



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. 2022/2023

Campus Universitario di Savona

**“SPONDILOLISI E SPONDILOLISTESI NEL GIOVANE SPORTIVO:
FATTORI DI RISCHIO, EPIDEMIOLOGIA E MECCANISMI
TRAUMATICI. REVISIONE SISTEMATICA DELLA
LETTERATURA.”**

Candidato:

Pretto Sebastiano

Relatrice:

Monica Erbesato

1.	INTRODUZIONE	7
1.1	La Spondilolisi e Spondilolistesi: definizioni	7
1.2	Classificazione	7
1.3	Epidemiologia	13
1.4	Patofisiologia, decorso naturale e fattori di rischio	14
1.4.1	Patogenesi e decorso naturale	14
1.4.2	Fattori di rischio di insorgenza e progressione	16
1.5	Diagnosi radiografica e diagnosi clinica	18
1.6	Presentazione clinica	20
1.7	Imaging	21
1.8	Trattamento conservativo e chirurgia	23
1.8.1	Trattamento conservativo	23
1.8.2	Trattamento chirurgico	24
1.9	Spondilolisi-listesi nei giovani sportivi: Key points	27
2.	MATERIALI E METODI DI RICERCA	30
2.1.	Strategie di ricerca	30
2.2.	Pubmed	30
2.2.1.	Web of Science	35
2.2.2.	PEDro	36
2.3.	Stringhe di ricerca	38
2.3.1.	Pubmed	38
2.3.2.	Web of science	40
2.3.3.	PEDro	41
2.4.	Criteri di eleggibilità e tipologia di studi esaminati	41
2.5.	Processo di selezione degli articoli	42
2.6.	Valutazione metodologica degli studi	43
3.	RISULTATI	48
3.1.	Selezione degli studi	48
3.1.1.	PUBMED	48
3.1.2.	WEB OF SCIENCE	48
3.1.3.	PEDRO	49
3.2.	Flow-chart selezione articoli	49
3.3.	Studi inclusi nella revisione	50
3.3.1.	Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: fattori di rischio	51
3.3.2.	Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: epidemiologia	56

3.3.3.	Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: meccanismi traumatici	58
3.4.	Valutazione metodologica degli studi	58
3.5.	Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: fattori di rischio	60
3.5.1.	Movimenti ripetuti sport-specifici	61
3.5.2.	Attività sportiva, agonistica e non agonistica	67
3.5.3.	Altri fattori di rischio	71
3.6.	Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: epidemiologia	77
3.7.	Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: meccanismi traumatici	82
4.	DISCUSSIONE	84
4.1.	Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: fattori di rischio	84
4.1.1.	Movimenti ripetuti sport-specifici	84
4.1.2.	Attività sportiva, agonistica e non agonistica	88
4.1.3.	Altri fattori di rischio	90
4.2.	Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: epidemiologia	99
4.3.	Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: meccanismi traumatici	104
5.	CONCLUSIONI	107
6.	BIBLIOGRAFIA	109
7.	APPENDICE	125

ABSTRACT

Background: La spondilolisi è un difetto osseo della pars vertebrale (detta anche istmo), senza scivolamento di essa. Questa patologia rimane maggiormente rappresentata e studiata a livello lombare. La spondilolistesi è definita come lo spostamento anteriore, laterale o posteriore del corpo vertebrale rispetto alla vertebra sottostante. Essa è spesso diretta conseguenza di una spondilolisi bilaterale. L'incidenza della spondilolisi lombare nella popolazione generale è stimata intorno al 6-8% , ma raggiunge il 63% in chi pratica determinate attività sportive. Nella popolazione pediatrica e adolescenziale la prevalenza varia dal 4,4 al 4,7%. Questo dato è notevolmente influenzato dall'attività sportiva svolta, con picchi negli sport ad alta intensità. È per tali motivazioni che in letteratura si è indagato in maniera approfondita il possibile legame fra attività sportiva in età adolescenziale e la comparsa di spondilolisi e spondilolistesi.

Obiettivi dello studio: il seguente elaborato si propone di indagare epidemiologia, fattori di rischio e meccanismi traumatici alla base dello sviluppo di spondilolisi e spondilolistesi.

Materiali e Metodi: Tra ottobre 2022 e maggio 2023 è stata condotta una revisione sistematica della letteratura, con lo scopo di rispondere al seguente quesito di ricerca: “quali sono i fattori di rischio, l'epidemiologia ed i meccanismi traumatici associati alla comparsa di spondilolisi e/o spondilolistesi nella popolazione sportiva di adolescenti e giovani adulti, amatori e professionisti?”. È stato utilizzato il formato PEO: P= atleti adolescenti e giovani adulti, sia professionisti che amatori, E= fattori di rischio, eziologia e meccanismi traumatici, O= Sviluppo di spondilolisi- spondilolistesi.

I fattori di esposizione non sono invece stati divisi, al fine di non rendere troppo eterogenea la ricerca. La selezione degli articoli è stata effettuata in modo stratificato e progressivo. Gli articoli inclusi all'interno dello studio saranno valutati metodologicamente tramite l'utilizzo dello strumento STROBE.

Risultati: i risultati ottenuti all'interno dei singoli database sono stati i seguenti: 736 articoli su PubMed, 390 su Web of Science e 58 su PEDro. Solamente 13 studi sono risultati idonei ad essere inclusi secondo i criteri previsti dalla metodologia stabilita. Di questi articoli, 10 hanno indagato in modo specifico i fattori di rischio associati alla spondilolisi-listesi, 2 l'epidemiologia della patologia e solo uno ha sviluppato considerazioni riguardanti i meccanismi traumatici.

Discussione: Diversi studi hanno riportato che gesti sport-specifici peculiari, lo sport in generale, (indipendentemente dalla tipologia e dal livello), ed alcuni parametri anatomo-antropometrici

dell'atleta (rigidità della muscolatura degli arti inferiori, un angolo sacrale più ampio, un angolo di lordosi minore, basso grado di maturità scheletrica, sesso maschile) possano essere considerati fattori di rischio per lo sviluppo di spondilolisi e listesi nella popolazione di giovani sportivi. Tuttavia, l'attendibilità dei risultati ottenuti nella revisione sono discretamente influenzati dalla presenza di svariati bias che limitano l'acquisizione di tali informazioni. In primo luogo, una potenziale variazione regionale basata sulla popolarità dell'attività sportiva praticata è un fattore limitante nell'interpretazione dei dati estrapolabili dagli studi riportati. In secondo luogo, buona parte dei dati riportati è stata ricavata da studi con campione molto ristretto e specifico e questo limite deve essere assolutamente considerato qualora si volesse discutere la possibilità di generalizzare i dati ottenuti in contesti diversi e più ampi rispetto a quelli di studio.

Conclusioni: Sebbene in misura non attendibile, poiché limitato dalla qualità delle evidenze raccolte, l'indagine è riuscita a rispondere al quesito di ricerca posto inizialmente. Nello specifico è emerso che lo sport in generale, i movimenti ripetuti effettuati nella pratica di diversi sport (quali cricket, tennis, hockey e ginnastica artistica), alcuni fattori intrinseci (parametri antropometrici, rigidità muscolare, sesso ed età, maturità ossea) ed estrinseci (tipo di sport, quantità settimanale, livello agonistico) sembrano essere correlati allo sviluppo di problematiche di spondilolisi e spondilolistesi. Futuri studi sono necessari al fine di estrapolare ulteriori dati per avvalorare in maniera più precisa ed approfondita la tesi proposta nel presente lavoro di revisione.

1. INTRODUZIONE

1.1 La Spondilolisi e Spondilolistesi: definizioni.

La spondilolisi è un difetto osseo della pars vertebrale (detta anche istmo), senza scivolamento di essa. L'istmo rappresenta la giunzione tra processo articolari vertebrali, lamine e peduncolo della vertebra. Nonostante la letteratura riporti una buona casistica di spondilolisi cervicale, questa patologia rimane senza ombra di dubbio maggiormente rappresenta e studiata a livello lombare [1].

Tale difetto può verificarsi unilateralmente o bilateralmente [1,2], con preponderanza bilaterale (circa 80 % dei casi), a discapito di una presentazione unilaterale registrata solo nel 16 -20% dei casi [1, 31]. Nella spondilolisi unilaterale vi è una maggiore possibilità di guarigione ossea rispetto alle lesioni bilaterali [3].

La spondilolistesi è definita come lo spostamento anteriore, laterale o posteriore del corpo vertebrale rispetto alla vertebra sottostante. Essa è spesso diretta conseguenza di una spondilolisi bilaterale [2]. Generalmente, per anterolistesi intende uno scivolamento anteriore della vertebra olistesica, mentre è molto meno probabile uno scivolamento in senso dorsale. In tal caso, si parlerà di retrolistesi [1].

La spondilolistesi vertebrale può essere suddivisa in due macrocategorie sulla base del meccanismo di insorgenza: lo scivolamento correlato a traumatismi acuti, associato o meno a difetti articolari congeniti preesistenti; oppure uno scivolamento dovuto a cause degenerative, senza meccanismi traumatici importanti scatenanti, ma più associato alla presenza di una spondilolisi, spesso bilaterale, peggiorata e progredita nel tempo [2].

Le forme traumatiche sono particolarmente frequenti nei bambini/adolescenti che praticano sport, soprattutto se agonistico e con elevati carichi in estensione del rachide. [23]

La spondilolisi e la spondilolistesi sono spesso asintomatiche, ma possono anche essere causa di dolori alla schiena, instabilità e radicolopatia che richiedono un trattamento specifico. La diagnostica per immagini è necessaria per la diagnosi della spondilolistesi [1].

1.2 Classificazione

Esistono diversi sistemi di classificazione utilizzati per la spondilolisi-listesi.

Wiltse e Newman hanno suddiviso la spondilolistesi in 5 tipi sulla base del fattore causale dello scivolamento (Tabella 1). Il tipo I (displasico) è causato da un'anomalia congenita della porzione superiore del sacro o dell'arco neurale vertebrale, che comporta una scarsa tenuta degli elementi vertebrali posteriori [15,18]. Questa anomalia strutturale colpisce più comunemente la popolazione pediatrica ed è più soggetta a deficit neurologici [14,15]. Solitamente, la pars interarticularis è intatta ma ristretta [15].

Il tipo II (istmico) presenta un difetto della pars interarticolare, che può consistere in una frattura da stress (IIA), in una elongazione (IIB) o in una frattura acuta dell'istmo (IIC). Nel caso della spondilolistesi di tipo IIB, l'elongazione della pars è il risultato di un'alternanza tra microfratture e tentativi di guarigione, con formazione di callo osseo, il che comporta una deformazione senza soluzione di continuità dell'istmo [18]. Gli scivolamenti istmici sono la forma più comune di spondilolistesi giovanile. Questa presentazione è nota anche come spondilolistesi spondilolitica [14,15]. Radiograficamente, il difetto della pars articularis si presenta più nitido, con la possibile presenza di sclerosi ossea circostante [15].

Questa tipologia di spondilolisi risulta comunque avere una nota predisposizione genetica, con un'incidenza del 26% riportata nei parenti di primo grado di individui in cui essa è stata diagnosticata [15].

Spondilolistesi degenerativa, traumatica, e patologica sono rispettivamente i tipi III, IV e V. [14,18]. Il tipo III (degenerativo) è secondario ai fenomeni artrosici della colonna, in assenza di fratture o deformazioni dell'arco posteriore. Il tipo IV (traumatico) è causato da una frattura acuta degli elementi posteriori, diversi dalla pars, dovuta ad un trauma ad alta energia. Infine, il tipo V (patologico) è il risultato della distruzione degli elementi posteriori a causa di processi patologici sistemici o locali ossei. Successivamente è stato descritto il tipo VI (iatrogeno), come potenziale conseguenza della chirurgia spinale [18].

La spondilolisi displasica e istmica si riferiscono all'individuo in crescita [15].

Tipo I	Displastico	
Tipo II	Istmico	
	IIA	Frattura da stress della pars
	IIB	Elongazione della pars
	IIC	Frattura acuta della pars
Tipo III	Degenerativo	
Tipo IV	Traumatico	
Tipo V	Patologico	
Tipo VI	Iatrogeno	

Tab.1: Classificazione di Wiltse- Newman [18]

Marchetti e Bartolozzi hanno proposto un sistema di classificazione alternativo, che combina i tipi displastici e istmici di Wiltse-Newman in un'unica categoria "evolutiva". La spondilolistesi acquisita è stata istituita come seconda categoria. Questo sistema di classificazione si applica più facilmente al contesto del giovane atleta [15,19].

