte di una lesione cerebrale "lieve", sebbene gli effetti di una commozione cerebrale possano essere anche gravi.

Per rientrare come un mTBI, il punteggio alla Glasgow Coma Scale deve essere tra il 13 e il 15 e non devono esserci deficit neurologici [2].

Per McCrory, invece i due termini non dovrebbero essere intercambiabili giacché vi è una differenza: la commozione cerebrale è una lesione solo funzionale, mentre l'mTBI può essere una lesione sia strutturale che funzionale [3].

### Differenze anatomiche tra bambini e adulti

Nonostante tutti possono essere a rischio di una commozione cerebrale, i bambini sembrano essere più esposti in quanto la tolleranza cerebrale alle forze biomeccaniche è diversa: ciò è dovuto ad una combinazione di fattori tra cui una risposta fisiologica dipendente dall'età allo stress meccanico, la diversa geometria del cranio e del cervello e le proprietà strutturali costitutive della testa.

Sarà necessario un impatto da due a tre volte maggiore per produrre sintomi clinici nei bambini rispetto agli adulti, pertanto è ragionevole supporre che se un bambino presenta sintomi dopo un

trauma cranico, questo abbia subito una forza di impatto molto maggiore rispetto a un adulto con gli stessi sintomi post-concussivi [4].

Le principali differenze anatomiche tra bambini e adulti consistono nella maggiore elasticità del rachide e del cranio e un minor sviluppo della muscolatura del collo: una maggiore plasticità fa sì che le forze esterne siano assorbite in modo diverso rispetto agli adulti. I bambini piccoli hanno i muscoli del collo più deboli e la testa è molto pesante rispetto al resto del corpo, rendendola più vulnerabile al TBI.

Rispetto agli adulti, i bambini hanno il cranio anche più grande in relazione alle dimensioni del proprio corpo, pertanto la testa ha una probabilità maggiore di subire un trauma. Con l'aumentare dell'età, il rapporto tra la testa e le dimensioni del corpo diminuisce continuamente.

Un'altra caratteristica importante è che nei bambini è maggiore la sproporzione delle dimensioni del cranio rispetto al massiccio facciale, pertanto è incrementata la probabilità che le prime vie aeree vengano "schiacciate" da una flessione della colonna cervicale.

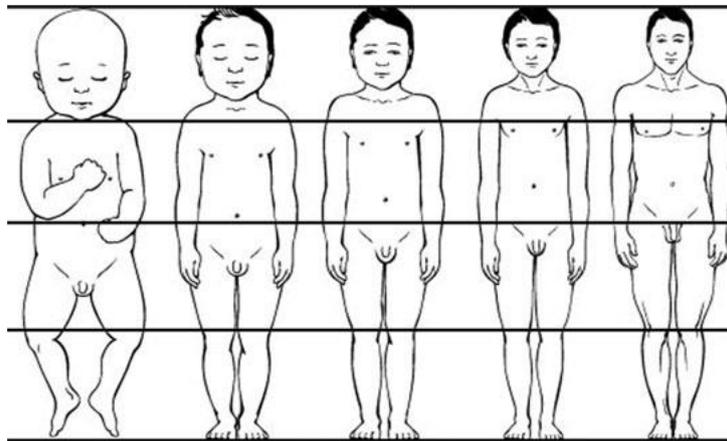
I traumi alla parte superiore del rachide cervicale sono diffusi in ogni fascia d'età mentre quelli alla parte inferiore sono diffusi dopo gli otto anni. La giunzione cranio-cervicale (CCJ) è una delle zone più colpite e spesso queste lesioni non vengono riscontrate a causa della difficile valutazione dei sintomi clinici nei bambini [5].

Rispetto alla sostanza bianca dell'adulto, quella del neonato contiene una diversa e ridotta distribuzione della mielina rendendo il cervello meno denso. Il grado di mielinizzazione provoca un diverso assorbimento delle forze traumatiche, con una maggiore suscettibilità al TBI nelle regioni non mielinizzate [6].

Durante l'infanzia vi è una maturazione cognitiva che rende il cervello del bambino più vulnerabile rispetto al cervello adulto; a differenza di questi ultimi, in cui la funzione cognitiva è stabile nel tempo, quella dei bambini continua a svilupparsi e un trauma potrebbe causare disturbi alla maturazione neuronale.

Pertanto, sono necessarie indagini più dettagliate sulla funzione cognitiva e comportamentale e come queste variano dopo una concussione, per poter definire una strategia di gestione e una valutazione più appropriata in questa fascia d'età [4].

*Figura 1 - Il rapporto tra dimensioni della testa e del corpo diminuisce dalla nascita all'età adulta, rendendo i bambini più a rischio di lesioni cerebrali traumatiche [5].*



## **Incidenza**

Negli ultimi decenni l'incidenza della concussione appare sempre più alta, probabilmente per un aumento della sua conoscenza, piuttosto che di un reale incremento dei casi [7].

Tuttavia, sembrerebbe ancora sottostimato il vero valore dei casi di commozione cerebrale pediatrica a causa di diversi fattori come la mancanza di riconoscimento dei sintomi da parte dei ragazzi, genitori e allenatori e dalla tendenza dei bambini e degli adolescenti a non lamentare la sintomatologia per paura di dover interrompere le attività sportive [8].

Lo studio dell'incidenza presenta ulteriori limitazioni: molte volte hanno come oggetto di studio solo gli studenti delle scuole superiori e college americani e si limitano agli Sport-related concussion (SRC). Si stima che avvengano tra 1,6 e 3,8 milioni di commozioni cerebrali ogni anno correlati allo sport e molti di questi sono sostenuti da studenti delle scuole superiori. Questo suggerisce che gli adolescenti sono particolarmente esposti a traumi cerebrali [9].

La stima dell'incidenza delle SRC è del 9% dei traumi sportivi nelle scuole superiori e del 6% nei college universitari [10].

Nelle SRC c'è una grande eterogeneità tra i vari sport, i diversi tipi di contatto ed equipaggiamento utilizzato, oltre al diverso range di età degli sportivi. Sembra che il meccanismo lesionale più comune sia lo scontro fra due giocatori, soprattutto nel football. La maggior parte delle lesioni ha

luogo durante le gare piuttosto che durante gli allenamenti, ad eccezione del baseball maschile, tennis e ginnastica femminile, nuoto e atletica leggera [11].

Sembrerebbe anche che le atlete femmine siano più soggette a commozione cerebrale rispetto ai maschi, in particolare nei casi di traumi a contatto con il terreno o con la palla; i maschi, invece, presentano una percentuale più elevata negli scontri contro altri giocatori. Tuttavia non sappiamo se questi siano dati coerenti o influenzati dal fatto che le ragazze sono più sincere nell'auto-segnalazione, cioè nel riportare le lesioni rispetto ai maschi (reporting bias) [12].

Un altro motivo per cui le ragazze sono più a rischio di concussione rispetto ai maschi potrebbe essere perché le femmine hanno una ridotta massa muscolare, circonferenza del collo e forza rispetto al maschio. Questa riduzione può provocare un aumento delle forze e delle accelerazioni della testa con conseguente aumento del numero di SRC [13].

I meccanismi più comuni di TBI pediatrico variano in base all'età. Nei bambini di età inferiore ai 14 anni le principali cause sono le cadute, il più delle volte legate a incidenti sportivi. Tra i 4 anni e gli 8 anni, oltre le cadute, aumentano i casi di incidenti automobilistici e quelli legati alla bicicletta. I traumi da abusi (AHT, Abusive head trauma) sono particolarmente comuni nei bambini di età inferiore ai 2 anni; circa 30 su 100.000 neonati di età inferiore a 1 anno sono stati ricoverati in ospedale per AHT [14].

*Tabella 1 – Caratteristiche delle lesioni a seconda dell'età e della causa [15]*

Neonati	- Trauma cranico alla nascita	Causato da compressione e trazione attraverso il canale del parto naturale con strumentazione ostetrica.
	- Emorragia intracranica	Un basso peso alla nascita e ipossiemia sono fattori di rischio per emorragia intracranica.
	- Ematoma cefalico - Ematoma subgaleale	
Infante	- Trauma cranico accidentale	Causato da pratiche per l'infanzia inappropriate.
	- Trauma cranico abusivo	Abusi su bambini sono la causa più comune di morte e ospedalizzazione per TBI.
Bambino	- Trauma cranico accidentale	Sempre più frequenti non appena si sviluppano le abilità

Adolescente	<ul style="list-style-type: none"><li>- Incidenti con la bicicletta o motorino</li><li>- Trauma cranico da sport</li></ul>	motorie del bambino. Grazie all'uso di seggiolini nelle macchine si è ridotta la gravità delle lesioni e la mortalità. Traumi ai pedoni sono aumentati anche in questo gruppo di età. Migliorare il concetto di importanza della prevenzione. Allenatori e giocatori di sport da contatto (judo, rugby, football americano) necessitano di una formazione sulla concussione.
-------------	--	--

## Sintomatologia

La presentazione clinica nei bambini post-concussione è estremamente variabile.

I sintomi possono essere diversi e mutare a seconda la severità e il tipo di TBI, la localizzazione della lesione e l'età del paziente al momento del trauma. Una predisposizione genetica e l'ambiente scolastico, familiare e sociale in cui vive il bambino possono essere altri fattori influenzanti, così come una storia pregressa di mal di testa, sintomi depressivi, deficit dell'attenzione e iperattività pre-lesionale [8].

I sintomi immediatamente successivi a una concussione sono confusione e/o disorientamento, può esserci amnesia post-traumatica con durata minore di 24 ore e può esserci come non esserci la perdita di coscienza, quest'ultima in genere è inferiore a 30 minuti.

Il mal di testa è uno dei sintomi più comuni dopo la commozione cerebrale, riportato dal 72% al 93% di bambini e adolescenti con commozione cerebrale o mTBI [16].

In seguito, i sintomi più frequenti che compaiono sono: difficoltà di concentrazione, nausea, disturbi del sonno e sintomi vestibolari come vertigini, visione offuscata e problemi di equilibrio.

Le lesioni alla testa, soprattutto se subite ripetutamente, possono rappresentare un rischio significativo per lo sviluppo di problemi comportamentali nei bambini [17].

Spesso lo stress emotivo, generato dal trauma, così come le restrizioni imposte alle attività fisiche durante la fase di recupero, possono generare anche sintomi depressivi come irritabilità, tristezza, ansia e labilità emotiva [18].

La depressione è probabilmente un risultato secondario della TBI pediatrica, piuttosto che un sintomo diretto della lesione stessa: la presenza di dolore, l'elevata labilità affettiva pre-lesione e uno stato socio-economico basso possono essere predittivi della comparsa dei sintomi depressivi [19].

Tra i disturbi del sonno riscontriamo difficoltà ad addormentarsi, alterazioni del ritmo circadiano, apnea notturna, ipersonnia e sonnolenza diurna [16].

Per quanto riguarda i sintomi visivi, i più frequenti sono la riduzione della vista e deficit di convergenza [20].

Un altro sintomo che compare principalmente nei bambini e negli adolescenti è l'edema cerebrale, causato da un'autoregolazione vascolare cerebrale disordinata.

La ridotta velocità di elaborazione delle informazioni, la scarsa attenzione e la funzione esecutiva compromessa, sono altri sintomi che possono manifestare alcuni bambini in seguito a traumi più gravi. Queste sono funzioni fondamentali che potrebbero compromettere lo svolgere delle attività quotidiane, acquisire nuove conoscenze e la partecipazione scolastica del bambino [4].