Le spondilolistesi dello sviluppo sono contraddistinte dalla presenza di cambiamenti displastici a livello della giunzione lombosacrale. L'inadeguatezza della conformazione di elementi ossei come la lamina, la pars interarticolare, le faccette o i piatti vertebrali, è uno dei possibili fattori di rischio per l'insorgenza dello scivolamento vertebrale. Questa categoria è a sua volta suddivisa in due sottogruppi: spondilolistesi ad alta e a bassa displasia. Le forme di spondilolistesi dello sviluppo ad alta displasia sono caratterizzate da una deformità a cuneo di L5 (che assume una forma trapezoidale) e un arrotondamento della base sacrale (che assume una forma a cupola). In questi casi la traslazione di L5 è associata ad un grande angolo di scivolamento, indice di un'accentuata cifosi lombosacrale. I soggetti con spondilolistesi dello sviluppo a bassa displasia presentano invece un profilo lombosacrale normale, senza componente angolare o cifotica dello scivolamento, nonostante possa essere presente displasia degli elementi posteriori. La seconda forma di spondilolistesi descritta nella classificazione di Marchetti è quella acquisita, che a sua volta può essere il risultato di cause traumatiche (fratture acute o da stress), post-chirurgiche (dirette o indirette), patologiche (locali o sistemiche) o degenerative (primarie o secondarie) [19].

Spondilolistesi dello sviluppo	Ad alta displasia -con lisi -con elongazione
	A bassa displasia -con lisi -con elongazione
Spondilolistesi acquisite	Traumatiche -fratture acute -fratture da stress
	Post-chirurgiche -dirette -indirette
	Patologiche -locali -sistemiche
	Degenerative -primarie -secondarie

Tab. 2: Classificazione Marchetti e Bartolozzi [19]

Inoltre, Morita classifica la spondilolisi in fase iniziale, progressiva e terminale. Lo stadio iniziale è caratterizzato da una chiara frattura capillare. Nello stadio progressivo, la frattura capillare si propaga in una fessura più ampia e profonda. Lo stadio terminale rappresenta già un processo di pseudoartrosi [32,34]

Esistono altre classificazioni della spondilolistesi prettamente correlate al grado di scivolamento della vertebra listesica rispetto alla sottostante. La principale classificazione di questo tipo è la scala Meyerding [12,20], associata al calcolo della percentuale di scivolamento secondo Taillard [21].

La percentuale di scivolamento secondo Meyerding e le misurazioni dell'angolo di scivolamento sono i parametri più comunemente accettati e più utili per stadiare la patologia, guidare il trattamento e prognosticare un possibile ulteriore scivolamento [15]. La vertebra caudale a quella soggetta a listesi è divisa in quattro parti: il grado I consiste nella traslazione anteriore della vertebra craniale fino al 25% della superficie del piatto vertebrale sottostante, il grado II fino al 50%, il grado III fino al 75%, il grado IV fino al 100%. Successivamente fu aggiunto il grado V,

descrivendo la ptosi della vertebra craniale, ovvero la caduta di essa davanti alla vertebra sottostante [20].

Sono definiti scivolamenti di basso grado quegli spostamenti vertebrali inferiori al 50% (Meyerding I o II), mentre vengono classificati scivolamenti di alto grado quei quadri patologici nei quali lo spostamento della vertebra olistesica risulta essere superiore al 50% (Meyerding III, IV o V) [15].

La classificazione di Meyerding definisce il grado di scivolamento in base alla percentuale di traslazione anteriore del corpo vertebrale cefalico rispetto al bordo superiore del segmento caudato successivo [15,20].

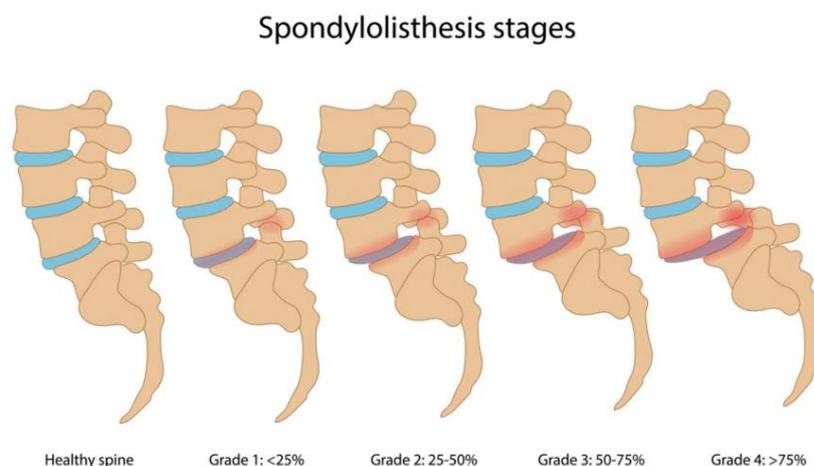


Fig. 1: gravità della spondilolistesi secondo il sistema di classificazione di Meyerding

Il calcolo della percentuale di scivolamento secondo il metodo descritto da Taillard esprime il grado di listesi come la percentuale del diametro antero-posteriore della limitante somatica superiore della vertebra caudale del segmento affetto [21].

L'angolo di scivolamento definisce invece il grado di cifosi lombosacrale. Un valore superiore a 55° è correlato a un maggior rischio di progressione della spondilolistesi. [15].

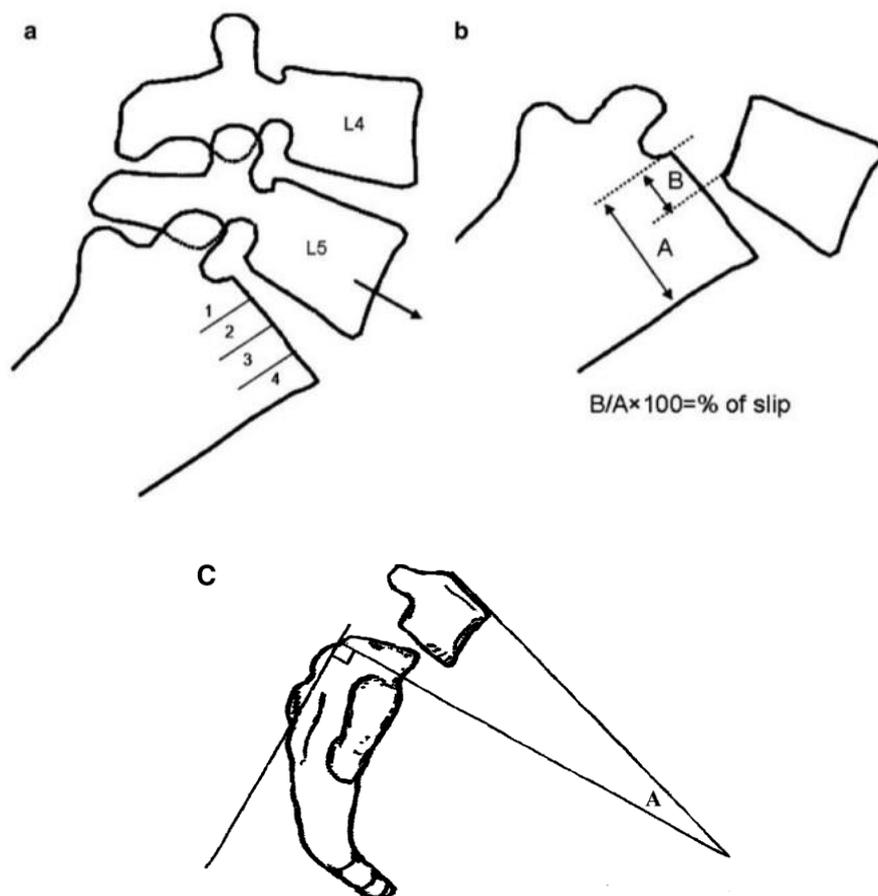


Fig.2: Misurazione scivolamento vertebrale: Meyerding (a), Taillard (b), angolo di scivolamento (c)
[20,21,15]

Gli atleti con gradi minori di spondilolistesi acquisita (grado I e grado II) di solito si presentano lamentando dolore lombare cronico, occasionalmente radicolopatia lombare e raramente disfunzione vescicale. Le anomalie neurologiche si verificano più frequentemente in associazione alla spondilolistesi evolutiva (tipo displastico della classificazione di Wiltse-Newman). Due terzi dei pazienti con spondilolistesi di grado I o II rispondono a interventi non chirurgici che possono includere: limitazione e/o riduzione dell'attività sportiva, riabilitazione e tutore [15].

L'aumento della percentuale di scivolamento e angoli di scivolamento maggiori (maggiore cifosi da scivolamento) hanno il potenziale per una maggiore disabilità e una più alta probabilità di progressione rispetto agli scivolamenti minori [14].

Questo aspetto è di particolare importanza nell'atleta scheletricamente immaturo. L'aumento della progressione dello scivolamento è stato documentata durante la fase di crescita adolescenziale e può portare ad intervento chirurgico anche nei casi asintomatici [14].

1.3 Epidemiologia

L'incidenza della spondilolisi lombare nella popolazione generale è stimata intorno al 6-8% , ma raggiunge il 63% in chi pratica determinate attività sportive [1,2]. La spondilolisi è una condizione relativamente comune negli adulti, mentre risulta più rara nei bambini, con un'incidenza che aumenta in maniera proporzionale fino all'età fino ai 18 anni [2]. L'incidenza della spondilolisi aumenta con l'età fino all'età adulta, ma non successivamente [1,3,4].

La spondilolisi nei bambini si verifica dopo l'età della deambulazione, ma rimane comunque rara negli infanti di età inferiore ai 5 anni. È molto più probabile che si verifichi in pazienti di età superiore ai 10 anni [1,9].

La prevalenza varia in base alla genetica, al sesso, alla crescita, al livello di attività, alla biomeccanica specifica dello sport e all'etnia [9].

Storicamente, si riteneva che la spondilolisi si verificasse 2-3 volte più spesso nei maschi che nelle femmine. Tuttavia, da quando è aumentata la partecipazione delle atlete adolescenti agli sport agonistici, la prevalenza della spondilolisi nelle femmine è aumentata di quattro volte rispetto la popolazione femminile generale [2, 31].

Nella popolazione pediatrica e adolescenziale la prevalenza varia dal 4,4 al 4,7%. Questo dato è notevolmente influenzato dall'attività del bambino o dell'adolescente, con forti aumenti negli sport ad alta intensità quali tuffi, pesistica, lotta, ginnastica, judo, ecc. In atleti adolescenti la possibilità di sviluppare spondilolisi aumenta fino a cinque volte rispetto alla popolazione coetanea non sportiva [9].

Anche se questo difetto articolare è meno comune nei bambini, è stato dimostrato essere la principale causa di lombalgia negli atleti adolescenti, spiegando quasi il 47% delle lombalgie in questa popolazione [2,6,7,9,32]. Inoltre, gli atleti adolescenti sono a maggior rischio di soffrire di lombalgia, soprattutto negli sport che prevedono un'estensione della colonna vertebrale, come il calcio, il baseball, la ginnastica artistica, i tuffi, il sollevamento pesi, canottaggio e wrestling

[32,36]. Alcuni studi hanno dimostrato che fino al 30% dei giovani atleti soffre di lombalgia rispetto al 18% dei non atleti.

È stata indagata la prevalenza in determinati sport specifici: fino al 15% dei giocatori collegiali di football americano e all'11% delle ginnaste sviluppano una spondilolisi. Tassi ancora più elevati sono stati osservati nei sollevatori di pesi (20-30%) e nei lottatori (30-35%). I tassi specifici per ogni sport variano probabilmente a causa dei diversi livelli di rotazione del tronco e dei movimenti di iperestensione richiesti in ogni sport [34].

I giovani calciatori con spondilolisi sintomatica avevano più lesioni multiple e bilaterali rispetto ai giocatori di baseball con spondilolisi sintomatica. Nei giocatori di baseball, il meccanismo di lancio o di battuta con la mano dominante era associato a lesioni localizzate sul lato controlaterale della pars interarticularis [36]. I professionisti sanitari devono considerare i movimenti specifici dello sport ed e il lato della gamba dominante nell'attività sportiva al fine di creare protocolli riabilitativi conservativi estremamente personalizzati per i giovani atleti con spondilolisi sintomatica.

La spondilolisi iatrogena è un'altra entità meno nota che può verificarsi come complicanza post-operatoria ed è stata descritta fino al 20% in pazienti dopo chirurgia di fusione o decompressione spinale [34].

Negli Stati Uniti vi sono differenze sessuali e razziali nell'incidenza della spondilolisi: la condizione si verifica nel 6,4% degli uomini bianchi, 2,8% degli uomini neri, nel 2,3% delle donne bianche e solo nell'1,1% delle donne nere [1,2].

Le stime di prevalenza della spondilolisi (dal 5% all'11,5%) e della spondilolistesi degenerativa (dal 4% all'8%) in età adulta sono simili in termini di range [32].

1.4 Patofisiologia, decorso naturale e fattori di rischio

1.4.1 Patogenesi e decorso naturale

La patogenesi della spondilolisi è dibattuta, ma le teorie più accreditate ipotizzano microtraumi ripetuti su condizioni anatomiche congenitamente predisposte che portano alla frattura da stress [1,2,9]. Gli elementi vertebrali posteriori vengono caricati con l'iperestensione della colonna vertebrale che indebolisce la pars e aumenta le possibilità di frattura (Fig. 2) [9].

Il difetto litico può essere causato da due meccanismi. Il primo è l'effetto pinza dovuto all'iperestensione ripetuta. La faccetta inferiore di L4 e la faccetta superiore di S1 creano un effetto pinza sulla pars interarticularis, causando un cedimento della pars di L5. Questa condizione è più probabile che si verifichi in una situazione in cui la pendenza sacrale ha un valore basso, con un sacro orientato più orizzontalmente. [41]

Il secondo meccanismo si verifica quando c'è un aumento della pendenza sacrale e quindi una maggiore trazione sulla pars interarticularis. La trazione ripetuta sulla pars da parte di una giunzione lombosacrale inclinata verso il basso provoca il cedimento e la conseguente frattura della pars interarticularis.[41]

I difetti spondilolitici esistono in un continuum, che va da una reazione da stress precoce a una pseudoartrosi terminale. Le reazioni da stress della pars, che precedono le fratture franche, probabilmente rappresentano la “zona grigia” di risposta fisiologica allo stress meccanico vertebrale, che si trasforma successivamente in una lisi patologica [34].

Morita et al. hanno definito le fratture della pars in 3 stadi: precoci, progressive e terminali [32,34].

Le fratture precoci (“early stage”) sono difetti capillari con riassorbimento osseo focale, mentre le fratture progressive presentano difetti più ampi e spesso denotano una prima frammentazione locale. Le fratture allo stadio terminale presentano un cambiamento sclerotico e sono di fatto un principio di pseudoartrosi articolare [34].

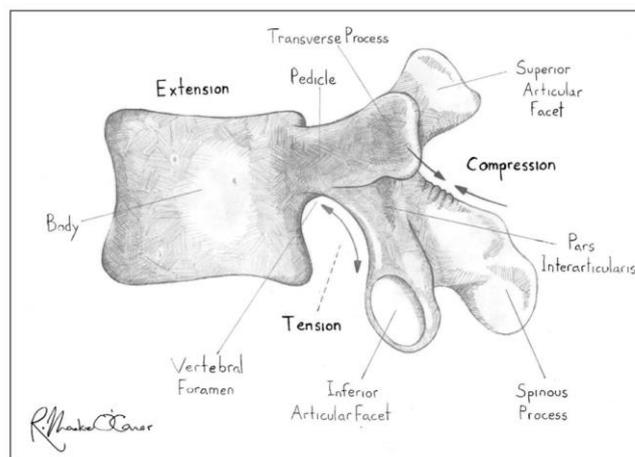


Fig. 3: Meccanismo biomeccanico alla base dello sviluppo di Spondilolisi [9]

Le fratture della pars che raggiungono lo stadio terminale non progrediscono mai verso l'unione, con conseguente impatto sulla gestione conservativa - chirurgica della problematica [34].

La spondilolistesi degenerativa, in cui si verifica la traslazione in avanti di una vertebra rispetto al segmento vertebrale caudale, può essere considerata una progressione della spondilolisi. Con la perdita di continuità della pars fratturata, si perde tutto il supporto strutturale tra gli elementi spinali anteriori e posteriori ed il corpo vertebrale è in grado di sublussare anteriormente, anche in condizioni di normale carico fisiologico. Questo fenomeno si verifica solo in caso di spondilolisi bilaterale, in quanto la stabilità meccanica derivante da una pars intatta unilateralmente limita lo slippage anteriore [32,34].

La spondilolisi visualizzata radiograficamente è associata alla spondilolistesi in circa il 25% dei casi [33].

Lo scivolamento è più comunemente osservato con lesione della pars di L5, con conseguente spondilolistesi L5-S1 nell'80% dei casi [14,33,34].

1.4.2 Fattori di rischio di insorgenza e progressione

La postura eretta e la deambulazione sembrano svolgere un ruolo nello sviluppo della spondilolisi, poiché non sono casi noti in pazienti non deambulanti, e solo un caso è stato registrato al momento della nascita [1,2,9,32].

Il sesso sembra essere un fattore di rischio intrinseco, in quanto spondilolisi si verifica da 1,5 a 2 volte più spesso nei maschi che nelle femmine, mentre la spondilolistesi sembra essere 5 volte più frequente nelle donne, spesso concomitante a gravidanza, elevato indice di massa corporea (BMI) più elevato, lassità articolare generalizzata e fattori ormonali [38].

I fattori biologici e congeniti non sono esclusi e si pensa possano predisporre allo sviluppo di questa problematica [10,32,33]. Una spina bifida occulta è stata dimostrata essere potenziale fattore predisponente a sviluppo di spondilolisi in età scolare e pediatrica [10,32,34]. Questa anomalia è stata riscontrata dal 22% al 92% dei pazienti con spondilolisi [37].

Recentemente, è stata dimostrata un'incidenza significativamente maggiore nei parenti di primo grado di pazienti con spondilolisi [34,35]. La frequenza della spondilolisi nei parenti di un individuo affetto raggiunge il 60%. Alcuni studi hanno riscontrato che fino al 19% dei parenti di primo grado

di individui affetti può a sua volta presentare la patologia . Questo numero era più alto nei pazienti con lesioni istmiche (33%) rispetto a quelli con lesioni displastiche [37].

Un angolo sacro-vertebrale (misurato tra una linea passante per la base del sacro ed una linea orizzontale passante per l'ultima vertebra lombare) aumentato sembra essere associato ad una più alta prevalenza di spondilolisi, soprattutto in combinazione con gli elevati carichi meccanici sostenuti in alcuni sport [11,22,33,41].

I fattori di rischio estrinseci includono il carico meccanico, la crescita rapida e la partecipazione ad attività sportive, soprattutto se ad alto livello [38].

Il sovraccarico sistematico della pars risulta fortemente correlato allo sviluppo della lisi. Di fatti, vi è una prevalenza dell'11% nei giovani atleti, esposti a stress ripetitivi sulla colonna, rispetto ad una prevalenza del 3% nei giovani non atleti [11,32].

I movimenti di flessione-estensione lombare, le forze di rotazione del tronco e le forze di compressione lombare al momento dell'atterraggio sono stati segnalati come fattori predisponenti alla spondilolisi [36].

Una più giovane età al momento della presentazione della spondilolisi è stata associata ad aumento del rischio di progressione verso la spondilolistesi; l'incidenza diminuisce con il passare dei decenni: 7% nella prima decade, 4% nella seconda e terza decade e 2% nella quarta decade [32].

La spondilolisi unilaterale può portare a fratture da stress alla pars controlaterale, perché determina una concentrazione di stress biomeccanici in questa area della vertebra [39].

Positive family history Male sex Participation in high-risk sports* Spina bifida occulta
*Diving, weight lifting, wrestling, gymnastics, high jump, football (linemen).

Tab. 3: Fattori di rischio secondo lo studio di Mc Timoney et al [37].

I fattori di rischio per il peggioramento della listesi presenti in letteratura sono svariati. Un angolo di scivolamento maggiore di 45-50° indica una maggiore probabilità di progressione della patologia [25,32,41]. Spondilolistesi di grado 3 e 4 sembrano essere associate maggiore rischio di progressione dello scivolamento vertebrale [25]. Il sesso femminile e il potenziale di crescita residuo sono fattori di rischio comunemente segnalati [32].

La partecipazione a sport agonistici non sembra essere associata ad alcun rischio di progressione dello scivolamento per gli atleti con spondilolistesi di basso grado [40]. Il rischio per gli atleti con uno scivolamento di circa il 25%-50% non è noto, ma potrebbe essere sconsigliabile partecipare a sport ad alto rischio [40].

Gli esperti hanno ipotizzato che vi sia una bassa probabilità di progressione della spondilolistesi nei casi in cui lo scivolamento è inferiore al 30 % all'esordio della problematica [31].

1.5 Diagnosi radiografica e diagnosi clinica

La spondilolisi è spesso asintomatica e viene riscontrata accidentalmente con la diagnostica per immagini. I pazienti valutati con tomografia computerizzata (TC) o risonanza magnetica (RM) dell'addome e del bacino per motivi non correlati a problematiche lombari hanno una prevalenza del 2,5-3,5% di spondilolisi non sintomatica [2,9].

Quando è sintomatica, la spondilolisi si presenta spesso come dolore lombare ed è più comunemente osservata negli adulti. Tuttavia, il mal di schiena non è comune nei bambini e negli adolescenti e la presenza di dolori lombari può indicare un ulteriore approfondimento per la spondilolisi nei bambini, soprattutto nelle popolazioni a più alto rischio come i giovani atleti. Sebbene la spondilolisi sia spesso asintomatica, un esame fisico completo oltre alla diagnostica per immagini è spesso utile per confermare la diagnosi [2].

L'atleta viene osservato mentre cammina. Un pattern antalgico può essere riconoscibile nei pazienti con sintomi più acuti. Un passo accorciato, associato a flessione dell'anca e del ginocchio può essere osservato in pazienti con spasmo e rigidità della catena posteriore a livello del ginocchio o in gradi avanzati di spondilolistesi [15,38].

L'allineamento coronale della colonna vertebrale viene osservato per individuare la possibile presenza di scoliosi o atteggiamenti posturali utili in fase di diagnosi differenziale [15].

La lordosi lombare appiattita è comunemente riscontrata in pazienti con spondilolisi dolorosa. Un sacro orientato verticalmente e uno scalino visibile a livello della giunzione lombosacrale possono essere osservati in soggetti con scivolamento avanzato. La fascia lombo-dorsale, le articolazioni sacroiliache e i muscoli paraspinali vengono esaminati attraverso palpazione specifica per escludere altre potenziali fonti di dolore alla schiena [15,32,33].

La flessione e l'estensione lombare, sia attive che passive, sono spesso limitate. L'iperestensione lombare spesso genera il dolore familiare al paziente [15].

Lo stress meccanico alla base di questa problematica può essere riprodotto all'esame fisico con l'iperestensione di una sola gamba. Questo test è conosciuto anche con il nome di Stork Test (Fig.2) [9,32,38]. Tuttavia, studi recenti hanno messo in dubbio l'utilità diagnostica di questo test nella spondilolisi e nella spondilolistesi degenerativa, notando bassa sensibilità (dal 50% al 73%) e specificità (dal 17% al 32%) [32,38].

Sembra che la palpazione dei processi spinosi lombari sia utile per la diagnosi di spondilolistesi [24].

L'esame neurologico completo (componente motoria, componente sensitiva, riflessi rotulei, achillei e addominali) i test di neuro-tensione e le misurazioni dell'angolo popliteo per valutare lo spasmo e la contrattura degli hamstring completano l'esame fisico [15,32].



Fig. 4: Stork test, iperestensione lombare su una gamba sola [9]

Risulta fondamentale fare diagnosi differenziale con le altre problematiche muscoloscheletriche e non (cifosi di Scheuermann, sindromi da over use, spondilodisciti, infezioni, neoplasie), i cui sintomi potrebbero sovrapporsi alla presentazione clinica di un low back pain su base spondilolitica [9,32,33].

Nella tabella 4 vengono riportate le principali caratteristiche cliniche utili al fine di discriminare, tramite l'esame obiettivo, le diverse possibili presentazioni cliniche di dolore lombare.