Molti fattori di rischio possono prevedere sequele neuro comportamentali più gravi a seguito di una concussione in particolare nei bambini più piccoli in cui il cervello è meno maturo; questi fattori di rischio sono ad esempio la presenza di disturbi cognitivi e comportamentali pre-esistenti, come iperattività, deficit dell'attenzione e sintomi depressivi pre-lesionali [21].

Secondo uno studio i disturbi comportamentali post-concussione sono più frequenti nei pazienti che hanno avuto una perdita di coscienza, sono stati ricoverati e hanno avuto un trauma con un veicolo. Inoltre i bambini sembrano essere più a rischio rispetto agli adolescenti sia perché sono più vulnerabili, meno capaci di adattarsi ai nuovi sintomi somatici e cognitivi e sia perché i genitori sono più consapevoli dei cambiamenti comportamentali nei bambini piuttosto che negli adolescenti [22].

Il deterioramento cognitivo che ne consegue può determinare, in una certa misura, un'alterazione anche a livello motorio.

Per quanto riguarda le menomazioni più comuni osservate a livello del rachide cervicale sono l'alterazione posturale, la compromissione mio fasciale, la riduzione della forza ed endurance muscolare, in particolare dei muscoli flessori del collo. Può essere presente anche una riduzione del ROM (Range of motion), sebbene dalla letteratura appare che i bambini e gli adolescenti abbiano già una mobilità della colonna cervicale inferiore rispetto agli adulti.

Inoltre, sembrerebbe che le menomazioni della mobilità segmentale colpiscano principalmente la colonna cervicale superiore (C1- C3) e che le alterazioni della mobilità dell'articolazione zigoapofisaria cervicale giochino un ruolo fondamentale nella disfunzione propriocettiva.

Le alterazioni nel senso della posizione possono contribuire ulteriormente alla formazione di sintomi quali vertigini, disequilibrio e alterazione del controllo posturale [23].

*Tabella 2 - Sintomi post concussione [24]*

Sintomi somatici	Sintomi cognitivi	Sintomi emotivi	Disturbi del sonno
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mal di testa</li> <li>- Visione offuscata</li> <li>- Vertigini</li> <li>- Fatica</li> <li>- Sonnolenza</li> <li>- Sensibilità alla luce</li> <li>- Sensibilità ai rumori</li> <li>- Problemi di equilibrio</li> <li>- Nausea o vomito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difficoltà di pensiero</li> <li>- Sensazione di rallentamento</li> <li>- Difficoltà di concentrazione</li> <li>- Difficoltà nel ricordare nuove informazioni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Irritabilità</li> <li>- Tristezza</li> <li>- Sentirsi più emotivi</li> <li>- Nervosismo e ansia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dormire più del normale</li> <li>- Dormire meno del solito</li> <li>- Difficoltà ad addormentarsi</li> </ul>

La durata dei sintomi è molto variabile e può durare da alcuni minuti, a mesi o anche più a lungo in alcuni casi rari, in particolare certi sintomi come il mal di testa [18].

Tuttavia, possiamo affermare che la maggior parte dei sintomi dovrebbe risolversi nei primi 10 giorni, fino ad un massimo di circa 4 settimane, cut-off oltre il quale si parla di recupero prolungato, per il quale i fattori predittivi non sono ancora stati chiaramente identificati [25].

Gli atleti con una storia di più di tre commozioni cerebrali, sembra che impieghino più tempo a recuperare rispetto agli atleti con una o nessuna concussione [26].

I sintomi che rimangono a lungo termine possono creare la cosiddetta "sindrome post concussiva" (PCS).

Da uno studio condotto da Kerr e al. [27] si evince che la PCS non è strettamente correlata al numero di concussioni subite, bensì alla gravità della lesione e a determinati sintomi; gli atleti con difficoltà di concentrazione, disturbi del sonno e della vista, problemi di equilibrio e sensibilità ai rumori possono avere maggiori probabilità di sviluppare PCS rispetto a quelli che non ne sono affetti e che i ragazzi del liceo sono più a rischio rispetto ai ragazzi che frequentano il college.

Oltre all'età e la severità della lesione, Blume [16] considera come fattori di rischio anche altre variabili: la presenza di precedenti concussioni, il sesso femminile, morbidità pre-esistenti come depressione, emicrania e problemi mentali e dell'apprendimento.

Per quanto riguarda i bambini, circa il 30% va incontro a una sindrome post-concussiva persistente (Persistent Post-Concussive Symptoms, PPCS), con un impatto significativo sulla qualità di vita [28]. Rispetto agli adulti pertanto, i sintomi sembrano durare più a lungo e si è visto che nei test cognitivi di reazione, scelta, memoria e nuovo apprendimento, i miglioramenti nelle prestazioni avvenivano tra i 9 e i 15 anni con cambiamenti minimi dopo questa età, in parallelo con le prestazioni degli adulti.

Infine, bisogna ricordare che i bambini possono soffrire di una serie di sequele comportamentali post concussione nonostante i normali test neuropsicologici [4].

Uno studio ha indagato la relazione tra l'eccitabilità corticale, misurata con la Stimolazione Magnetica Transcranica, e i sintomi post-concussione persistenti (confronto con un gruppo di bambini che hanno subito una concussione, ma asintomatici al momento della valutazione): il risultato è che l'inibizione corticale aumenta nei soggetti asintomatici (quindi con recupero rapido) e l'eccitabilità corticale diminuisce nei soggetti con PPCS. Entrambi i valori tendono alla normalità nel tempo, suggerendo quindi la possibilità che anche in soggetti asintomatici sia ancora in corso, a un mese dall'evento lesivo, un recupero corticale [28].

Infine, alcuni studi [26] [29] affermano che non sussiste alcuna differenza di sintomatologia tra il sesso maschile e femminile nella concussione sportiva.

Uno studio, invece, suggerisce che i maschi riferiscano più sintomi cognitivi, mentre le ragazze sintomi neuro comportamentali e somatici; inoltre sembrerebbe che le femmine abbiano bisogno di più tempo di recupero e facciano più giorni di assenza nello sport, ma non nella scuola; questo potrebbe essere perché i ragazzi riferiscono di sentirsi meglio per riuscire rientrare a giocare prima [30].

## Neuroimaging

La neuroimaging potrebbe essere un problema quando si parla di bambini, poiché spesso è richiesto un anestetico generale per ottenere immagini adeguate, sebbene gli scanner TC (tomografia computerizzata) a spirale di nuova generazione siano in grado di eseguire sequenze di scansioni estremamente rapide. In caso di emergenza, la TC è la modalità di imaging di scelta; la risonanza magnetica costituisce una seconda modalità grazie alla sua elevata sensibilità e specificità e mancanza di radiazioni, anche se risulta più costosa e può dare risultati negativi nei casi di SRC lievi [5], [7].

Tuttavia le linee guida dell'American Academy of Paediatrics affermano che non vi sono indicazioni per il loro uso, poiché non ci sono dati disponibili che dimostrino che i bambini, sottoposti alla TC dopo un trauma alla testa con perdita di coscienza, abbiano outcome diversi rispetto ai bambini che non la effettuano [4].

Pertanto, nella popolazione pediatrica è raccomandato evitare indagini strumentali se non per una Glasgow Coma Scale minore di 15 o per un sospetto di frattura cranica [31].

Le scansioni TC sono, altresì, indicate con la presenza di deficit neurologici, un peggioramento della sintomatologia e quando il meccanismo di lesione è ad alto rischio tanto da poter sospettare una emorragia intracranica. Un ulteriore studio afferma che i bambini con una perdita di coscienza maggiore di 30 secondi dovrebbero svolgere una neuroimaging a causa dell'aumentato rischio di lesione intracranica [32].

I test neuropsicologici (NP) sono spesso inseriti nella valutazione e gestione dell'atleta con commozione cerebrale. Molte linee guida sostengono l'uso dei test NP per poter prendere una decisione su quando l'atleta possa ritornare a praticare sport o nella gestione a scuola [8].

Inoltre a differenza degli adulti, dove questi test vengono svolti solo in presenza di pazienti asintomatici, nei bambini e adolescenti possono essere utilizzati anche nella fase sintomatica per prendere decisioni riguardo alla gestione del caso [3].

Il management della commozione cerebrale si è evoluto rapidamente negli ultimi 10 anni, tuttavia, sono ancora carenti le informazioni circa le linee guida nella gestione della TBI pediatrica, in particolare nei bambini più piccoli. Sicuramente possiamo affermare che la gestione di un neonato o bambino con TBI richiede un approccio multidisciplinare in ogni sua fase, dalla valutazione iniziale, già difficile da eseguire in queste fasce di età, alla diagnosi tempestiva e monitoraggio, per ridurre al minimo i danni al cervello in via di sviluppo [15].

## **Scopo dell'elaborato**

Data l'alta incidenza di traumi concussivi nei bambini e adolescenti, sono diversi gli studi in letteratura che si soffermano su questo argomento. Molti articoli analizzano i diversi gradi e classificazioni della commozione, altri indagano i sintomi che si manifestano più frequentemente come quelli psicologici e comportamentali; invece risultano ancora poco esaminati i sintomi muscolo scheletrici che possono svilupparsi in seguito alla concussione, in particolar modo nella popolazione pediatrica.

Lo scopo di questa revisione è raccogliere tutti gli studi presenti al momento in letteratura che analizzano i sintomi muscoloscheletrici nei bambini e adolescenti dopo una concussione.

Sebbene la comunità scientifica continui ad approfondire l'argomento della concussione cerebrale, si deve effettuare un'attenta analisi sulla presenza di sintomi motori che possono interferire con il recupero e la qualità della vita post concussione.

## MATERIALI E METODI

Per la stesura di questo elaborato è stato formulato un quesito a carattere eziologico:

“Quali sono i principali impairments muscolo-scheletrici nella popolazione pediatrica post-concussione?”

L’indagine è stata condotta nel marzo 2020 sulle principali banche dati biomediche quali Medline (Pubmed), Scopus e Web of Science.

Per prima cosa si individueranno tutti i sinonimi e le parole chiave ed eventuali termini MeSH, mediante una stringa di ricerca formulata secondo il principio PEO (Population, Exposition, Outcome):

*Tabella 3 - PEO*

<i>POPULATION</i>	children, child, youth, pediatric, paediatric, young, teen*, juvenil*, adolescent	AND
<i>EXPOSITION</i>	Concussion, brain concussion, post-concussion Syndrome, sport related concussion, brain injur*, traumatic brain injur*, mild traumatic brain injur*, head injur*, traumatic head injur*, tbi, mtbi	AND
<i>OUTCOME</i>	postur*, postural control, postural balance, postural evaluation, neck impairment*, deficit*, symptom*, impairment*, change*, imaging, headache, muscle injur*, neck pain, musculoskeletal pain, musculoskeletal injur	AND
	prevalence, incidence, epidemiolog*	

Per analizzare i risultati trovati tramite i tre database e creare la bibliografia dell’elaborato è stato utilizzato Zotero, un Reference management software (RMS).

Uno dei problemi concernenti lo studio in letteratura della popolazione pediatrica risulta la definizione precisa dei gruppi di età per cui applicare delle linee guida specializzate [25].

Per questo studio si è deciso di considerare una popolazione pediatrica compresa tra i 5 ed i 18 anni d'età: i bambini rientrano nel range dai 5 ai 12 anni e gli adolescenti dai 13 ai 18 anni.