Intervertebral disc	<ul style="list-style-type: none"> • Centralization of symptoms
Sacroiliac joint	<ul style="list-style-type: none"> • No centralization of symptoms • Dominant pain in SIJ without tuber area • 3 positive out of 5 physical examination findings: distraction, compression, thigh thrust, Gaenslen's test, sacral thrust
Disc herniation with nerve root involvement	<ul style="list-style-type: none"> • Straight leg raise test positive for referred leg pain • 3 positive out of 4 history or physical examination findings: dermatomal pain location in concordance with a nerve root, and corresponding sensory deficits, reflex and motor weakness • Supplementary physical examination finding: Crossed straight leg raise test positive
Spinal stenosis	<ul style="list-style-type: none"> • 3 positive out of 5 history findings: age more than 48 years, bilateral symptoms, leg pain more than back pain, pain during walking/standing, or pain relief upon sitting • Supplementary physical examination finding: Improved walking tolerance with the spine in flexion or relief by forward bending
Spondylolisthesis	<ul style="list-style-type: none"> • Intervertebral slip by inspection or palpation • Segmental hypermobility by use of manual passive physiological intervertebral motion test • Supplementary physical examination finding in the elderly: Passive leg extension test positive

Tab. 4: Diagnosi differenziale con altre problematiche lombari [9]

1.6 Presentazione clinica

Circa l'80% dei pazienti senza sintomi ha una spondilolisi. La maggior parte dei casi asintomatici sono identificati incidentalmente.

La spondilolisi sintomatica provoca dolore lombare, con occasionale irradiazione al gluteo e/o alle estremità inferiori prossimali. I pazienti spesso hanno dolore per più di 3 settimane. La normale progressione del dolore è graduale, con o senza un episodio acuto [9,15,33].

All'esame è presente di solito è presente una rigidità importante degli hamstrings (80% dei pazienti), e si può palpare uno scalino sulla colonna lombare in caso di spondilolisi di alto grado e spondilolistesi [17,31,32,33].

L'insorgenza del dolore coincide con l'inizio della pubertà e con gli scatti di crescita, con un'età media tra i 15 e i 16 anni [9].

I pazienti riferiscono che il dolore aumenta con un'attività intensa o con l'iperestensione e si attenua con il riposo [9,31]. Il dolore da seduti è improbabile e può indicare un problema al disco intervertebrale o all'articolazione sacroiliaca, da trattare e gestire in modo totalmente differente [9]. La spondilolisi che si estende nel peduncolo può anche essere una causa di dolore da seduti [9].

Se il dolore è presente anche con il riposo, il paziente potrebbe avere una spondilolistesi [9,38].

I sintomi neurologici sono estremamente rari, ma possono essere associati ad una compressione radicolare da spondilolistesi; se si verificano, devono essere prese in considerazione altre strategie terapeutiche, con eventuale Referral al medico specialista [9,31,34].

1.7 Imaging

Per identificare la presenza di spondilolisi si utilizzano diversi metodi di diagnostica per immagini, tra cui radiografia (RX), tomografia computerizzata (TC), risonanza magnetica (RMN), tomografia computerizzata a emissione di fotoni singoli (SPECT) e la scintigrafia ossea [24].

La SPECT ha dimostrato la maggiore sensibilità tra le misure, con un contrasto 10-12 volte superiore a quello della scintigrafia ossea [24].

Come per la diagnosi di altre patologie lombari, è presente un alto grado di falsi positivi, con risultati di imaging poco correlabili con i sintomi clinici del paziente. [24].

Le radiografie semplici con viste laterali sono utili nell'indagine iniziale della spondilolistesi istmica. Uno scivolamento anteriore di 3 mm della vertebra craniale è stato suggerito come cut-off per la diagnosi radiografica, ma la letteratura è carente per quanto riguarda il grado di slittamento considerato realmente significativo [12].

Le radiografie funzionali in flessione-estensione sono considerate il "gold standard" nella spondilolistesi degenerativa, e una variazione dell'angolo discale $>10^\circ$ o una variazione della

traslazione >3 mm sono generalmente considerate come una prova di instabilità radiografica. [12]

Le viste posteroanteriori (PA) e laterali in piedi della colonna vertebrale toracolombosacrale (TLS) sono utili per valutare l'allineamento generale della colonna vertebrale, i difetti spondilitici e la spondilolistesi [15].

Le viste laterali in piedi e oblique supine della giunzione lombosacrale (TLJ), tuttavia, aumentano la probabilità di diagnosticare diagnosi di spondilolisi di tutti i tipi [15].

Quando le radiografie sui vari piani dello spazio non sono conclusive e si sospetta una spondilolisi, è indicata una scintigrafia ossea SPECT della colonna lombosacrale. L'aumento della captazione nella lamina adiacente o nel peduncolo, sia unilaterale che bilaterale, è diagnostico per una reazione da stress dell'osso o una frattura dello stesso [15].

L'area anormale localizzata mediante SPECT può essere utilizzata per classificare la spondilolisi in una categoria specifica se abbinata ad un'ulteriore indagine effettuata mediante TAC a taglio sottile, che inoltre fornisce informazioni fondamentali per orientare il trattamento [15].

La TAC con ricostruzione 3D è utile per valutare la scoliosi olistatica (cioè la traslazione e la rotazione asimmetrica in avanti del corpo vertebrale interessato), componente secondaria nelle vertebre più cefaliche. Questa tipologia di indagine strumentale è utile anche per la pianificazione preoperatoria dei pazienti con spondilolistesi e spondiloptosi gravi [15].

La risonanza magnetica (RM) è indicata quando sono presenti sintomi e segni neurologici compresenti al dolore lombare. La compressione della radice nervosa e altre potenziali fonti di dolore e disfunzioni neurologiche (anomalie discali, neoplasie della colonna vertebrale e del midollo, anomalie del midollo spinale) sono valutate in modo più specifico con questa modalità [15,31].

LA RM può anche svolgere un ruolo nella diagnosi di reazioni da stress e fratture da stress prima dell'evidenza radiologica della spondilolisi, ma rimane comunque meno sensibile della TAC [15].

1.8 Trattamento conservativo e chirurgia

1.8.1 Trattamento conservativo

In generale, l'intervento conservativo è il punto di riferimento per la gestione della spondilolisi e della spondilolistesi di basso grado negli atleti di alto livello. La diagnosi precoce di una frattura acuta della pars porta a risultati eccellenti con il trattamento non chirurgico, con la maggior parte degli atleti che tornano all'attività sportiva entro 3-6 mesi [31].

Gli obiettivi del trattamento conservativo sono alleviare il dolore, promuovere la guarigione ossea del difetto della pars e prevenire la progressione dello scivolamento, se presente [32].

Sebbene i buoni risultati clinici del trattamento conservativo non dipendano necessariamente dall'unione ossea in sede di lesione, la guarigione ossea rimane comunque un obiettivo importante perché riduce il rischio di progressione da spondilolisi a spondilolistesi [34].

Gli studi retrospettivi che riportano l'efficacia a breve termine del trattamento non chirurgico della spondilolisi suggeriscono che la guarigione ossea si verifica più probabilmente nella spondilolisi attiva unilaterale, piuttosto che in quella piuttosto che bilaterale [31].

Studi retrospettivi dimostrano che il 70-90% degli atleti con spondilolisi e spondilolistesi sintomatica hanno ottenuto risultati a lungo termine da buoni a eccellenti e il ritorno al gioco senza intervento chirurgico, anche senza fusione ossea radiografica [30, 31].

Questo tipo di approccio nei giovani atleti agonisti comprende l'utilizzo di farmaci antinfiammatori non steroidei (FANS), limitazione dell'attività per evitare un'eccessiva flessione-estensione del rachide, fisioterapia e, in alcuni casi, l'utilizzo di un corsetto [25,30,31].

La fisioterapia effettuata in questi casi va a lavorare principalmente sulla stabilità della colonna vertebrale, attraverso lo stretching delle catene muscolari accorciate (spesso hamstrings e flessori d'anca) ed il rinforzo della muscolatura addominale (in particolare il trasverso addominale, obliqui interni e multifido), a gradi di movimento pain-free [32,38].

In uno studio condotto su 57 giocatori di calcio bambini e adolescenti con spondilolisi sintomatica, il trattamento consisteva in 3 mesi di astinenza dallo sport, busto rigido toracolombosacrale a tempo pieno ed esercizio terapeutico per il rinforzo del core, l'allungamento degli hamstrings ed esercizi di mobilizzazione pelvica a tolleranza del paziente. Questo approccio è stato efficace per il

93% dei soggetti a un follow-up minimo di 2 anni. I soggetti che si sono attenuti a 3 mesi di stop dall'attività sportiva hanno avuto risultati funzionali migliori rispetto a coloro che hanno continuato a praticare sport durante quel periodo [25, 30].

Sebbene la durata sia controversa, in letteratura c'è un ampio consenso sul fatto che un periodo di riposo è necessario e gli atleti devono essere senza dolore prima di tornare a praticare il proprio sport [31,34].

Per gli sportivi di competizioni ad alto livello la quantità di riposo può variare da 2 settimane a 6 mesi, a seconda della gravità dei sintomi [38].

Studi prospettici e studi retrospettivi hanno dimostrato l'efficacia della sola modifica dell'attività fisica in popolazioni prevalentemente pediatriche per un minimo di 3 mesi, con alti tassi di risultati buoni ed eccellenti. Sebbene ci sia spesso tra gli atleti la preoccupazione che l'interruzione dell'attività sportiva per 3 mesi possa influire negativamente sulle prestazioni, un recente studio su giocatori di calcio con spondilolisi ha mostrato risultati funzionali e prestazioni sportive significativamente inferiori nei giocatori che hanno scelto di continuare a giocare con l'uso di un tutore rispetto a quelli che sono rimasti a riposo per 3 mesi [30, 31].

L'utilizzo di ortesi lombosacrali è spesso integrato negli interventi di gestione in pazienti con spondilolisi e spondilolistesi di basso grado. Tuttavia, vi sono alcune controversie riguardo allo svezzamento e la rimozione finale del bracing, nonché i tempi effettivi di ritorno dell' atleta allo sport. Empiricamente, si ritiene che corsetto debba essere progressivamente interrotto quando il paziente è asintomatico, indipendentemente dall'unione ossea radiografica [31]. Sono stati utilizzati diversi tipi di tutori, ma non esiste una scelta clinica migliore fra essi [31].

Altri interventi includono: terapia manuale (trazioni, manipolazioni chiropratiche, massaggio terapeutico), agopuntura, ottimizzazione dell'alimentazione e l'applicazione di stimolazione elettrica in presenza di una non-unione persistente sintomatica. Riguardo a tutte queste tipologie di trattamento esistono, ad oggi, poche evidenze di alto livello [31,32].

1.8.2 Trattamento chirurgico

La spondilolisi è spesso sintomatica nonostante i trattamenti conservativi e la limitazione dell'attività, anche in assenza di listesi. È in presenza di situazioni di questo che è indicato un approccio chirurgico [26].

Le indicazioni classiche per l'intervento chirurgico sono il fallimento di un trattamento conservativo impostato per più di 6 mesi, dolore alla schiena persistente e mancata unione della pars a 9-12 mesi (pseudoartrosi della pars) [31,34]. L'aumento del dolore, il peggioramento della compromissione neurologica preesistente e la progressivaolistesi vertebrale sono altre indicazioni per il trattamento chirurgico [31].

La maggior parte degli autori raccomanda la riparazione diretta per casi di spondilolisi-listesi, con disco vertebrale conservato. Sebbene non esistano studi comparativi di livello I, appare evidente che la riparazione diretta della pars può essere vantaggiosa negli atleti perché il movimento lombare è preservato, cosa che viene meno in caso di fusione in situ o artrodesi vertebrale [31].

Teoricamente, il ritorno all'attività agonistica dopo la riparazione della pars dovrebbe avere più successo della fusione, ma questa ipotesi non può essere sostenuta in quanto non ci sono sufficienti dati a riguardo in letteratura. Tuttavia, anche con la fusione, molti atleti di alto livello possono tornare a praticare sport dopo diversi mesi di riabilitazione specifica e strutturata, anche se una percentuale maggiormente significativa di loro non riuscirà a riprendere il livello di attività precedente all'infortunio [31].