**Criteri di inclusione:** sono stati selezionati solo gli articoli che analizzano sintomi muscolo scheletrici come deficit di equilibrio e disturbi nel cammino, dopo una concussione e mTBI nei bambini e adolescenti in un range di età tra 5 e 18 anni.

**Criteri di esclusione:** sono stati eliminati gli studi che indagano TBI severi con un punteggio alla Glasgow Coma Scale inferiore a 13 e sintomi quali fratture e lesioni spinali, studi su adulti e bambini in fase pre-scolare e tutti gli articoli che esaminano solo sintomi psicologici, cognitivi, comportamentali e visivi.

*Tabella 4 – Criteri di inclusione ed esclusione*

	<b>CRITERI DI INCLUSIONE</b>	<b>CRITERI DI ESCLUSIONE</b>
<b>POPOLAZIONE</b>	Bambini e adolescenti tra 6 e 18 anni	Età < 6 anni Età > 18 anni
<b>ESPOSIZIONE</b>	mTBI con GCS >13	TBI con GCS < 13, Traumatic spinal injury, fratture
<b>OUTCOME</b>	Sintomi muscolo-scheletrici	Sintomi psicologici, comportamentali, cognitivi e visivi
<b>LINGUA</b>	Inglese	Altre lingue differenti dall'inglese
<b>ANNO</b>	1950-2020	Nessuno

Saranno selezionati studi di tipo osservazionale in lingua inglese. Non è stato imposto un limite temporale alla ricerca e non sono stati presi in considerazione elaborati non ancora ultimati al momento della stesura della revisione.

Gli articoli verranno selezionati tramite titolo ed abstract, in caso di incertezza anche tramite lettura del full-text. Infine saranno analizzate le liste dei riferimenti bibliografici delle revisioni in cerca di studi sfuggiti alla nostra ricerca.

Dagli studi selezionati verranno estratti i dati di interesse per l'elaborato comprendenti paese di origine, caratteristiche del campione preso in esame, evento traumatico scatenante, modalità di conduzione delle valutazioni cliniche ed impairments rilevati.

Gli studi osservazionali inclusi nella revisione verranno qualitativamente valutati attraverso la “Newcastle-Ottawa Scale (NOS)” [33].

Tabella 5 – Operazioni di ricerca

	<b>MEDLINE</b>	<b>SCOPUS</b>	<b>WEB OF SCIENCE</b>
1	“Child”[Mesh] OR “Adolescent”[Mesh] OR “Adolescent Health”[Mesh] OR child OR children OR youth OR young OR pediatr* OR paediatr* OR adolescent OR teen* OR juvenil*	( TITLE-ABS-KEY ( child OR children OR adolescent OR youth OR young OR teen* OR juvenil* OR pediatr* OR paediatr* ) )	TOPIC: (child OR children OR adolescent OR youth OR young OR teen* OR juvenil* OR p\$ediatr*)
2	“Brain Concussion”[Mesh] OR “Post-Concussion Syndrome”[Mesh] OR “Brain Injuries”[Mesh] OR “Brain Injuries, Traumatic”[Mesh] OR concussion OR “brain concussion” OR “post-concussion Syndrome” OR “sport related concussion” OR “brain injur*” OR “traumatic brain injur*” OR “mild traumatic brain injur*” OR “head injur*” OR “traumatic head injur*” OR “TBI” OR “mTBI”	( TITLE-ABS-KEY ( concussion OR {brain concussion} OR {post-concussion Syndrome} OR {sport related concussion} OR {brain injur*} OR {traumatic brain injur*} OR {mild traumatic brain injur*} OR {head injur*} OR {traumatic head injur*} OR tbi OR mtbi ) )	TOPIC: (concussion OR (brain concussion) OR (post-concussion Syndrome) OR (sport related concussion) OR (brain injur*) OR (traumatic brain injur*) OR (mild traumatic brain injur*) OR (head injur*) OR (traumatic head injur*) OR TBI OR mTBI)
3	“Signs and Symptoms”[Mesh] OR “Postural Balance”[Mesh] OR “Proprioception”[Mesh] OR “Neck Pain”[Mesh] OR postur* OR “postural control” OR “postural balance” OR “postural evaluation” OR “neck impairment*” OR deficit* OR symptom* OR	( TITLE-ABS-KEY ( postur* OR {postural control} OR {postural balance} OR {postural evaluation} OR {neck impairment*} OR deficit* OR symptom* OR impairment* OR change* OR imaging OR headache OR {muscle injur*} OR {neck pain} OR {musculoskeletal pain} ) )	TOPIC: (postur* OR (postural control) OR (postural balance) OR (postural evaluation) OR (neck impairment*) OR deficit* OR symptom* OR impairment* OR change* OR imaging OR headache OR (muscle injur*) OR (neck pain) OR (musculoskeletal pain))

DISORDINI MUSCOLOSCHIELETRICI NEI BAMBINI ED ADOLESCENTI POST-CONCUSSIONE: REVISIONE DELLA LETTERATURA - TIMPANARO GIULIA

	impairment* OR change* OR imaging OR headache OR "muscle injur*" OR "neck pain"	OR {musculoskeletal injur*} OR musculoskeletal ) )	OR (musculoskeletal injur*) OR musculoskeletal)
4	"Musculoskeletal Pain"[Mesh] OR "Musculoskeletal System"[Mesh] OR "musculoskeletal pain" OR "musculoskeletal injur*" OR musculoskeletal	/	/
5	"Incidence"[Mesh] OR "Epidemiology"[Mesh] OR "Prevalence"[Mesh] OR Prevalence OR incidence OR epidemiolog*	( TITLE-ABS-KEY ( prevalence OR incidence OR epidemiolog* ) )	TOPIC: (Prevalence OR incidence OR epidemiolog*)
6	1 AND 2 AND 3 AND 4 AND 5	1 AND 2 AND 3 AND 5	1 AND 2 AND 3 AND 5

## RISULTATI

Per il database Pubmed è stata eseguita una ricerca avanzata con l'utilizzo di termini MeSH e Keywords. Dato l'elevato numero di risultati trovati (7580), alla stringa è stato aggiunto un successivo AND per i sinonimi dell'apparato muscolo scheletrico, in modo da limitare la ricerca solo in questo settore e un AND per la prevalenza, incidenza ed epidemiologia, ottenendo così 749 articoli.

In seguito è stato inserito un ulteriore filtro in base all'età: Ages Child: 6-12 years; Adolescent: 13-18 years, ottenendo in definitiva 573 articoli.

Nel database Scopus, tramite la ricerca avanzata, è stata formulata la stringa all'interno del campo "Article title, Abstract, Keywords" ottenendo 1163 risultati. Inserendo come filtro Subject area Health Professions i risultati sono stati limitati a 232 articoli.

Per il database Web of Science è stata effettuata una ricerca semplice per Topic e attivato il filtro Rehabilitation restringendo la ricerca da 2070 a 193 risultati.

Dall'unione degli articoli provenienti dai tre database abbiamo ottenuto 998 risultati totali; tra questi sono stati individuati ben 165 articoli presenti in duplice copia e due articoli presenti in triplice copia. Sono stati così eliminati nella prima fase 169 studi, riducendo i risultati a 829. Successivamente sono stati esclusi 506 articoli dal titolo, in quanto non erano inerenti all'argomento della ricerca. Infine leggendo l'abstract, dai 323 articoli sono stati eliminati ulteriori studi poiché non rientravano nei criteri di inclusione e sono rimasti 57 elaborati da analizzare con il full text.

Di questi, sono stati eliminati 51 articoli principalmente per inappropriata della popolazione, della tipologia del trauma o dell'outcome; spesso gli studi erano condotti su una popolazione troppo piccola, prima dell'età scolastica o troppo grande come i ragazzi dell'università; altri articoli si soffermavano su traumi cranici eccessivamente gravi, con un punteggio nella Glasgow Coma Scale minore di 13, non rientrando nelle mTBI. Altri studi analizzavano per lo più sintomi cognitivi e comportamentali senza accennare ai sintomi muscolo-scheletrici.

Infine, sono stati eliminati altri due elaborati di cui non è stato possibile recuperare il full text, ottenendo così 6 articoli.

Analizzando le liste dei riferimenti bibliografici di alcune revisioni sono stati inseriti altri 3 studi interessanti che rispettano i criteri di inclusione , per un totale di 9 articoli da inserire in revisione.

Figura 2 – Flowchart

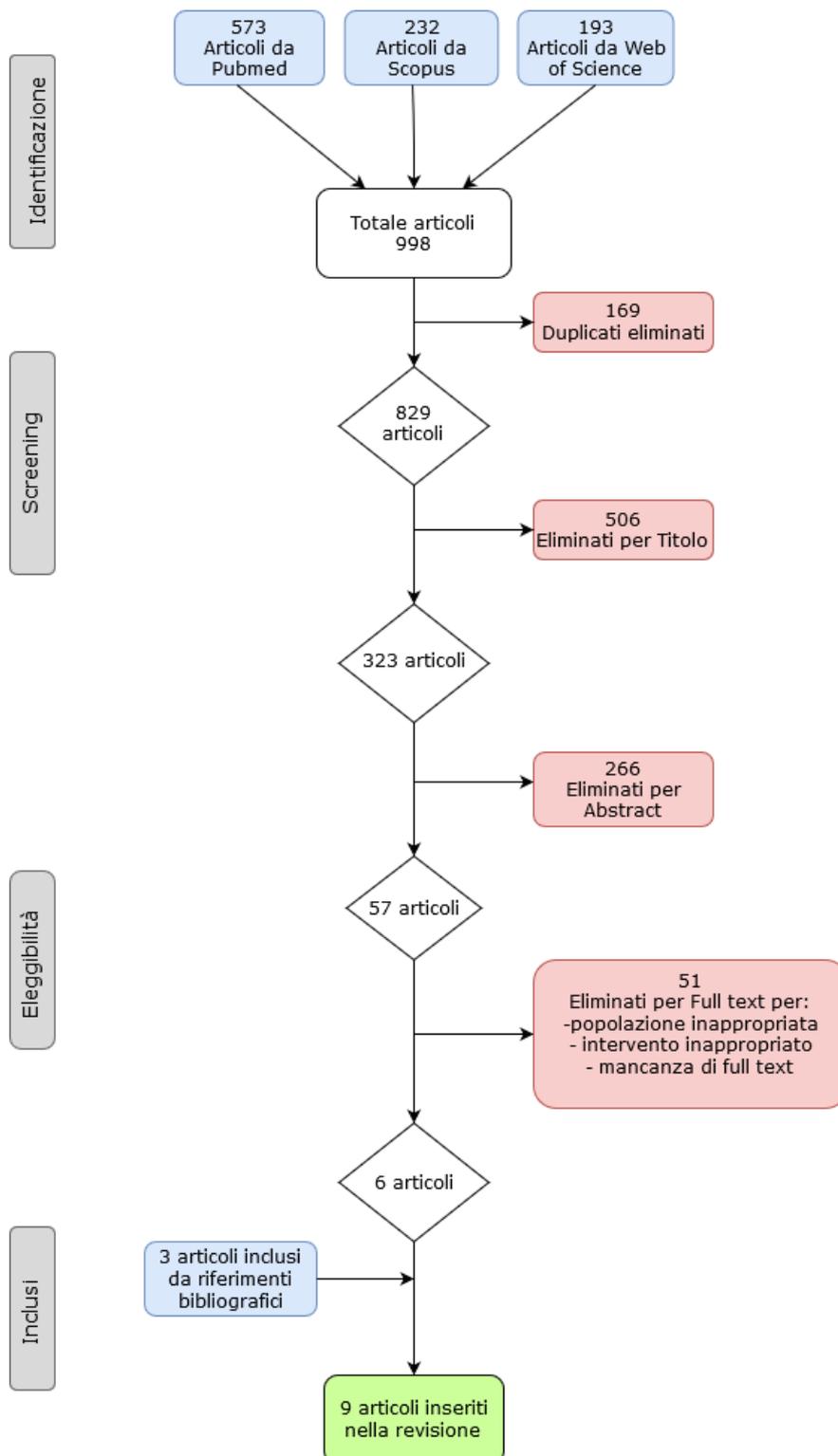


Tabella 6 – Studi inclusi nella revisione: autore con anno di pubblicazione e nazione, tipologia di studio (Cc= Caso controllo, Pr= Prospettico di coorte, Re= Retrospektivo di coorte, Tr= Trasversale, Cs= case-series), partecipanti, età dei pazienti e del gruppo controllo, focus dello studio, conclusioni dell'autore.

Autore (Anno) (Nazione)	Disegno studio	Partecipanti	Età media ± SD (Range) Anni	Focus generale dello studio	Metodi di valutazione degli impairments	Risultati	Conclusioni dell'autore
Crichton et al. (2017) (Australia) [34]	Pr	34 famiglie; 32 bambini Controllo: 259 famiglie; 209 bambini	13,2± 2,6 (8-18)  (5-18)	Determinare la presenza di fatica secondo i genitori e bambini ed esaminare le unità di misura della fatica	PedsQL Multidimensional Fatigue Scale (MFS)	Genitori: il 47% ha percepito la fatica del bambino come "grave", il 15% "borderline" e il 38% "normale". Bambini: 28% nell'intervallo "grave", 28% "borderline" e 44% "normale"	È necessario valutare l'affaticamento e i disturbi associati sonno-veglia dopo TBI infantile da entrambe le prospettive genitore e figlio
Dise-Lewis et al. (2019) (USA) [35]	Pr	77 atleti con TBI, 77 controllo abbinato, 760 contr. non abbinato	14,6±1 (13-18)	Valutare i sintomi post-concussivi e il recupero	Immediate Postconcussion Assessment and Cognitive Testing (ImpACT)	Problemi di equilibrio nel 9% dei casi, dizziness nel 26%, fatica nel 49% dei casi	Una storia precedente di TBI può condizionare i sintomi e la guarigione. Necessari altri studi
Ellis et al. (2019) (Canada) [36]	Re	266 pazienti con TBI	14,4± 2,5 (6-19)	Esaminare la prevalenza e valutazione delle lesioni cervicali	Post-Concussion Symptom Scale (PCSS),	Su 266 pazienti con SRC, 80 (il 32.5%) presentano Cervical Spine Dysfunction	Pazienti con SRC hanno diverse lesioni alla colonna cervicale che possono ritardare il recupero

Howell et al. (2013) (USA) [9]	Pr	20 pazienti con TBI e 20 gruppo controllo	15.3± 1.3 (14-18) 15,6±1 (14-17)	Esaminare gli effetti del TBI sul cammino con single e dual task	Analisi del cammino tramite marcatori e telecamere; Stroop test	I pazienti con concussione hanno meno capacità di controllare lo slancio in avanti e mantenere l'equilibrio durante il cammino; miglior accuratezza nello Stroop test per il gruppo controllo	TBI influisce sulla capacità di controllare la postura del corpo durante l'andatura fino a due mesi dopo l'infortunio.
Hugentobler et al. (2015) (USA) [37]	Cs	6 pazienti con TBI	17±2 (15-19)	Descrivere valutazione e trattamento per ciascun paziente con PCS	Balance Error Scoring System (BESS Test); Post-Concussion Symptom Scale (PCSS)	Tutti e sei i pazienti hanno riferito minore gravità dei sintomi al PCSS nelle valutazioni finali; 4 su 6 hanno ottenuto un risultato migliore al BESS test	La fisioterapia è utile nei bimbi con PCS; ma sono necessarie ulteriori ricerche per migliorare la valutazione e il trattamento
Lovell et al. (2003) (Canada) [38]	Cc	64 atleti con TBI e 24 gruppo controllo	(13-18)	Valutare la compromissione della memoria e altri sintomi e il loro recupero post TBI	ImPACT test	Il gruppo concussione ha avuto performance peggiori anche dopo 7 giorni dalla baseline	Fare attenzione ai cambiamenti dello stato mentale post concussione. Utile valutarli per decidere il ritorno al gioco
Renstrom et al. (2012) (Svezia) [39]	Cc	61 pazienti con storia di TBI pediatrico e 61	19±3 (14-24) 19,9± 2,6 (16-24)	Descrivere se e come un TBI pediatrico influenza la qualità della vita	Questionario SF-36 e un questionario complementare creato per	Il 53% riporta una riduzione della qualità dello stato di salute dopo 5-8 anni dal TBI	I giovani sperimentano effetti negativi prolungati della TBI. Necessaria altra ricerca per rilevare e supportare

		controllo		dopo 5-8 anni	questo studio	secondo SF-36. Il dolore in varie parti del corpo è stato evidenziato come il problema dominante	adeguatamente questi ragazzi.
Ryan et al. (2019) (Australia) [2]	Pr	52 pazienti che hanno avuto un TBI 15 anni prima Controllo: 147	23,59±4,1 (20-27)	Valutare correlazione tra TBI pediatrico e qualità di vita dopo 15 anni dal trauma	WHOQOL-BREF versione australiana per la HRQoL (Health-related quality of life)	Il 40.4% del gruppo concussione presenta impairments fisici (p value 0.924)	Alcuni giovani presentano una ridotta qualità di vita; trattare i fattori di rischio modificabili è importante per migliorare i sintomi a lungo termine
Tiwari et al. (2019) (USA) [23]	Tr	73 pazienti	14.6± 2.5 (8-18)	Valutare tipo, frequenza e gravità delle menomazioni cervicali nei bimbi e adolescenti dopo TBI.	Sports concussion Assessment Tool 3rd edition (SCAT-III); Neck disability index (NDI); Range of motion (ROM); Manual Muscle Test (MMT) Neck flexor endurance test (NFET); Cranio-cervical flexor test (CCFT); Joint position error test (JPET); Spurling test;	Alterazione della postura nel 99% dei casi e della mobilità articolare nel 86%, tensione mio fasciale alla palpazione nel 98%, riduzione della forza ed endurance muscolare nel 62% e alterazione della propriocezione nel 19% dei casi.	È stata osservata un'alta prevalenza di menomazioni cervicali nei soggetti. Lo studio fornisce dati per una buona valutazione fisioterapica

L'articolo che maggiormente ha analizzato e valutato a fondo i segni e sintomi muscolo-scheletrici nei bambini e negli adolescenti dopo una concussione, è quello di Tiwari e collaboratori [23].

L'alterazione posturale è l'impairment più osservato nello studio, nel ben 99% dei casi: i cambiamenti più frequenti sono proiezione in avanti della testa, cifosi toracica, tilt anteriore della scapola e modifica del ritmo scapolo-omerale. Nel 98% dei pazienti viene rilevata dolorabilità e tensione muscolare alla palpazione del trapezio, muscoli sub occipitali, paravertebrali, scaleni, elevatore della scapola e sternocleidomastoideo. Il 90% dei pazienti dimostra una diminuzione del ROM in una o più direzioni: il movimento più limitato è l'estensione cervicale (77%), seguita dall'inclinazione laterale (59%), la flessione (45%) e infine la rotazione (42%). Una percentuale più ridotta (57%) riporta anche dolore cervicale durante i movimenti. Il rachide cervicale superiore (C0-C2) è quello maggiormente colpito da ipomobilità (71%), seguito dal tratto toracico T1-T4 (60%) e la prima costa (41%). Una debolezza dei muscoli flessori è presente nel 40% dei casi, seguiti dai muscoli romboidi e trapezi. Nessun paziente presenta, invece, sintomi radicolari allo Spurling Test.

Anche l'autore Renstrom [39] ha analizzato nel suo studio i principali sintomi muscolo-scheletrici che possono svilupparsi nei bambini in seguito ad una concussione: tra quelli più riscontrati abbiamo problemi di equilibrio, dolore diffuso in varie parti del corpo, riduzione delle attività fisiche e difficoltà nel praticare attività ricreative e sport come danza, equitazione e bici. Per i partecipanti il problema dominante è il dolore percepito in varie parti del corpo: collo, testa, schiena, braccia e mascella tra quelle citate.

I pazienti riferiscono di sentirsi più stanchi e con meno energie e vitalità per svolgere le attività che vorrebbero o che erano soliti fare. Questi sintomi sono spesso presenti anche dopo alcuni anni (5-8 anni) dalla concussione pediatrica; ciò determina una riduzione della qualità della vita e diversi problemi soprattutto in ambito sociale: completare gli studi, difficoltà nel trovare lavoro, ma anche problemi di memoria e pensieri suicidi.

L'articolo di Ryan [2] si sofferma sulla qualità di vita dei ragazzi che hanno subito una concussione pediatrica 15 anni prima ed ha evidenziato come tra le menomazioni più frequenti vi sono proprio quelle riferite alle attività fisiche e le disfunzioni motorie.

Ellis e i suoi collaboratori [36] si sono soffermati sui diversi sintomi che possono comparire in seguito a uno SRC pediatrico. Vengono menzionate le disfunzioni vestibolo-oculare, neck pain, tenderness muscolare e riduzione del ROM del rachide cervicale. Sono riportati anche diversi

sintomi neurologici associati a impairment cervicale: debolezza, parestesie e intorpidimento di una o entrambe le mani.

Lo sviluppo delle CSD (cervical spine dysfunction) non era correlato all'età ma al sesso: le disfunzioni erano osservate maggiormente nelle femmine piuttosto che nel sesso maschile, probabilmente per via delle differenze di genere nella muscolatura cervicale. I pazienti con CSD erano maggiormente soggetti a manifestare disfunzioni vestibolo-oculari, avere punteggi più alti alla valutazione iniziale nella Post-Concussion Symptom Scale (PCCS) e avere un recupero ritardato.

Lo studio di Dise-Lewis [35] ha analizzato come dalla commozione cerebrale possano dipendere deficits nelle varie componenti del controllo senso-motorio: visivo, vestibolare e propriocettivo. Le lesioni cervicali, comuni negli sport ad alto impatto, potrebbero contribuire ad alterazioni che, se non trattate, possono rendere più vulnerabili gli atleti a lesioni al collo e alla testa, inclusa la concussione.

Un altro articolo ha analizzato bene il problema dell'equilibrio post concussione negli adolescenti [9]. Lo studio di Howell consisteva nel fare svolgere durante il cammino un secondo task cognitivo sia a un gruppo di adolescenti che avevano subito una concussione e sia a un gruppo di controllo. I risultati indicavano che nei ragazzi la capacità di controllo dell'equilibrio durante il cammino con dual task era alterata fino a 2 mesi dopo la concussione.

Gli adolescenti con commozione cerebrale avevano una ridotta capacità di controllare lo slancio in avanti e mantenere il controllo dell'equilibrio durante la deambulazione.