La tecnica minimamente invasiva è interessante perché permette di ridurre al minimo la dissezione della cute e dei muscoli, che può tradursi in un recupero post-operatorio più rapido. D'altro canto, questa metodica di intervento è meno adatta alla correzione delle deformità angolari o traslazionali del rachide [31].

Karatas et al hanno confrontato la fissazione della pars intrasegmentale con vite a compressione laminare rispetto al costrutto vite peduncolare- gancio laminare e hanno riscontrato 100% di unione a 6 mesi dopo l'intervento per entrambi i gruppi, ma con un aumento delle perdite ematiche e dei tempi operatori negli interventi in cui è stata utilizzata la seconda metodica chirurgica proposta [26].

Menga et al hanno dimostrato che la riparazione diretta con vite intralaminare della spondilolisi ha portato a risultati eccellenti per i giovani atleti sintomatici, in quanto il dolore era significativamente migliorato dopo l'intervento, e il tasso di ritorno agli sport agonistici è stato del 76% [27]

Una metanalisi su 165 procedure di riduzione e 101 procedure di fusione in situ ha dimostrato che entrambi i tipi di procedure danno risultati clinici soddisfacenti, con una risoluzione dei sintomi

comparabile nei due gruppi di trattamento, e che non c'è un aumento delle complicanze neurologiche dovute alla riduzione o alla fusione in situ [28]. Tuttavia, il tasso di pseudoartrosi era significativamente più alto nel gruppo di artrodesi in situ rispetto al gruppo di riduzione [25].

In conclusione, non ci sono studi che diano risultati clinicamente soddisfacenti nel confronto fra diverse tecniche di riparazione diretta della pars con la fusione in situ [31].

La spondilolistesi displasica di alto grado e la spondiloptosi sono rare, ma il livello L5-S1 è sempre coinvolto, e le opzioni di trattamento includono la fusione strumentale posteriore con viti peduncolari e barre, fusione circonferenziale con allotrapianto o autotrapianto, osteotomia della cupola sacrale, e vertebrectomia di L5 con fusione di L4 al sacro. [25,29]

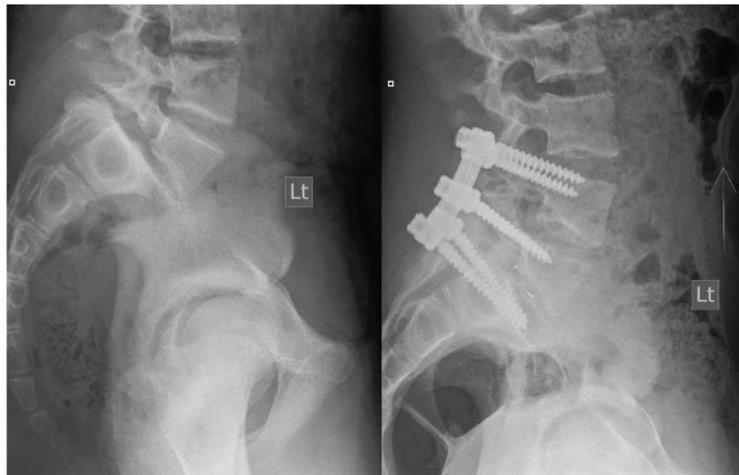


Fig. 5: Spondilolisi istmica con spondilolistesi di grado 3 di L5 su S1 in un ragazzo di 12 anni con dolore lombare refrattario alla gestione non chirurgica. All'età di 14 anni è stato trattato con una fusione spinale posteriore L4-S1 con fusione inter-corporea L5-S1. [25]

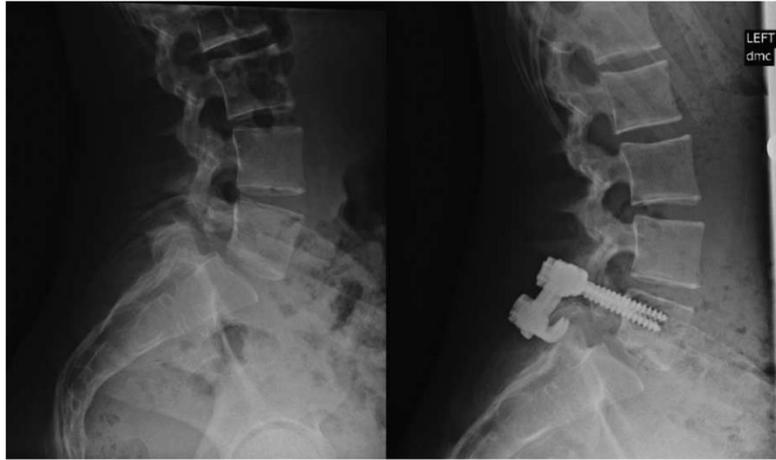


Fig. 6: Spondilolisi istmica con spondilolistesi di grado 1 in una ragazza di 15 anni con dolore lombare refrattario alla gestione non chirurgica, trattata con una riparazione della pars bilaterale utilizzando costruzioni a vite peduncolari bilaterali su L5. [25]

Quando si tratta la spondilolistesi, l'obiettivo della chirurgia è quello di decomprimere gli elementi neurali interessati e di fondere il livello di scivolamento, ma vi è ancora una forte controversia sul fatto se gli scivolamenti debbano essere ridotti o fusi in situ [31].

La decompressione spinale può essere indicata in casi di spondilolistesi associata a un restringimento foraminale sintomatico. L'aggiunta di una fissazione anteriore della colonna (innesti intercorporei) è stata promossa per migliorare i tassi di fusione e l'equilibrio sagittale nella popolazione generale. Tuttavia, per questo tipo di intervento specifico, non esistono dati basati sull'evidenza riferiti agli atleti [31].

1.9 Spondilolisi-listesi nei giovani sportivi: Key points

Riassumendo i concetti principali inerenti al topic dell'elaborato, è bene ricordare che:

- L'incidenza della spondilolisi lombare nella popolazione generale è stimata intorno al 6-8% , ma raggiunge il 63% in chi pratica determinate attività sportive. Anche se questo difetto articolare è meno comune nei bambini, è stato dimostrato essere la principale causa di lombalgia negli atleti adolescenti, spiegando quasi il 47% delle lombalgie in questa popolazione, soprattutto negli sport che prevedono un'estensione-

rotazione della colonna vertebrale, come il calcio, il baseball, la ginnastica artistica, i tuffi, il sollevamento pesi, canottaggio e wrestling.

- La patogenesi della spondilolisi è dibattuta, ma le teorie più accreditate ipotizzano microtraumi ripetuti su condizioni anatomiche congenitamente predisposte che portano alla frattura da stress.
- La spondilolistesi degenerativa, in cui si verifica la traslazione in avanti di una vertebra rispetto al segmento vertebrale caudale, può essere considerata una progressione della spondilolisi. La spondilolisi visualizzata radiograficamente è associata alla spondilolistesi in circa 25% dei casi.
- I principali fattori di rischio intrinseci sono: sesso (maschile per la lisi, femminile per la listesi), etnia, età di comparsa della problematica, anomalie congenite (come la spina bifida), un angolo sacro-vertebrale aumentato ed una predisposizione familiare alla patologia.
- I fattori di rischio estrinseci includono il carico meccanico, la crescita rapida e la partecipazione ad attività sportive, soprattutto se ad alto livello.
- I fattori di rischio per il peggioramento della listesi presenti in letteratura sono: angolo di scivolamento maggiore di 50, spondilolistesi di grado 3 e 4, sesso femminile e il potenziale di crescita residuo. Gli esperti hanno ipotizzato che vi sia una bassa probabilità di progressione della spondilolistesi nei casi in cui lo scivolamento è inferiore al 30 % all'esordio della problematica.
- La spondilolisi è spesso asintomatica e viene riscontrata accidentalmente con la diagnostica per immagini. Nei casi sintomatici è utile abbinare un'indagine strumentale specifica ad un esame fisico esaustivo, finalizzato alla valutazione clinica della sintomatologia manifestata dal giovane atleta.

- In generale, l'intervento conservativo è il punto di riferimento per la gestione della spondilolisi e della spondilolistesi di basso grado negli atleti di alto livello. Questo tipo di approccio nei giovani atleti agonisti comprende l'utilizzo di farmaci antinfiammatori non steroidei (FANS), limitazione dell'attività per evitare un'eccessiva flessione-estensione del rachide, fisioterapia e, in alcuni casi, l'utilizzo di un corsetto.
- Le indicazioni classiche per l'intervento chirurgico sono il fallimento di un trattamento conservativo impostato per più di 6 mesi, dolore alla schiena persistente, mancata unione della pars a 9-12 mesi, il peggioramento della compromissione neurologica preesistente e la progressivaolistesi vertebrale.

2. MATERIALI E METODI DI RICERCA

Questo lavoro rappresenta una revisione delle evidenze scientifiche disponibili in letteratura, pubblicate e rintracciate tramite i motori di ricerca di PubMed, Web of Science e PEDro.

L'intero studio e i diversi capitoli sono stati organizzati seguendo le indicazioni presenti nel PRISMA Statement del 2020 (nella sua versione italiana ad opera di Marao et al. 2021[42]), versione aggiornata rispetto alla precedente del 2009 [43]). In PRISMA 2020 è inclusa una checklist per le revisioni sistematiche e viene fornito un modello di diagramma di flusso PRISMA, utilizzato per lo sviluppo della flow chart per il presente elaborato.

2.1. Strategie di ricerca

Tra ottobre 2022 e maggio 2023 è stata condotta una revisione sistematica della letteratura, con lo scopo di rispondere al seguente quesito di ricerca: “quali sono i fattori di rischio, l'epidemiologia ed i meccanismi traumatici associati alla comparsa di spondilolisi e/o spondilolistesi nella popolazione sportiva di adolescenti e giovani adulti, amatori e professionisti?”. Con l'obiettivo di trasformare il quesito clinico in stringhe di ricerca è stato utilizzato il formato PEO (Popolazione, Esposizione, Outcome).

POPOLAZIONE INDAGATA

Pazienti sportivi, atleti adolescenti e giovani adulti, sia professionisti che amatori.

EXPOSURE

Fattori di rischio e meccanismi traumatici di spondilolisi e spondilolistesi presenti in letteratura.

OUTCOME

Sviluppo di spondilolisi- spondilolistesi.

2.2. Pubmed

Nell'elaborazione del PEO utilizzato per la stringa di ricerca su Pubmed, si è deciso di suddividere il quesito di ricerca in tre quesiti minori separati, al fine di ottenere una maggiore accuratezza nella

ricerca del materiale disponibile da includere nelle fasi successive di revisione. A ciascuna parte del PEO così proposto corrisponderanno tre stringhe di ricerca specifiche e separate.

Di seguito vengono riportate le tabelle riassuntive di termini liberi e MeSH Terms utilizzati nella ricerca del materiale bibliografico.

Primo Quesito

<p><u>P</u></p>	<p>Athlete Athletes Player Players Professional athlete Professional athletes Elite athlete Elite athletes Non-elite athlete Non-elite athletes Non elite athlete Non elite athletes College athlete College athletes Athlete (MeSH Terms) Player (MeSH Terms)</p>
<p><u>E: Fattori di rischio</u></p>	<p>Risk factor Risk factors Risk score Risk scores Risk factor score Risk factor scores Risk factor (MeSH Terms)</p>

	Risk score (MeSH Terms)
<u>O</u>	Spondylolysis Spondylolisthesis Lysis Listhesis Spondylolysis (MeSH Terms) Spondylolisthesis (MeSH Terms)

Tab.5: Tabella PEO fattori di rischio

Secondo Quesito

<u>P</u>	Athlete Athletes Player Players Professional athlete Professional athletes Elite athlete Elite athletes Non-elite athlete Non-elite athletes Non elite athlete Non elite athletes College athlete College athletes Athlete (MeSH Terms) Player (MeSH Terms)
----------	--

<u>E: Eziologia</u>	Etiology Aetiology Causality Cause Causes Etiology (MeSH Terms) Cause (MeSH Terms) Causes (MeSH Terms)
<u>Q</u>	Spondylolysis Spondylolisthesis Lysis Listhesis Spondylolysis (MeSH Terms) Spondylolisthesis (MeSH Terms)

Tab.6: Tabella PEO eziologia

Terzo quesito

<u>P</u>	Athlete Athletes Player Players Professional athlete Professional athletes Elite athlete
----------	--

	<p>Elite athletes</p> <p>Non-elite athlete</p> <p>Non-elite athletes</p> <p>Non elite athlete</p> <p>Non elite athletes</p> <p>College athlete</p> <p>College athletes</p> <p>Athlete (MeSH Terms)</p> <p>Player (MeSH Terms)</p>
<u>E: Meccanismi traumatici</u>	<p>Traumas</p> <p>Trauma</p> <p>Injuries</p> <p>Injury</p> <p>Spinal cord injury</p> <p>Trauma (MeSH Terms)</p> <p>Injuries (MeSH Terms)</p> <p>Spinal cord injury (MeSH Terms)</p>
<u>O</u>	<p>Spondylolysis</p> <p>Spondylolisthesis</p> <p>Lysis</p> <p>Listhesis</p> <p>Spondylolysis (MeSH Terms)</p> <p>Spondylolisthesis (MeSH Terms)</p>

Tab.7: Tabella PEO meccanismi traumatici

2.2.1. Web of Science

La ricerca sulla banca dati Web Of Science è stata eseguita in modo diverso rispetto alla precedente.