La commozione cerebrale non influiva solo sull'andatura, ma sembrava coinvolgere anche l'attenzione e la precisione delle risposte alle domande poste durante la deambulazione.

Il test dello studio aveva il compito di attivare la corteccia prefrontale, cruciale per il coordinamento dei processi mentali e l'attenzione. Queste aree cerebrali sembrano essere più suscettibili proprio nell'adolescente, quindi questi deficit potrebbero durare più a lungo rispetto a una popolazione adulta [9].

Lo studio di Hugentobler [37] afferma che i disturbi del controllo posturale possono persistere nei bambini per oltre 12 settimane. L'autore si sofferma anche sulla cefalea di tipo cervicogenica (CgH). A causa del meccanismo simile al whiplash, i pazienti con mTBI possono sviluppare una CgH, caratterizzata da una esacerbazione dei sintomi data dai movimenti del collo e dalla palpazione di muscoli sub-occipitali.

L'autore analizza anche la tolleranza all'attività motoria: durante la sua esecuzione, i pazienti possono presentare un aumento della frequenza cardiaca e una variazione della pressione arteriosa sistolica che porta a un peggioramento dei sintomi. La tolleranza all'esercizio fisico è influenzata da una risposta simpatica esagerata; tale disregolazione del sistema autonomo può essere un effetto primario del mTBI, un effetto secondario dato dalla diminuzione dei livelli di attività durante le fasi di recupero o una combinazione di entrambi.

La reintroduzione dell'attività fisica a basso livello, dopo lunghi periodi di decondizionamento, aiuta a ripristinare l'omeostasi fisiologica nel cervello e ridurre l'esacerbazione dei sintomi.

Il sintomo fatica nei bambini post concussione è stato studiato da Crichton e i suoi collaboratori [34].

La fatica, non solo fisica ma anche cognitiva, è presente anche a sei settimane dal trauma. È stata riscontrata, inoltre, una correlazione tra fatica, sintomi depressivi e disturbi del sonno. Tuttavia l'autore ha sottolineato come da altri studi si può evincere che è la fatica a determinare la depressione, quindi la relazione potrebbe essere bidirezionale.

Infine, lo studio di Lovell [38] analizza la durata dei sintomi e il ritorno allo sport. I sintomi che vengono auto-segnalati sono influenzati dalle aspettative dei pazienti e da altri processi psicologici e la loro risoluzione avviene per la maggior parte entro i 4 giorni dalla lesione. Questo studio ha trovato anche un rapporto tra il recupero della sintomatologia e la durata dell'alterazione dello stato mentale sul campo al momento della lesione. In particolare gli atleti che hanno sofferto di un'amnesia retrograda o anterograda e disorientamento per più di 5 minuti, non recuperano del tutto in una settimana dall'esordio; al contrario gli atleti, che sul campo presentano un'alterazione dello stato mentale inferiore ai 5 minuti, recuperano entro 4 giorni.

La valutazione degli studi osservazionali di coorte, caso controllo e cross-sectional inseriti nella revisione è stata effettuata tramite la scala Newcastle-Ottawa [33]. Per ogni criterio da analizzare si dirà se è soddisfatto (✓) o non soddisfatto (X). L'articolo di Hugentobler, unico case-series della revisione, presenta una bassa validità e un campione molto piccolo (n.6).

I risultati emersi dalla compilazione delle scale sono riportati nelle tabelle 7 e 8.

Tabella 7 – Valutazione degli studi di coorte. Criterio soddisfatto = ✓; criterio non soddisfatto = X

	Crichton et al. [34]	Dise-Lewis et al. [35]	Ellis et al. [36]	Howell et al. [9]	Ryan et al. [2]
Rappresentatività degli esposti	✓	✓	✓	✓	✓
Selezione dei non esposti	X	X	X	X	X
Accertamento dell'esposizione	✓	✓	✓	✓	✓
Dimostrazione che l'outcome non è presente all'inizio dello studio	✓	✓	X	✓	✓
Confrontabilità delle coorti	X	X	X	✓	X
Rilevazione dell'outcome	✓	✓	✓	✓	✓
Completezza follow up	X	X	X	✓	✓

Tabella 8 – Valutazione degli studi. Criterio soddisfatto = ✓; criterio non soddisfatto = X

<b>Caso-controllo</b>	Lovell et al. [38]	Renstrom et al. [39]	<b>Cross-sectional</b>	Tiwari et al. [23]
Definizione dei casi	✓	✓	Rappresentatività dei casi	✓
Rappresentatività dei casi	X	✓	Numero campione	✓
Selezione dei controlli	X	✓	Accertamento dell'esposizione	✓
Definizione dei controlli	✓	X	Tasso di non risposta	X
Confronto tra casi/controlli	X	X	Comparabilità fra gruppi	X
Accertamento dell'esposizione	✓	✓	Valutazione dell'outcome	✓
Stesso metodo di accertamento dell'esposizione per casi e controlli	✓	✓	Test statistici	X
Tasso di non risposta	✓	X		

## DISCUSSIONI

Dall'attuale revisione si evince che sono ancora pochi gli studi che esaminano i sintomi muscoloscheletrici in età pediatrica, in seguito ad una concussione cerebrale.

Dall'analisi degli articoli sono emersi diversi disturbi muscoloscheletrici, anche se presenti in percentuale minore rispetto a quelli cognitivi e psico-comportamentali.

Le popolazioni prese in esame, le modalità di reclutamento dei soggetti e di raccolta dati, i range di età considerati e i potenziali fattori di rischio valutati variano da uno studio all'altro.

Molti articoli inseriti in questo testo prendono in esame ragazzi che frequentano il liceo, sportivi con un'età compresa tra i 13 e i 18 anni, pertanto non si possono generalizzare tali risultati per l'intera popolazione pediatrica. Anche il sesso del campione ha una sua rilevanza: non si può giungere a una conclusione circa la prevalenza e la frequenza dei sintomi secondo il genere, poiché il campione preso in esame in ogni studio è spesso rappresentato prevalentemente dal sesso maschile.

Nei vari articoli, i sintomi sono indagati tramite metodiche e misure di outcome diversi: per alcuni lavori vengono utilizzati questionari da far auto compilare ai pazienti come il SF 36 e l'ImPACT; in altri studi vengono somministrati test motori come il Neck flexor endurance test (NFET), Cranio-cervical flexor test (CCFT) o test neuro cognitivi come lo Stroop test.

Nei diversi lavori cambia anche la modalità di reclutamento dei pazienti (ospedali, cliniche e squadre sportive liceali), i metodi e software statistici utilizzati (ANOVA, software SPSS, Stata version 13) e la presentazione dei risultati degli studi.

Pertanto i sintomi muscolo scheletrici post concussione in età pediatrica variano notevolmente a seconda degli articoli, in funzione della popolazione presa in esame, dell'età e del sesso dei soggetti, della numerosità del campione e delle metodiche utilizzate per raccogliere, analizzare e presentare i dati.

Un altro problema che si riscontra è il tipo e grado di concussione esaminata dagli autori. La definizione di TBI utilizzata nei vari studi non è univoca: alcuni autori analizzano solo i casi riguardanti i traumi sportivi [9] [35] [36], altri inseriscono oltre ai casi di mTBI ma anche traumi più gravi [2] [34] [36] [39].

Pertanto, la notevole eterogeneità dei disegni di studio e delle caratteristiche delle popolazioni prese in esame rende complessa un'analisi complessiva.

La durata dei sintomi dal momento dell'esordio è generalmente limitata alla prima settimana; nonostante ciò, alcuni disturbi sono spesso variabili e possono persistere anche per anni [2], [39]. Questo sicuramente cambia a seconda del sintomo, se fisico, psicologico o comportamentale: infatti gli studi di Ryan [2], Renstrom [39] e Dise-Lewis [35] analizzano diversi tipi di impairments, tuttavia i loro articoli sono stati comunque inseriti nella revisione perché è stato possibile estrarre i dati relativi ai soli sintomi muscoloscheletrici.

Secondo lo studio di diversi articoli [34][36][39], l'attività sportiva sembra peggiorare la sintomatologia soprattutto nella fase più acuta; tuttavia una graduale esposizione al movimento, successiva a una prima fase conservativa di riposo, potrebbe favorire un recupero completo delle prestazioni del bambino o dell'atleta adolescente [37].

La poca conoscenza dei sintomi fa sì che non siano riconosciuti e gestiti come si dovrebbe, portando a un aumento del rischio di sindrome post-concussiva, seconde lesioni e un ritorno allo sport troppo precoce.

Inoltre, una conclusione a cui possiamo giungere è che i vari deficit possono comparire in momenti diversi, ovvero la disabilità di una funzione può avere un impatto secondario sullo sviluppo di altre aree. Ad esempio, un bambino con una funzione motoria limitata potrebbe avere minori opportunità di partecipare alle attività che facilitano lo sviluppo delle abilità sociali.

Risultati concordanti sono stati riportati da Renstrom [39] e Ryan [2]: essi hanno indagato la qualità di vita delle persone che hanno avuto una concussione pediatrica rispettivamente 5-8 anni e 15 anni prima. Nei loro studi, entrambi sono giunti alla conclusione che i bambini, che hanno subito una concussione, potrebbero avere in età adulta una minore qualità di vita.

Come si evince dallo studio di Howell e dei suoi collaboratori [9], i test per la stabilità posturale e l'esame del controllo dinamico dell'equilibrio, durante la deambulazione con doppia attività, sono strumenti utili per valutare le funzioni motorie, soprattutto nei pazienti i cui segni e sintomi indicano una compromissione dell'equilibrio. Tuttavia lo studio ha un campione abbastanza piccolo e analizza solo concussioni avvenute durante traumi sportivi, in questo modo non è possibile generalizzare del tutto i risultati.

Sicuramente la valutazione più completa è quella riportata dallo studio di Tiwari e collaboratori [23]. Nel loro articolo viene spiegato dettagliatamente il lavoro svolto dai fisioterapisti sui 73 pazienti. L'esame fisico include sei grandi categorie: postura, palpazione mio fasciale, mobilità articolare (ROM e dolore), forza e resistenza muscolare (NFET, CCFT e test manuale),

propriocezione (Joint position error test) e test per i sintomi radicolari agli arti superiori (Spurling test). Lo studio ha utilizzato, come misura di outcome, anche il Neck disability index (NDI), riscontrando una disabilità nel 40% dei casi; tuttavia è importante notare che il NDI non è stato validato in soggetti di età inferiore ai 18 anni e potrebbe non rispecchiare la vera disabilità percepita dagli adolescenti. Inoltre i fisioterapisti hanno svolto la valutazione a seconda dei sintomi riferiti dai pazienti, pertanto non tutti i test sono stati condotti su sull'intero campione. Questo potrebbe avere distorto la prevalenza delle menomazioni, rappresentando eccessivamente quelle i cui test erano somministrati con più frequenza e sottorappresentando le disfunzioni identificate dai test poco effettuati. La forza muscolare è stata misurata tramite un test muscolare manuale: questo non si può considerare un metodo preciso e soprattutto ripetibile inter-operatore a differenza degli altri due strumenti utilizzati, il NFET e il CCFT.

La valutazione di radicolopatia usando solo il test Spurling, che fa parte di un cluster in realtà molto più ampio, può aver portato a una sua sottorappresentazione nel campione. Oltre alla presenza di questi bias, il disegno trasversale dello studio e l'assenza di un gruppo controllo non permettono di accertare la relazione causa-effetto delle menomazioni con la concussione; ovvero non è certo che le alterazioni cervicali non possano essere presenti anche in una popolazione non esposta al TBI.

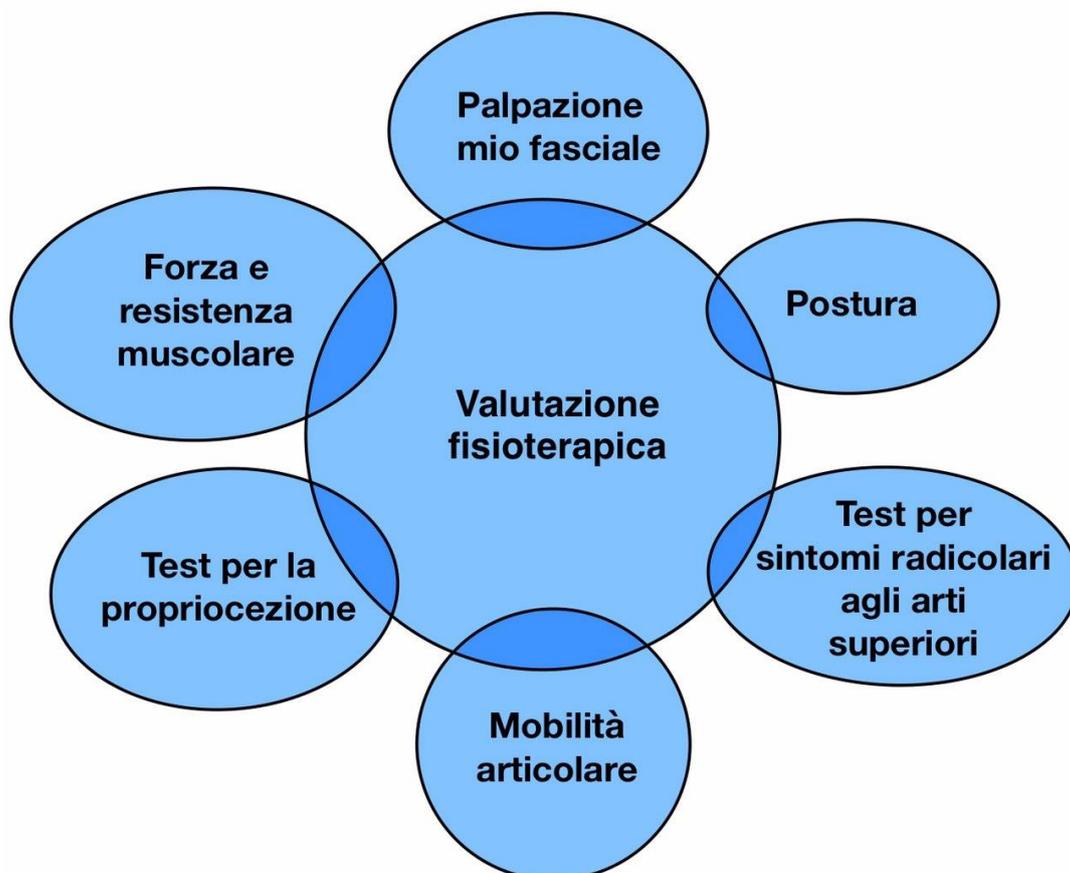
Durante le attività fisiche della vita quotidiana, un individuo deve muoversi e pensare contemporaneamente in sicurezza; le persone che soffrono di commozione cerebrale potrebbero non essere in grado di evitare pericoli durante le normali attività ed essere suscettibili a successive lesioni per un periodo prolungato dopo la concussione. Alcuni pazienti con CSD presentano anche una resistenza aerobica e tolleranza all'esercizio ridotte al treadmill test. Tutto ciò fa presupporre che la presenza di disfunzioni cervicali possa essere un fattore di rischio per lo sviluppo di una sintomatologia persistente e avere un impatto importante sull'outcome e la gestione della SRC nei bambini [9] [36].

Pertanto, con questa revisione possiamo affermare che le lesioni alla colonna cervicale possono concorrere alla formazione e al mantenimento dei sintomi della concussione come mal di testa, dolore al collo, difficoltà di concentrazione o memoria, irritabilità, disturbi del sonno e stanchezza. Alterazioni del senso di posizione, rilevabili con il Joint position error sense, possono contribuire a vertigini, disequilibrio e alterazione del controllo posturale [23].

Per un ottimale recupero sarà fondamentale la risoluzione di tali sintomi, in particolare della fatica: infatti, questa viene riscontrata frequentemente nei bambini anche a distanza di tempo dal trauma concussivo [34] [39]. L'affaticamento anormale può influenzare la riabilitazione e il ritorno a scuola e alle attività, quindi è importante valutare tale sintomo anche nella fase sub-acuta, richiedere un follow-up a lungo termine e fornire ulteriori supporti ai bambini, la cui stanchezza sta limitando la loro partecipazione e qualità della vita.

In conclusione possiamo asseverare che, data l'elevata prevalenza di menomazioni del rachide cervicale, risultano indispensabili valutazioni sulla propriocezione cervicale, il coordinamento e la stabilità posturale, in modo da poter migliorare il recupero dei giovani atleti e ridurre il rischio di ulteriori traumi.

*Figura 3 – Valutazione fisioterapica del distretto cervicale secondo Tiwari et al.[23]*



## Confronto con altri studi

Precedenti ricerche indicano come la commozione cerebrale sia una lesione multidimensionale che colpisce, non solo i processi neuropsicologici ma anche il controllo del movimento del corpo e come queste due funzioni siano associate tra loro; nonostante ciò, gli studi presenti attualmente in letteratura si concentrano per lo più sui sintomi neuropsicologici e cognitivi e pochi sono quelli che analizzano i sintomi muscoloscheletrici [40].

La maggior parte degli articoli che esaminano le disfunzioni dell'equilibrio e del cammino, riguarda i ragazzi in età universitaria o gli adulti, mentre pochissimi sono gli studi che li indagano sui bambini più piccoli.

Quello che emerge da questa revisione comunque è in linea con altri lavori sui giovani adulti come quello di Martin e al. [40] che ha esaminato le alterazioni del cammino in questa popolazione. Lo studio ha dimostrato che le persone dopo concussione avevano un rallentamento nella deambulazione e un aumentato tempo della fase di appoggio su entrambi gli arti (stance phase) e una riduzione di quella solo su un arto (swing phase) nel cammino con dual task. Risultati simili erano stati trovati da Howell [9] nel suo campione di giovani ragazzi.

Anche altri studi hanno analizzato la cinematica del cammino e della corsa, arrivando a conclusioni analoghe: il lavoro di Parker e dei suoi collaborati [41] ha trovato delle alterazioni del controllo dell'equilibrio dinamico nel cammino con dual task anche dopo 28 giorni dalla lesione sui giovani adulti. Williams e al. [42] hanno riscontrato delle modifiche nella cinematica durante la corsa svolta da adulti che hanno subito una concussione. Nello studio gli autori ritrovano, come alterazioni più frequenti durante la corsa, una cadenza più elevata, una lunghezza del passo più breve e anomalie biomeccaniche al ginocchio durante la stance phase.

I disturbi della deambulazione sono ancora più presenti nei bambini, nei quali l'andatura è meno automatica e richiede maggiore attenzione e concentrazione da parte del sistema nervoso centrale. Lo studio di Rahman [43] si sofferma proprio sulle alterazioni del cammino nei bambini, ma non è stato inserito nella revisione, in quanto alla valutazione iniziale i pazienti avevano ottenuto un punteggio inferiore a 12 nella GCS, non rientrando così nei criteri di inclusione di questo lavoro.

Le più frequenti anomalie in seguito a un TBI riscontrate nello studio di Rahman e dei suoi collaboratori sono: la velocità di andatura che appare più lenta, cadenza ridotta, lunghezze del passo più brevi; i bambini hanno, inoltre, un'aumentata variabilità dell'andatura e della lunghezza

del passo, a causa delle maggiori difficoltà nel mantenere la stabilità durante il cammino, soprattutto in contemporanea all'esecuzione di compiti più impegnativi.

La riduzione della velocità dell'andatura può riflettere adattamenti necessari da parte del bambino per aumentare la stabilità e prevenire le cadute durante il cammino.

Pertanto, il recupero verso una camminata indipendente e sicura sarà essenziale per un bambino affinché diventi indipendente e autonomo a casa e nella comunità [9] [43].

Lo studio di Herman e dei suoi collaboratori [44] conferma un altro punto saliente che è stato affrontato in questa revisione: i ragazzi che hanno subito una concussione hanno un rischio più elevato di lesione muscoloscheletrica. Anche in questo caso però, lo studio non è stato svolto nella popolazione pediatrica ma in ragazzi che frequentano il college. Probabilmente una ridotta eccitabilità della corteccia motoria può determinare un'alterazione del controllo neuromuscolare e quest'ultimo sembra essere un importante fattore di rischio per lesioni muscolo scheletriche.

La compromissione del controllo neuromuscolare con aumentato rischio di lesioni muscoloscheletriche dopo commozione cerebrale era stata analizzata anche da Brooks [45].

Dal suo studio sui ragazzi universitari, emerge che gli atleti, anche dopo 90 giorni dal trauma, hanno una probabilità 2,48 volte più alta di subire una lesione muscoloscheletrica acuta agli arti inferiori, rispetto ai loro compagni di squadra.

Dopo una concussione, le compromissioni e limitazioni nella mobilità e nelle attività come camminare possono essere presenti a lungo termine, anche durante semplici compiti come un percorso ad ostacoli. È probabile, però, che le menomazioni del controllo neuromuscolare siano accentuate soprattutto durante le attività atletiche ad alta richiesta, ad esempio in campo, durante una gara [44]. Pertanto sarà fondamentale valutare bene il ragazzo prima di farlo ritornare a giocare e metterlo a rischio di una nuova lesione.

Come hanno analizzato altri studi in precedenza [12] [30], bisogna fare attenzione che alcuni atleti minimizzano i sintomi nella speranza di un ritorno più veloce al campo di gioco; nonostante la presenza di sintomi, purtroppo alcuni ragazzi non li segnalano e continuano a praticare sport. Questo li predispone a nuove lesioni, traumi cerebrali successivi e a un prolungamento della sintomatologia.

Pertanto sarà fondamentale educare i bambini e fargli capire il rischio e il peggioramento a cui possono andare incontro se non interrompono l'attività sportiva; anche i professionisti della salute

e gli allenatori devono riflettere tantissimo prima di prendere una decisione, soprattutto quando si tratta di bambini più piccoli e meno responsabili.

La valutazione dell'equilibrio sembra essere lo strumento di misurazione principale raccomandato per monitorare il recupero e prendere decisioni circa il ritorno allo sport [46].

I bambini non dovrebbero ritornare a giocare fino a quando sono completamente asintomatici, e ciò può richiedere un periodo di tempo più lungo rispetto agli adulti.

Il riposo non deve essere solo fisico ma anche cognitivo: deve essere evitato l'uso di videogiochi, la partecipazione a scuola o altre attività stressanti. A causa della diversa risposta fisiologica e maggiori rischi specifici come il gonfiore cerebrale, è opportuno estendere il periodo di riposo, indipendentemente dal livello di prestazione atletica del bambino [3] [47].

È importante riconoscere e trattare subito i sintomi post-concussivi anche per non far cronicizzare il dolore ed evitare una sensibilizzazione centrale. Vivere con il dolore rende più difficile la concentrazione e influenza anche l'umore [39] [48].