Il PEO è stato suddiviso in due quesiti minori sulla base dei due outcome osservati : spondilolisi e spondilolistesi. I fattori di esposizione non sono invece stati divisi, al fine di non rendere troppo eterogenea la ricerca.

Di seguito vengono riportate le tabelle riassuntive dei termini utilizzati nella ricerca del materiale bibliografico.

Primo quesito

<u>P</u>	Athlete Player Collegiate Young athlete Elite athlete
<u>E</u>	Risk factors Etiology Cause Injury Trauma
<u>O:</u>	Spondylolysis

Tab.8: Tabella PEO Web of Science, Spondilolisi

Secondo quesito

<u>P</u>	Athlete Player Collegiate Young athlete Elite athlete
<u>E</u>	Risk factors Etiology Cause Injury Trauma
O:	Spondylolisthesis

Tab.9: Tabella PEO Web of Science, Spondilolistesi

2.2.2. PEDro

Per la ricerca bibliografico sul database PEDro, il revisionatore ha deciso di utilizzare poche keywords di ricerca, combinate in coppia fra loro in più stringhe brevi, al fine di restringere il campo di ricerca al materiale bibliografico nel quale comparivano contemporaneamente tutte le componenti che si sono volute analizzare.

Non è quindi stato utilizzato un vero e proprio PEO.

Si riportano in seguito le keywords utilizzate ed i loro accoppiamenti di ricerca.

<u>Keywords:</u>	Spondylolysis Spondylolisthesis Sport Athlete, Athletes Children, Child
------------------	---

	<p>Adolescent, Adolescents</p> <p>“Risk factors”, Risk</p> <p>Etiology, Aetiology</p> <p>Cause, Causes</p> <p>Trauma, Traumas</p> <p>Injury, Injuries</p>
<p><u>Stringhe di ricerca:</u></p>	<p>“spondylolysis”, termine singolo</p> <p>“spondylolisthesis”, termine singolo</p> <p>“spondylolysis” “sport”</p> <p>“spondylolysis” “athlete”,</p> <p>“spondylolysis” “athletes”</p> <p>"spondylolysis" "risk factors"</p> <p>"spondylolysis" "risk"</p> <p>"spondylolysis" "etiology"</p> <p>"spondylolysis" "trauma", no records</p> <p>"spondylolysis" "injury",</p> <p>“spondylolisthesis” “sport”</p> <p>“spondylolisthesis” “athlete”</p> <p>“spondylolisthesis” “athletes”</p> <p>“spondylolisthesis” “risk factors”</p> <p>“spondylolisthesis” “risk” 5</p> <p>“spondylolisthesis” “etiology”</p> <p>“spondylolisthesis” “trauma”, no records</p>

	"spondylolisthesis" "injury"
--	------------------------------

Tab.10: Tabella riassuntiva parole chiave e stringhe PEDro

2.3. Stringhe di ricerca

Seguendo le indicazioni contenute nel modello di PRISMA Statement 2020 [42] , la stringa di ricerca è stata elaborata in modo da non risultare troppo specifica bensì largamente sensibile. Il razionale di tale principio è quello di raggiungere una maggiore inclusione di studi all'interno della ricerca, diminuendo il rischio di perdere studi che possano essere stati catalogati con parole chiave differenti da quelle utilizzate nella stringa. Il medesimo razionale porta a ridurre l'utilizzo dell'operatore booleano "AND", utilizzato solamente per connettere le 3 categorie del protocollo PEO, a favore di "OR" (all'interno delle varie combinazioni della medesima categoria), in quanto permette di mantenere ampio il criterio di inclusione degli studi (nel del motore di ricerca) e minimizzare l'intersezione tra le parole chiave, cercando di acquisire gli studi catalogati diversamente ma che potrebbero contenere elementi utili per ciò che si intende indagare con la presente ricerca. Nei casi in cui la compilazione della stringa completa secondo il modello PEO non ha prodotto risultati, è stato scelto di compilare solamente le classi essenziali del modello in modo da mantenere ampio e sensibile lo spettro di risultati (casistica che legata a PEDro e Web of Science).

Le stringhe utilizzate per la ricerca nelle varie banche dati elettroniche sono le seguenti.

2.3.1. Pubmed

Le stringhe di ricerca per Pubmed sono state create con i termini liberi ed i MeSH terms precedentemente riportati nelle tabelle nel paragrafo inerente alle strategie di ricerca.

I termini relativi alla popolazione, all'exposure analizzata e all'outcome ricercato che sono stati uniti separatamente con l'operatore booleano "OR", al fine di includerne almeno uno nella ricerca. Successivamente, le componenti di stringa ottenute sono state intersecate fra loro, attraverso l'utilizzo dell'operatore booleano "AND", per restringere il campo di ricerca al materiale

bibliografico nel quale comparivano contemporaneamente tutte le componenti che si sono volute analizzare.

La ricerca è stata effettuata nella sezione “titolo/abstract” nella pagina di ricerca avanzata.

La data di lancio iniziale risale al 29 ottobre 2022.

Di seguito sono riportate le stringhe inserite sul motore di ricerca del database, in versione completa.

Primo quesito

((((((((((((((((Athlete) OR (Athletes)) OR (Player)) OR (Players)) OR (Professional athlete)) OR (Professional athletes)) OR (Elite athlete)) OR (Elite athletes)) OR (Non-elite athlete)) OR (Non-elite athletes)) OR (Non elite athlete)) OR (Non elite athletes)) OR (College athlete)) OR (College athletes)) OR (Athlete (MeSH Terms))) OR (Player (MeSH Terms))) AND (((((((((Risk factor) OR (Risk factors)) OR (Risk score)) OR (Risk scores)) OR (Risk factor score)) OR (Risk factor scores)) OR (Risk factor (MeSH Terms))) OR (Risk score (MeSH Terms)))) AND (((((((Spondylolysis) OR (Spondylolisthesis)) OR (Lysis)) OR (Listhesis)) OR (Spondylolysis (MeSH Terms))) OR (Spondylolisthesis (MeSH Terms)))

Secondo quesito

((((((((((((((((Athlete) OR (Athletes)) OR (Player)) OR (Players)) OR (Professional athlete)) OR (Professional athletes)) OR (Elite athlete)) OR (Elite athletes)) OR (Non-elite athlete)) OR (Non-elite athletes)) OR (Non elite athlete)) OR (Non elite athletes)) OR (College athlete)) OR (College athletes)) OR (Athlete (MeSH Terms))) OR (Player (MeSH Terms))) AND (((((((((Etiology) OR (Aetiology)) OR (Causality)) OR (Cause)) OR (Causes)) OR (Etiology (MeSH Terms))) OR (Cause (MeSH Terms))) OR (Causes (MeSH Terms)))) AND (((((((Spondylolysis) OR (Spondylolisthesis)) OR (Lysis)) OR (Listhesis)) OR (Spondylolysis (MeSH Terms))) OR (Spondylolisthesis (MeSH Terms)))

Terzo quesito

((((((((((((((((((Athlete) OR (Athletes)) OR (Player)) OR (Players)) OR (Professional athlete)) OR (Professional athletes)) OR (Elite athlete)) OR (Elite athletes)) OR (Non-elite athlete)) OR (Non-elite athletes)) OR (Non elite athlete)) OR (Non elite athletes)) OR (College athlete)) OR (College athletes)) OR (Athlete (MeSH Terms))) OR (Player (MeSH Terms))) AND (((((((Trauma) OR (Traumas)) OR (Injury)) OR (Injuries)) OR (Spinal cord injury)) OR (Trauma (MeSH Terms))) OR (Injuries (MeSH Terms))) OR (Spinal cord injury (MeSH Terms))) AND (((((((Spondylolysis) OR (Spondylolisthesis)) OR (Lysis)) OR (Listhesis)) OR (Spondylolysis (MeSH Terms))) OR (Spondylolisthesis (MeSH Terms)))

2.3.2. Web of science

Le stringhe di ricerca per Web of sono state create con i termini precedentemente riportati nelle tabelle del paragrafo inerente alle strategie di ricerca. I termini relativi alla popolazione, all'exposure analizzata e all'outcome ricercato che sono stati uniti separatamente con l'operatore booleano "OR", al fine di includerne almeno uno nella ricerca. Successivamente, le componenti di stringa ottenute sono state intersecate fra loro, attraverso l'utilizzo dell'operatore booleano "AND", per restringere il campo di ricerca al materiale bibliografico nel quale comparivano contemporaneamente tutte le componenti che si sono volute analizzare. Si è deciso di utilizzare il carattere speciale "asterisco" (*), al fine di includere nella ricerca parole con suffisso, prefisso o variazione di spelling simili al termine ricercato.

La ricerca è stata effettuata nella sezione di "topic" nella pagina di ricerca avanzata.

La data di lancio iniziale risale al 28 marzo 2023.

Di seguito sono riportate le stringhe inserite sul motore di ricerca del database, in versione completa.

Primo quesito

(((*spondylolysis* AND (*athlete* OR *player* OR *collegiate* OR *young athlete* OR *elite athlete*)) AND (*risk factors* OR *etiology* OR *cause* OR *injury* OR *trauma*)))

Secondo quesito

(((*spondylolisthesis* AND (*athlete* OR *player* OR *collegiate* OR *young athlete* OR *elite athlete*)) AND (*risk factors* OR *etiology* OR *cause* OR *injury* OR *trauma*)))

2.3.3. PEDro

Per effettuare la ricerca sul database PEDro non sono state costruite delle stringhe di ricerca vere e proprie, ma è stata utilizzata la strategia di ricerca precedentemente riportata nel capitolo specifico (1.1.3).

La ricerca è stata effettuata nella sezione di “ricerca semplice” del motore di ricerca del database.

La data di lancio iniziale risale al 28 marzo 2023.

2.4. Criteri di eleggibilità e tipologia di studi esaminati

Per la selezione degli studi sono stati applicati dei criteri di inclusione e di esclusione.

Criteri di inclusione

- Tipologia di studio: saranno esaminati studi di coorte (o osservazionali) prognostici e retrospettivi, caso-controllo e cross-sectional (trasversali, di prevalenza).
- Popolazione: campioni di sportivi/atleti adolescenti e giovani adulti, di età compresa fra i 10 e 20 anni, sia professionisti [15] che amatori [16], con spondilolisi-listesi diagnosticata e stadiata secondo la classificazione di Wiltse e Newman [15,18] o l'utilizzo della scala Meyerding [12,20].
- Studi in lingua inglese ed italiana.
- Articoli disponibili in full text.
- Articoli riguardanti fattori di rischio, epidemiologia e meccanismi traumatici.

Criteri di esclusione

- Altre tipologie di studi emersi dalla ricerca in letteratura, che saranno utilizzate come materiale di discussione in altre sezioni dell'elaborato.
- Popolazione di pazienti non sportivi, con età minore di 10 anni e maggiore di 20 anni.
- Articoli non disponibili in full text.
- Articoli con titolo, abstract e full text non pertinenti con la ricerca.
- Articoli riguardanti spondilolisi-listesi in distretti diversi da quello lombare.
- Articoli riguardanti classificazione, diagnosi e trattamento conservativo-chirurgico, che saranno utilizzati come materiale di discussione in altre sezioni dell'elaborato.

2.5. Processo di selezione degli articoli

La selezione degli articoli è stata effettuata in modo stratificato e progressivo.