Nello studio di Lavigne [48], i pazienti con una più alta intensità del dolore dopo mTBI avevano un rischio sei volte maggiore di sviluppare dolore cronico. Approssimativamente un paziente su cinque con mTBI progrediva verso una sintomatologia cronica: oltre a un costante mal di testa, i pazienti presentavano parestesie, allodonia e descrivevano il dolore come disestesico. Inoltre queste persone presentavano maggiormente depressione, ansia, aggressività e paranoia.

La disfunzione della modulazione del dolore può spiegare la presenza di una sintomatologia persistente e supporta l'idea di un dolore di origine centrale.

È evidente come i sintomi muscoloscheletrici siano strettamente correlati con una più alta probabilità di disabilità, per questo è importante indagarli e trattarli in seguito ad un mTBI.

Secondo lo studio di Blume [16], l'esame fisico di un bambino che ha subito una concussione dovrebbe includere sempre un esame neurologico completo, compreso lo studio della funzione dei nervi cranici; sarà fondamentale la valutazione dell'orientamento, concentrazione, memoria, coordinazione, visione e dell'equilibrio tramite lo strumento Balance Error Scoring System.

Importante sarà l'esame obiettivo del collo e delle spalle per riscontrare la presenza di dolore o tensione muscolare nel distretto cervico-scapolare.

Infine sarà fondamentale rivalutare il paziente anche a fine trattamento per decidere quando è opportuno riprendere l'attività sportiva.

Per quanto riguarda il trattamento della concussione, sappiamo che i sintomi muscoloscheletrici sembrano rispondere molto bene, anche in rapporto maggiore rispetto agli altri disturbi come quelli comportamentali e di comunicazione [49].

Sono importanti una buona idratazione e alimentazione, sonno regolare ed evitare eccessivi stress. La fisioterapia è utile nella gestione della cefalea post-concussione, in particolare in presenza di dolorabilità o tensione muscolare cervicale. L'esercizio è consigliato anche per chi ha disturbi del sonno e sintomi depressivi. La riabilitazione vestibolare è molto efficace nella gestione della concussione cerebrale, perché in grado di ridurre le vertigini e migliorare l'equilibrio e il cammino. Come è stato dimostrato nello studio di Alsalaheen e al. [50] la riabilitazione vestibolare è indicata per i pazienti sia adulti che bambini, quando vertigini e deficit di equilibrio non si risolvono spontaneamente con il riposo. Questo studio, però, non presenta una coorte non esposta al trattamento come controllo, quindi i risultati appaiono poco rilevanti.

Anche un training del cammino con single e dual task è molto valido come trattamento.

Infatti, i test per la stabilità posturale risultano alterati soprattutto quando vengono svolti ad occhi chiusi, vengono richiesti elevanti livelli di concentrazione e coordinazione o quando i pazienti devono svolgere contemporaneamente un'attività cognitiva.

Sebbene siano solo una piccola parte i giovani che sviluppano sintomi post-concussivi a lungo termine, sono essenziali ulteriori ricerche per determinare quali atleti sono a maggior rischio di disabilità dopo concussione e sviluppare le linee guida di un trattamento per minimizzare tali difficoltà e promuovere un pieno recupero dopo una concussione cerebrale [16].

Essendo il ritorno a scuola e nello sport i principali obiettivi della riabilitazione nella popolazione pediatrica, è importante coinvolgere e informare anche la famiglia, gli insegnanti e gli allenatori del bambino o adolescente; inoltre sarà fondamentale il loro supporto affinché i bambini riescano a superare il momento difficile che stanno attraversando. Secondo lo studio di Renstrom et al. [39] il 24% dei pazienti riferisce una mancanza di supporto da parte dei propri amici, associato a sentimenti di solitudine, pensieri suicidi e disperazione. Educando e istruendo le persone che vivono attorno al ragazzo, è possibile ottenere una loro piena collaborazione in modo che sia garantita una gestione completa ed efficace del caso.

## Limiti

Va precisato che la presente revisione mostra alcuni limiti di carattere metodologico, conseguente al fatto che la selezione e l'analisi della bibliografia è stata condotta da un solo revisore e non è stata effettuata un'analisi quantitativa dei dati raccolti ma solo un'analisi qualitativa. Inoltre, il numero degli articoli inseriti nella revisione è ridotto e le caratteristiche dei disegni di studio e dei campioni esaminati sono eterogenee, rendendo i risultati difficilmente confrontabili.

## CONCLUSIONI

La presente revisione ha indagato lo sviluppo e le caratteristiche dei sintomi muscoloscheletrici nei bambini e adolescenti dopo una concussione cerebrale.

Sebbene gli studi inseriti in questo elaborato siano pochi e sia necessario usare cautela nel trarre conclusioni, l'analisi dei dati ha consentito di dedurre alcune informazioni salienti: i sintomi muscoloscheletrici sono poco studiati probabilmente per la loro bassa prevalenza, hanno una durata variabile da due giorni a una settimana, ma alcuni disturbi possono perdurare anche per più tempo. I sintomi più frequenti sono deficit dell'equilibrio, fatica, dolore cervicale, alterazioni nella cinematica del cammino soprattutto con dual task.

La qualità della vita dei giovani adulti, che hanno subito in età pediatrica una concussione cerebrale, risulta essere più disagiata rispetto ai loro coetanei.

L'ipotesi del coinvolgimento del rachide cervicale nei sintomi post-mTBI e nella PCS è supportata da prove crescenti e sempre più evidenti: essendo ancora poco studiati, i sintomi vengono riconosciuti più difficilmente e possono evolversi in una sindrome post-concussiva.

Dagli articoli emerge che gli impairments del distretto cervicale potrebbero essere correlati alla presenza di mal di testa e di altri sintomi persistenti. Inoltre, i deficit che permangono a lungo possono avere un impatto negativo anche in altri ambiti come quello sociale e sportivo.

Il mTBI è una lesione complessa e deve essere gestita da un'equipe multidisciplinare di medici e specialisti della riabilitazione: dopo un trauma cerebrale nei bambini e adolescenti, sarà indispensabile uno studio approfondito del caso e una valutazione fisioterapica analizzando anche gli impairments cervicali e la cinematica del cammino, in modo da poter tracciare un piano riabilitativo adeguato.

Per la gestione e il trattamento del TBI sono disponibili pochi articoli in letteratura, tuttavia alcuni di questi mostrano risultati importanti sulla terapia manuale cervicale e su programmi di esercizi specifici. Un graduale e lento approccio al movimento, una riabilitazione vestibolare e un training del cammino con dual task sembrano i trattamenti più idonei per gestire e curare i disturbi muscoloscheletrici e permettere ai bambini una qualità di vita migliore possibile.

Data la poca presenza di studi sui sintomi muscoloscheletrici nella popolazione pediatrica, è auspicabile che in futuro la letteratura scientifica si evolva: è necessario che siano svolte delle

analisi più approfondite sui disturbi muscoloscheletrici post-TBI e venga indagata l'evoluzione nel tempo di tali sintomi, possibilmente tramite studi longitudinali.

Infine, sono necessarie ulteriori ricerche per stabilire una valutazione complessiva adeguata e determinare le linee guida per i trattamenti fisioterapici. La valutazione e la riabilitazione del distretto cervicale e degli impairments muscoloscheletrici rappresentano un passo importante per il miglioramento della gestione del mTBI nei bambini e negli adolescenti.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] CDC, «National Center for Injury Prevention and Control - Home Page|Injury Center|CDC», *Centers for Disease Control and Prevention*, mar. 09, 2020. <https://www.cdc.gov/injury/index.html> (consultato apr. 05, 2020).
- [2] N. P. Ryan, K. Noone, C. Godfrey, E. N. Botchway, C. Catroppa, e V. Anderson, «Young adults' perspectives on health-related quality of life after paediatric traumatic brain injury: A prospective cohort study», *Ann. Phys. Rehabil. Med.*, vol. 62, n. 5, pagg. 342–350, set. 2019, doi: 10.1016/j.rehab.2019.06.014.
- [3] P. McCrory *et al.*, «Consensus statement on concussion in sport: The 3rd International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2008», *Br. J. Sports Med.*, vol. 43, n. SUPPL. 1, pagg. i76–i84, 2009, doi: 10.1136/bjism.2009.058248.
- [4] P. McCrory, A. Collie, V. Anderson, e G. Davis, «Can we manage sport related concussion in children the same as in adults?», *Br. J. Sports Med.*, vol. 38, n. 5, pagg. 516–519, ott. 2004, doi: 10.1136/bjism.2004.014811.
- [5] P. S. Pinto, A. Poretti, A. Meoded, A. Tekes, e T. A. G. M. Huisman, «The unique features of traumatic brain injury in children. Review of the characteristics of the pediatric skull and brain, mechanisms of trauma, patterns of injury, complications and their imaging findings--part 1.», *J. Neuroimaging Off. J. Am. Soc. Neuroimaging*, vol. 22, n. 2, pagg. e1–e17, apr. 2012, doi: 10.1111/j.1552-6569.2011.00688.x.
- [6] W. Goldsmith e J. Plunkett, «A biomechanical analysis of the causes of traumatic brain injury in infants and children», *Am. J. Forensic Med. Pathol.*, vol. 25, n. 2, pagg. 89–100, giu. 2004, doi: 10.1097/01.paf.0000127407.28071.63.
- [7] D. W. Currie, M. J. Kraeutler, J. B. Schrock, E. C. McCarty, e R. D. Comstock, «Time Trends in Concussion Symptom Presentation and Assessment Methods in High School Athletes», *Am. J. Sports Med.*, vol. 45, n. 14, pagg. 3368–3373, 2017, doi: 10.1177/0363546517725068.
- [8] A. M. Karlin, «Concussion in the pediatric and adolescent population: "Different population, different concerns"», *PM R*, vol. 3, n. 10 SUPPL. 2, pagg. S369–S379, 2011, doi: 10.1016/j.pmrj.2011.07.015.
- [9] D. R. Howell, L. R. Osternig, e L.-S. Chou, «Dual-Task Effect on Gait Balance Control in Adolescents With Concussion», *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 94, n. 8, pagg. 1513–1520, ago. 2013, doi: 10.1016/j.apmr.2013.04.015.
- [10] T. Pfister, K. Pfister, B. Hagel, W. A. Ghali, e P. E. Ronksley, «The incidence of concussion in youth sports: a systematic review and meta-analysis», *Br. J. Sports Med.*, vol. 50, n. 5, pagg. 292–297, mar. 2016, doi: 10.1136/bjsports-2015-094978.
- [11] K. L. O'Connor, M. M. Baker, S. L. Dalton, T. P. Dompier, S. P. Broglio, e Z. Y. Kerr, «Epidemiology of sport-related concussions in high school athletes: National athletic treatment, injury and outcomes network (NATION), 2011-2012 through 2013-2014», *J. Athl. Train.*, vol. 52, n. 3, pagg. 175–185, 2017, doi: 10.4085/1062-6050-52.1.15.
- [12] R. W. Dick, «Is there a gender difference in concussion incidence and outcomes?», *Br. J. Sports Med.*, vol. 43, n. Suppl 1, pagg. i46–i50, mag. 2009, doi: 10.1136/bjism.2009.058172.
- [13] A. C. Bretzin *et al.*, «Sex Differences in the Clinical Incidence of Concussions, Missed School Days, and Time Loss in High School Student-Athletes: Part 1», *Am. J. Sports Med.*, vol. 46, n. 9, pagg. 2263–2269, 2018, doi: 10.1177/0363546518778251.

- [14] H. T. Keenan, D. K. Runyan, S. W. Marshall, M. A. Nocera, D. F. Merten, e S. H. Sinal, «A Population-Based Study of Inflicted Traumatic Brain Injury in Young Children», *JAMA*, vol. 290, n. 5, pagg. 621–626, ago. 2003, doi: 10.1001/jama.290.5.621.
- [15] T. ARAKI, H. YOKOTA, e A. MORITA, «Pediatric Traumatic Brain Injury: Characteristic Features, Diagnosis, and Management», *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*, vol. 57, n. 2, pagg. 82–93, feb. 2017, doi: 10.2176/nmc.ra.2016-0191.
- [16] H. K. Blume, S. Lucas, e K. R. Bell, «Subacute Concussion-Related Symptoms in Youth», *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.*, vol. 22, n. 4, pag. 665+, nov. 2011, doi: 10.1016/j.pmr.2011.08.007.
- [17] J. Liu e L. Li, «Parent-reported mild head injury history and behavioural performance in children at 6 years», *BRAIN Inj.*, vol. 27, n. 11, pagg. 1263–1270, ott. 2013, doi: 10.3109/02699052.2013.804205.
- [18] W. P. Meehan, «Medical Therapies for Concussion», *Clin. Sports Med.*, vol. 30, n. 1, pagg. 115–ix, gen. 2011, doi: 10.1016/j.csm.2010.08.003.
- [19] C. L. Durish, R. S. Pereverseff, e K. O. Yeates, «Depression and Depressive Symptoms in Pediatric Traumatic Brain Injury: A Scoping Review», *J. HEAD TRAUMA Rehabil.*, vol. 33, n. 3, pagg. E18–E30, giu. 2018, doi: 10.1097/HTR.0000000000000343.
- [20] G. Poggi *et al.*, «Visual disorders after traumatic brain injury in developmental age», *BRAIN Inj.*, vol. 14, n. 9, pagg. 833–845, set. 2000, doi: 10.1080/0269905000421930.
- [21] M. W. Kirkwood, K. O. Yeates, H. G. Taylor, C. Randolph, M. McCrea, e V. A. Anderson, «MANAGEMENT OF PEDIATRIC MILD TRAUMATIC BRAIN INJURY: A NEUROPSYCHOLOGICAL REVIEW FROM INJURY THROUGH RECOVERY», *Clin. Neuropsychol.*, vol. 22, n. 5, pagg. 769–800, set. 2008, doi: 10.1080/13854040701543700.
- [22] H. G. Taylor *et al.*, «Symptoms of Persistent Behavior Problems in Children with Mild Traumatic Brain Injury», *J. Head Trauma Rehabil.*, vol. 30, n. 5, pagg. 302–310, 2015, doi: 10.1097/HTR.0000000000000106.
- [23] D. Tiwari, A. Goldberg, A. Yorke, G. F. Marchetti, e B. Alsalaheen, «CHARACTERIZATION OF CERVICAL SPINE IMPAIRMENTS IN CHILDREN AND ADOLESCENTS POST-CONCUSSION», *Int. J. Sports Phys. Ther.*, vol. 14, n. 2, pagg. 282–295, apr. 2019.
- [24] Committee on Sports-Related Concussions in Youth, Board on Children, Youth, and Families, Institute of Medicine, e National Research Council, *Sports-Related Concussions in Youth: Improving the Science, Changing the Culture*. Washington (DC): National Academies Press (US), 2014.
- [25] P. McCrory *et al.*, «Consensus statement on concussion in sport—the 5th international conference on concussion in sport held in Berlin, October 2016», *Br. J. Sports Med.*, vol. 51, n. 11, pagg. 838–847, giu. 2017, doi: 10.1136/bjsports-2017-097699.
- [26] T. Covassin, R. Moran, e K. Wilhelm, «Concussion symptoms and neurocognitive performance of high school and college athletes who incur multiple concussions», *Am. J. Sports Med.*, vol. 41, n. 12, pagg. 2885–2889, 2013, doi: 10.1177/0363546513499230.
- [27] Z. Y. Kerr *et al.*, «Factors associated with post-concussion syndrome in high school student-athletes», *J. Sci. Med. Sport*, vol. 21, n. 5, pagg. 447–452, 2018, doi: 10.1016/j.jsams.2017.08.025.
- [28] R. King, A. Kirton, E. Zewdie, T. A. Seeger, P. Ciechanski, e K. M. Barlow, «Longitudinal Assessment of Cortical Excitability in Children and Adolescents With Mild Traumatic Brain Injury and Persistent Post-concussive Symptoms», *Front. Neurol.*, vol. 10, 2019, doi: 10.3389/fneur.2019.00451.

- [29] B. L. Brooks, M. Mrazik, K. M. Barlow, C. D. McKay, W. H. Meeuwisse, e C. A. Emery, «Absence of differences between male and female adolescents with prior sport concussion», *J. Head Trauma Rehabil.*, vol. 29, n. 3, pagg. 257–264, 2014, doi: 10.1097/HTR.000000000000016.
- [30] L. J. Frommer, K. K. Gurka, K. M. Cross, C. D. Ingersoll, R. D. Comstock, e S. A. Saliba, «Sex differences in concussion symptoms of high school athletes», *J. Athl. Train.*, vol. 46, n. 1, pagg. 76–84, 2011, doi: 10.4085/1062-6050-46.1.76.
- [31] A. Lumba-Brown *et al.*, «Centers for Disease Control and Prevention Guideline on the Diagnosis and Management of Mild Traumatic Brain Injury Among Children.», *JAMA Pediatr.*, vol. 172, n. 11, pag. e182853, nov. 2018, doi: 10.1001/jamapediatrics.2018.2853.
- [32] M. Fung, B. Willer, D. Moreland, e J. J. Leddy, «A proposal for an evidenced-based emergency department discharge form for mild traumatic brain injury», *Brain Inj.*, vol. 20, n. 9, pagg. 889–894, ago. 2006, doi: 10.1080/02699050600831934.
- [33] «Ottawa Hospital Research Institute». [http://www.ohri.ca/programs/clinical\\_epidemiology/oxford.asp](http://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp) (consultato apr. 08, 2020).
- [34] A. J. Crichton *et al.*, «Prediction of multidimensional fatigue after childhood brain injury», *J. Head Trauma Rehabil.*, vol. 32, n. 2, pagg. 107–116, 2017, doi: 10.1097/HTR.0000000000000248.
- [35] J. E. Dize-Lewis *et al.*, «The Natural History of Postconcussion Recovery Among High School Athletes», *J. HEAD TRAUMA Rehabil.*, vol. 34, n. 5, SI, pagg. E36–E44, ott. 2019, doi: 10.1097/HTR.0000000000000469.
- [36] M. J. Ellis, P. J. McDonald, A. Olson, J. Koenig, e K. Russell, «Cervical Spine Dysfunction Following Pediatric Sports-Related Head Trauma», *J. HEAD TRAUMA Rehabil.*, vol. 34, n. 2, SI, pagg. 103–110, apr. 2019, doi: 10.1097/HTR.0000000000000411.
- [37] J. A. Hugentobler, M. Vegh, B. Janiszewski, e C. Quatman-Yates, «PHYSICAL THERAPY INTERVENTION STRATEGIES FOR PATIENTS WITH PROLONGED MILD TRAUMATIC BRAIN INJURY SYMPTOMS: A CASE SERIES», *Int. J. Sports Phys. Ther.*, vol. 10, n. 5, pagg. 676–689, ott. 2015.
- [38] M. R. Lovell *et al.*, «Recovery from mild concussion in high school athletes», *J. Neurosurg.*, vol. 98, n. 2, pagg. 296–301, feb. 2003, doi: 10.3171/jns.2003.98.2.0296.
- [39] B. Renstrom, K. Soderman, E. Domellof, e I. Emanuelson, «Self-reported health and influence on life situation 5-8 years after paediatric traumatic brain injury», *BRAIN Inj.*, vol. 26, n. 12, pagg. 1405–1414, nov. 2012, doi: 10.3109/02699052.2012.694559.
- [40] D. N. Martini *et al.*, «The chronic effects of concussion on gait», *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 92, n. 4, pagg. 585–589, apr. 2011, doi: 10.1016/j.apmr.2010.11.029.
- [41] T. M. Parker, L. R. Osternig, P. van Donkelaar, e L. Chou, «Recovery of cognitive and dynamic motor function following concussion», *Br. J. Sports Med.*, vol. 41, n. 12, pagg. 868–873, dic. 2007, doi: 10.1136/bjism.2006.033761.
- [42] G. Williams, A. Schache, e M. E. Morris, «Running abnormalities after traumatic brain injury», *Brain Inj.*, vol. 27, n. 4, pagg. 434–443, 2013, doi: 10.3109/02699052.2012.750754.
- [43] R. A. A. Rahman, F. Rafi, F. A. Hanapiah, A. W. Nikmat, N. A. Ismail, e H. Manaf, «Effect of Dual-Task Conditions on Gait Performance during Timed Up and Go Test in Children with Traumatic Brain Injury», *Rehabil. Res. Pract.*, 2018, doi: 10.1155/2018/2071726.
- [44] D. C. Herman *et al.*, «Concussion May Increase the Risk of Subsequent Lower Extremity Musculoskeletal Injury in Collegiate Athletes», *Sports Med.*, vol. 47, n. 5, pagg. 1003–1010, 2017, doi: 10.1007/s40279-016-0607-9.

- [45] M. A. Brooks, K. Peterson, K. Biese, J. Sanfilippo, B. C. Heiderscheit, e D. R. Bell, «Concussion Increases Odds of Sustaining a Lower Extremity Musculoskeletal Injury after Return to Play among Collegiate Athletes», *Am. J. Sports Med.*, vol. 44, n. 3, pagg. 742–747, 2016, doi: 10.1177/0363546515622387.
- [46] A. Cripps e S. C. Livingston, «The value of balance-assessment measurements in identifying and monitoring acute postural instability among concussed athletes», *J. Sport Rehabil.*, vol. 22, n. 1, pagg. 67–71, feb. 2013, doi: 10.1123/jsr.22.1.67.
- [47] K. M. Guskiewicz e T. C. V. McLeod, «Pediatric Sports-related Concussion», *PM&R*, vol. 3, n. 4, pagg. 353–364, apr. 2011, doi: 10.1016/j.pmrj.2010.12.006.
- [48] G. Lavigne, S. Khoury, J.-M. Chauny, e A. Desautels, «Pain and sleep in post-concussion/mild traumatic brain injury», *Pain*, vol. 156 Suppl 1, pagg. S75-85, apr. 2015, doi: 10.1097/j.pain.000000000000111.
- [49] I. Emanuelson *et al.*, «Early community outreach intervention in children with acquired brain injury», *Int. J. Rehabil. Res. Int. Z. Rehabil. Rev. Int. Rech. Readaptation*, vol. 26, n. 4, pagg. 257–264, dic. 2003, doi: 10.1097/00004356-200312000-00002.
- [50] B. A. Alsalaheen *et al.*, «Vestibular rehabilitation for dizziness and balance disorders after concussion», *J. Neurol. Phys. Ther. JNPT*, vol. 34, n. 2, pagg. 87–93, giu. 2010, doi: 10.1097/NPT.0b013e3181dde568.