Innanzitutto, sono stati eliminati i duplicati ed eliminati gli articoli non pertinenti al topic "spondilolisi-listesi lombare", dalla lettura del titolo.

Un singolo revisionatore ha provveduto ad effettuare lo screening iniziale degli articoli sulla base del confronto con le categorie del modello PEO tramite la lettura dell'abstract. Durante tale catalogazione agli studi sono state applicate le seguenti etichette per l'esclusione dalla revisione: "escluso perché non rispetta il disegno di studio" qualora la tipologia di studio non rientrasse tra quelli inseriti nei criteri di inclusione; oppure, "escluso perché non rispetta il topic specifico di ricerca" qualora l'argomento principale dell'articolo analizzato non fosse prettamente correlato a fattori di rischio, eziologia o meccanismo traumatico della spondilolisi-listesi; altresì "escluso perché non rispetta la popolazione indagata dalla ricerca" nei casi in cui il materiale revisionato

non avesse come oggetto di studio giovani sportivi; oppure “escluso perché assente full text”, o “full text non disponibile nelle lingue presentate nei criteri di inclusione” nelle due casistiche specifiche.

Oltre agli articoli esclusi, alcuni dei rimanenti sono stati catalogati con l’etichetta “maybe”, poiché necessario determinare l’inclusione o meno tramite la lettura del full-text, successivamente eseguita ad opera del medesimo revisionatore, attraverso il confronto con i criteri di inclusione ed esclusione riportati in precedenza. Gli articoli che sono risultati idonei ad essere inseriti nella revisione metodologica sono stati successivamente classificati con l’etichetta “included”.

2.6. Valutazione metodologica degli studi

La presente revisione oltre ad occuparsi dell’analisi contenutistica degli studi inclusi, ha indagato anche la metodologia con cui sono stati condotti questi ultimi, in modo da associare le informazioni acquisite con una specifica attendibilità metodologica, essenziale per apprendere con quanto valore sia possibile trasferire il risultato in pratica clinica. Per tale procedura è stato lo strumento STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology), che riporta in modo dettagliato le raccomandazioni su ciò che dovrebbe essere incluso in una relazione accurata di uno studio osservazionale. Le raccomandazioni sono state definite per coprire tre principali disegni di studio: coorte, caso-controllo e studi trasversali [44]. Questo tool è stato utilizzato insieme al documento esplicativo “Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): explanation and elaboration” [45], al fine di un suo utilizzo ottimale.

Di seguito viene riportato per esteso lo strumento di valutazione qualitativa utilizzato nell’elaborato, in lingua originale.

STROBE Statement—checklist of items that should be included in reports of observational studies [44]

	Item	
	No	Recommendation
Title and abstract	1	(a) Indicate the study’s design with a commonly used term in the title or the abstract

(b) Provide in the abstract an informative and balanced summary of what was done and what was found

Introduction		
Background/rationale	2	Explain the scientific background and rationale for the investigation being reported
Objectives	3	State specific objectives, including any prespecified hypotheses
Methods		
Study design	4	Present key elements of study design early in the paper
Setting	5	Describe the setting, locations, and relevant dates, including periods of recruitment, exposure, follow-up, and data collection
Participants	6	<p>(a) Cohort study—Give the eligibility criteria, and the sources and methods of selection of participants. Describe methods of follow-up</p> <p>Case-control study—Give the eligibility criteria, and the sources and methods of case ascertainment and control selection. Give the rationale for the choice of cases and controls</p> <p>Cross-sectional study—Give the eligibility criteria, and the sources and methods of selection of participants</p> <hr/> <p>(b) Cohort study—For matched studies, give matching criteria and number of exposed and unexposed</p> <p>Case-control study—For matched studies, give matching criteria and the number of controls per case</p>

Variables	7	Clearly define all outcomes, exposures, predictors, potential confounders, and effect modifiers. Give diagnostic criteria, if applicable
Data sources/ measurement	8*	For each variable of interest, give sources of data and details of methods of assessment (measurement). Describe comparability of assessment methods if there is more than one group
Bias	9	Describe any efforts to address potential sources of bias
Study size	10	Explain how the study size was arrived at
Quantitative variables	11	Explain how quantitative variables were handled in the analyses. If applicable, describe which groupings were chosen and why
Statistical methods	12	<p>(a) Describe all statistical methods, including those used to control for confounding</p> <p>(b) Describe any methods used to examine subgroups and interactions</p> <p>(c) Explain how missing data were addressed</p> <p>(d) Cohort study—If applicable, explain how loss to follow-up was addressed</p> <p>Case-control study—If applicable, explain how matching of cases and controls was addressed</p> <p>Cross-sectional study—If applicable, describe analytical methods taking account of sampling strategy</p> <p>(e) Describe any sensitivity analyses</p>
Results		

Participants	13*	(a) Report numbers of individuals at each stage of study—eg numbers potentially eligible, examined for eligibility, confirmed eligible, included in the study, completing follow-up, and analysed
		(b) Give reasons for non-participation at each stage
		(c) Consider use of a flow diagram
Descriptive data	14*	(a) Give characteristics of study participants (eg demographic, clinical, social) and information on exposures and potential confounders
		(b) Indicate number of participants with missing data for each variable of interest
		(c) Cohort study—Summarise follow-up time (eg, average and total amount)
Outcome data	15*	Cohort study—Report numbers of outcome events or summary measures over time
		Case-control study—Report numbers in each exposure category, or summary measures of exposure
		Cross-sectional study—Report numbers of outcome events or summary measures
Main results	16	(a) Give unadjusted estimates and, if applicable, confounder-adjusted estimates and their precision (eg, 95% confidence interval). Make clear which confounders were adjusted for and why they were included
		(b) Report category boundaries when continuous variables were categorized
		(c) If relevant, consider translating estimates of relative risk into absolute risk for a meaningful time period
Other analyses	17	Report other analyses done—eg analyses of subgroups and interactions, and sensitivity analyses

Discussion

Key results	18	Summarise key results with reference to study objectives
Limitations	19	Discuss limitations of the study, taking into account sources of potential bias or imprecision. Discuss both direction and magnitude of any potential bias
Interpretation	20	Give a cautious overall interpretation of results considering objectives, limitations, multiplicity of analyses, results from similar studies, and other relevant evidence
Generalisability	21	Discuss the generalisability (external validity) of the study results
Other information		
Funding	22	Give the source of funding and the role of the funders for the present study and, if applicable, for the original study on which the present article is based

*Give information separately for cases and controls in case-control studies and, if applicable, for exposed and unexposed groups in cohort and cross-sectional studies.

La valutazione metodologica è stata effettuata dal medesimo revisionatore che ha effettuato il processo di selezione degli articoli.

3. RISULTATI

3.1. Selezione degli studi

3.1.1. PUBMED

La ricerca iniziale in Pubmed, comprensiva delle tre stringhe riportate in precedenza, ha ottenuto complessivamente 736 articoli da analizzare. La prima stringa di ricerca ha riportato come risultato finale 95 articoli, la seconda 446 , e la terza 195 .

Dopo la ricerca iniziale è stato effettuato un processo di screening per identificare gli articoli da includere nella revisione ed analizzare. In prima battuta, sono stati eliminati i duplicati ed esaminati i titoli, eliminando gli articoli non pertinenti al topic di ricerca.

Dopo questa prima fase sono stati individuati 365 articoli da includere nel processo di valutazione successiva.

Successivamente, sono stati analizzati gli abstract, eliminando ulteriori articoli non inerenti al macro-argomento di ricerca, che dal titolo risultavano ancora dubbi. Gli articoli da sottoporre ai criteri di inclusione ed esclusione risultavano essere 273.

In questa seconda fase, sono stati indagati la disponibilità effettiva del full text , la tipologia di studio, la pertinenza al topic specifico dell'elaborato (fattori di rischio, eziologia e meccanismi traumatici), e la lingua dell'elaborato.

Dopo questa fase selezione, è stato quindi esaminato il full-text degli articoli rimanenti, per deciderne l'inclusione definitiva nello studio.

Al termine di quest'ultima fase di selezione più specifica, gli articoli finali inclusi nello studio tramite la ricerca effettuata su Pubmed sono 9.

3.1.2. WEB OF SCIENCE

La ricerca iniziale su Web of Science ha riportato 390 articoli su cui impostare la selezione. La prima stringa di ricerca ha fruttato come risultato finale 247 articoli, la seconda 143.

Dopo questa prima fase è stato effettuato un processo di screening per identificare gli articoli da includere nella revisione ed analizzare. Innanzitutto, sono stati eliminati i duplicati, gli articoli già presenti nella bibliografia risultante dalla ricerca su Pubmed e gli articoli non inerenti al topic di ricerca dell'elaborato.

Dopo questa prima esclusione, sono 228 articoli gli articoli da analizzare con i criteri di inclusione ed esclusione dell'elaborato.

È stato quindi esaminato il full-text degli articoli rimanenti, per deciderne l'inclusione effettiva nello studio.

Al termine di quest'ultima fase di selezione più specifica, gli articoli passibili di inclusione nello studio per la ricerca effettuata su Web of Science sono 4.

3.1.3. PEDRO

Nonostante questa strategia di ricerca molto specifica riportata in precedenza, i risultati ottenuti sono stati numericamente scarsi (58 articoli totali) e non pertinenti con il topic del presente elaborato. Per questo motivo non è stato incluso nella revisione nessun articolo derivante dalla ricerca bibliografica effettuata su questo database.

3.2. Flow-chart selezione articoli

È stato creato un apposito flowchart per riassumere schematicamente il processo di selezione appena descritto.

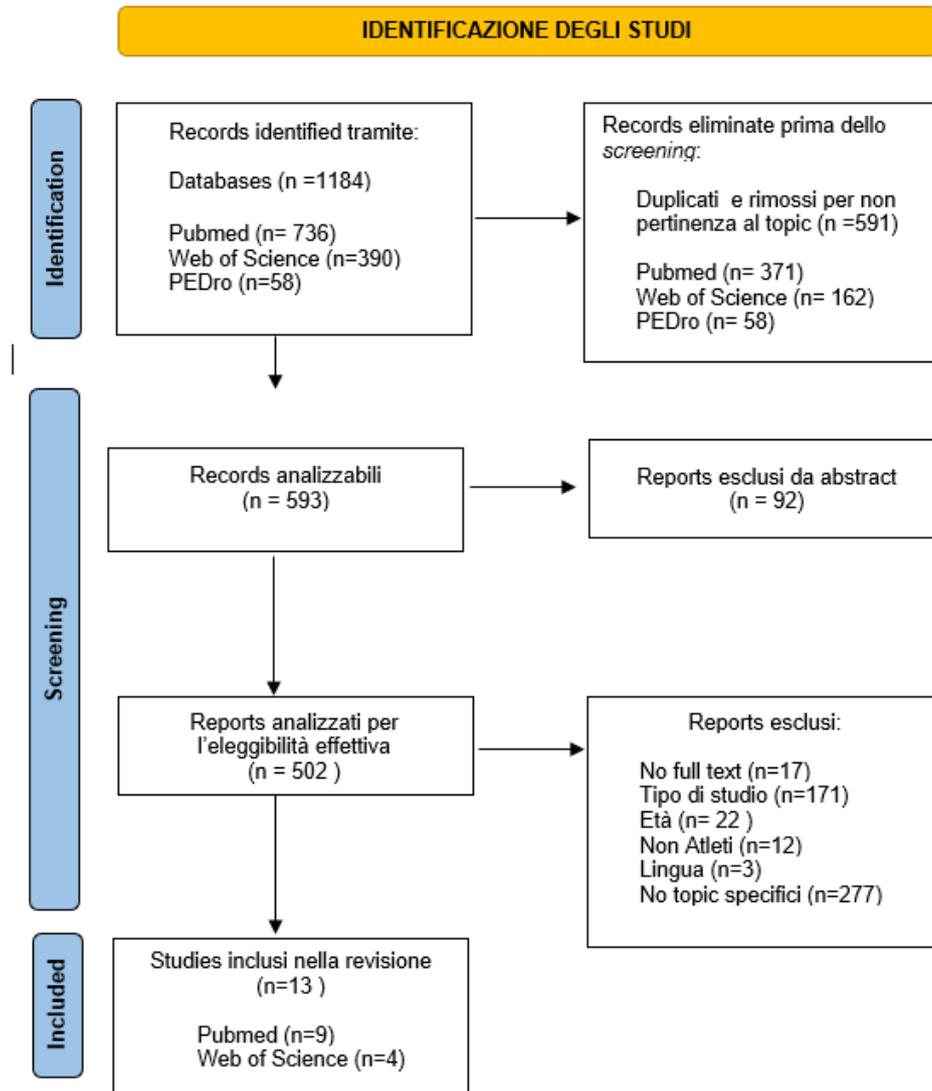


Fig.7: Flow-chart di selezione articoli

3.3. Studi inclusi nella revisione

I 13 articoli inseriti nella revisione sono studi di coorte e cross-sectional compatibili con i criteri di inclusione ed esclusione. Di seguito, vengono riportate tre tabelle dove gli studi saranno descritti seguendo le categorie del modello PEO proposto nella parte di “Materiali e metodi” dell’elaborato.

Per una migliore organizzazione, anche in questa parte del lavoro sono state mantenute tre macrocategorie, sulla base dei tre topic specifici della ricerca effettuata: fattori di rischio,

epidemiologia e meccanismi traumatici. In aggiunta, è stata inserita la numerazione progressiva degli studi inclusi, l'autore, il titolo e la tipologia di studio

3.3.1. Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: fattori di rischio

N°	Autori	Titolo	Tipo di studio	Popolazione	Fattore di rischio (exposure)	Outcome
1	Donaldson (2014)	"Spondylolysis in elite junior-level ice hockey players. Sports Health." [46]	Coorte	Giocatori di hockey su ghiaccio d'élite a livello giovanile Maschi, età compresa tra i 15 e i 18 anni. Anamnesi positiva per dolore lombare. n=25	Movimenti ripetuti sport-specifici (Hockey)	a) Spondilolisi. b) Livello di lesione c) Lato di lesione e lato di tiro
2	Bennett et al (2006)	"Lumbar spine MRI in the elite-level female gymnast with low back pain." [47]	Cross-sectional	Diciannove ginnaste di livello olimpico. Età 12-20 anni, età media 16 anni. CASI: n=4 ginnaste sintomatiche CONTROLLI: n=15 ginnaste asintomatiche	Movimenti ripetuti sport-specifici (ginnastica artistica)	a) Anomalie alla MRI, b) Correlazione tra anomalie in MRI e atlete sintomatiche

				n=19		
3	Takei et al (2022)	“Is Increased Kicking Leg Iliopsoas Muscle Tightness a Predictive Factor for Developing Spondylolysis in Adolescent Male Soccer Players” [48]	Coorte	<p>Calciatori adolescenti maschi giapponesi</p> <p>Età 12-13, età media 12,3 anni.</p> <p>n=195</p>	<p>Aumento di tensione del muscolo ileopsoas nella gamba che effettua il calcio.</p>	<p>a) Anomalie alla MRI, alla baseline.</p> <p>b) Anomalie alla MRI, follow-up ad 1 anno.</p> <p>c) asimmetria della tensione del muscolo ileopsoas in nella gamba di calcio vs gamba di appoggio fra i due gruppi.</p> <p>d) asimmetria di rigidità del muscolo ileopsoas nella gamba di calcio vs gamba di appoggio nel gruppo di casi</p> <p>e) differenze di rigidità del muscolo ileopsoas tra le due gambe nel gruppo di controlli.</p>
4	Schroeder et al (2016)	“The role of intense athletic activity on structural lumbar abnormalities in adolescent patients with symptomatic low back pain.” [49]	Coorte	<p>Pazienti con dolore lombare, risonanza magnetica effettuata e frequente attività atletica.</p> <p>Età 10-18 anni</p> <p>-ATLETI: almeno 5 giorni o 20 ore di sport a settimana, o</p>	Attività sportiva	<p>a) Prevalenza di patologie lombari in MRI.</p> <p>b)Rischio di spondilolisi atleti vs non atleti.</p> <p>c)Reazione da stress della pars senza rottura corticale.</p> <p>d) Differenza tra gruppi in: incidenza, inclinazione sacrale, o</p>

				<p>facenti parte di una squadra sportiva universitaria</p> <p>Suddivisi in sport da contatto, da iperestensione e/o da rotazione del tronco.</p> <p>n1=66</p> <p>-CONTROLLI: meno di 3 giorni o 5 ore di sport alla settimana n2= 48</p> <p>n=114</p>		inclinazione pelvica.
5	Selhorst et al (2017)	“Prevalence of Spondylolysis in Symptomatic Adolescent Athletes: An Assessment of Sport Risk in Nonelite Athletes.” [50]	Coorte	<p>Atleti con sintomi di LBP.</p> <p>Età 10-19 anni)</p> <p>n= 1025</p>	Sport a livello non agonistico.	<p>a) Spondilolisi,</p> <p>b)Rischio di spondilolisi in base al sesso</p>
6	Engstrom et al (2007)	“Pars interarticulari s stress lesions in the lumbar spine of cricket fast bowlers.” [51]	Coorte	<p>Giocatori di cricket (N = 56) e nuotatori (N = 20).</p> <p>Età 13-17 anni. No LBP. No precedenti trattamenti per fratture da stress lombari.</p>	Movimenti ripetuti sport-specifici (cricket)	a) Fratture da stress sintomatiche, rilevate tramite MRI, nei giocatori di CRICKET.

				n=76		
7	Tsutsui et al (2023)	“Risk Factors for Symptomatic Bilateral Lumbar Bone Stress Injury in Adolescent Soccer Players: A Prospective Cohort Study” [52]	Coorte	<p>Calciatori maschi adolescenti giapponesi</p> <p>Età 12-14 anni</p> <p>n= 404</p> <p>Giocatori esclusi: 142</p> <p>Giocatori analizzati: 262</p>	<p>Presenza di reazioni da stress asintomatiche</p> <p>Angolo di inclinazione e sacrale (SS)</p> <p>Angolo di lordosi lombare (LL)</p> <p>Rigidità hamstrings</p> <p>Rapporto SS /LL</p>	<p>a) Fratture da stress lombari bilaterali (BSI).</p> <p>b) Reazioni da stress peduncolari (BME) asintomatiche.</p> <p>c) Correlazione incidenza BSI e presenza BME.</p> <p>d) Correlazione incidenza BSI e ampiezza SS.</p> <p>e) Correlazione incidenza BSI e ampiezza LL.</p> <p>f) Correlazione incidenza BSI e rigidità hamstrings.</p> <p>g) Correlazione incidenza BSI e rapporto SS/LL.</p>
8	Hecimovich et al (2016)	“Lumbar Sagittal Plane Spinal Curvature and Junior-Level Cricket Players.” [53]	Cross-sectional	<p>Giocatori adolescenti di cricket.</p> <p>Età 13-17 anni, età media 14,3.</p> <p>Maschi n=33 Femmine n = 26</p> <p>Sottogruppi di indagine:</p>	Lordosi lombare	<p>a) Differenza di lordosi tra maschi e femmine.</p> <p>b) Differenza lordosi tra coloro che hanno avuto una pregressa problematica lombare ed il gruppo di controlli.</p>

				<p>CASI: n= 25 presenza di precedenti infortuni a livello lombare, correlati a gesti sport-specifici del cricket.</p> <p>CONTROLLI: n = 34 assenza di precedenti infortuni.</p> <p>n=59</p>		
9	Yokoe et al (2021)	"Predictors of Spondylolysis on Magnetic Resonance Imaging in Adolescent Athletes With Low Back Pain." [54]	Coorte	<p>Atleti adolescenti con LBP di origine non diagnosticata, sottoposti a RM come metodo di diagnostica avanzata.</p> <p>Assenza di sintomi e reperti neurologici.</p> <p>Età 11-18 anni.</p> <p>n=122</p>	Reperti radiografici indicativi (interpretabili come fattore di rischio)	<p>a) Spondilolisi vs LBP aspecifico</p> <p>b) differenza sesso tra i gruppi.</p> <p>c) differenza angolo di lordosi lombare (LL) medio tra i due gruppi</p> <p>d) differenza angolo di lordosi lombare (LL) medio nella popolazione maschile, tra i due gruppi.</p> <p>e) rapporto medio L1:L5 negli atleti con spondilolisi vs LBP aspecifico</p> <p>f) fattori clinici e radiografici di maggiore probabilità di spondilolisi.</p>

10	Connolly et al (2020)	“Lumbar spine abnormalities and facet joint angles in asymptomatic elite junior tennis players” [55]	Cross-sectional	Tennisti adolescenti d'élite destrimani (maschi 14, femmine 11). Età media 13 ± 1,7 anni (range 11-17 anni). n=25	Movimenti ripetuti sport-specifici (Tennis) Orientamento delle faccette articolari lombari	a) Anomalie alla MRI

Tab.11: Tabella riassuntiva articoli selezionati riguardanti i fattori di rischio

3.3.2. Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: epidemiologia

N°	Autori	Titolo	Tipo di studio	Popolazione	Exposure	Outcome
1	Maurer et al (2011)	“Spine abnormalities depicted by magnetic resonance imaging in adolescent rowers” [56]	Cross-sectional	Adolescenti maschi asintomatici, distribuiti in 2 gruppi di 22 canottieri e 22 soggetti di controllo. Età 12-17 anni. CASI: vogatori in squadra di canottaggio per almeno 12 mesi, allenamento costante almeno 5 volte alla settimana per circa 2 ore.	Movimenti ripetuti sport-specifici (canottaggio)	a) Anomalie alla MRI b) Frequenza della reazione da stress della pars interarticularis nei canottieri d'élite.

				<p>CONTROLLI: 22 adolescenti asintomatici, abbinati ai casi in base all'età, al peso e all'altezza, e altezza; non praticata alcuna attività fisica regolare.</p> <p>n=44</p>		
2	Peterhans et al (2020)	<p>“High Rates of Overuse-Related Structural Abnormalities in the Lumbar Spine of Youth Competitive Alpine Skiers: A Cross-sectional MRI Study in 108 Athletes” [57]</p>	Cross-sectional	<p>Giovani sciatori alpini agonisti.</p> <p>Età 13-15 anni</p> <p>n=108</p> <p>SINTOMATICI n=16 atleti con almeno un episodio di problematiche di overuse della colonna, registrato durante i 12 mesi precedenti RM.</p> <p>ASINTOMATICI n=81</p>	Movimenti ripetuti sport-specifici (sci alpino)	<p>a) Anomalie alla MRI</p> <p>b) Correlazione reperti in MRI ed età.</p> <p>c) Correlazione prevalenza di anomalie della pars e Δ height (crescita in altezza, in cm, nell'ultimo anno).</p>

Tab.12: Tabella riassuntiva articoli selezionati riguardanti l'epidemiologia

3.3.3. Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: meccanismi traumatici

N°	Autori	Titolo	Tipo di studio	Popolazione	Meccanismo traumatico (exposure)	Outcome
1	Terai et al (2010)	“Spondylolysis originates in the ventral aspect of the pars interarticularis: a clinical and biomechanical study.” [58]	Cross-sectional	Pazienti sportivi con spondilolisi allo stadio precoce. Età 11-17. 7 maschi 3 femmine n=10	Movimenti ripetuti in estensione e rotazione assiale sport-correlati (basket, calcio, pallavolo, corsa, tennis)	a) Anomalie MRI b) sito di frattura c) Correlazione con risultati studio biomeccanico.

Tab.13: Tabella riassuntiva articoli selezionati riguardanti i meccanismi traumatici

3.4. Valutazione metodologica degli studi

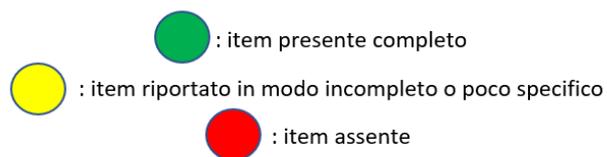
Nel seguente capitolo specifico, è riportata una tabella riassuntiva riguardante l’analisi della qualità metodologica effettuata tramite lo strumento STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) per studi di coorte, caso-controllo e trasversali [44].

Questo tools è stato utilizzato insieme al documento esplicativo “Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): explanation and elaboration” [45], al fine di un suo utilizzo ottimale.

Ogni item dello strumento in questione è stato ricercato all’interno di ognuno dei 13 articoli inclusi nel lavoro di revisione. Insieme alla tabella riassuntiva è stata riportata una legenda esplicativa al fine di una migliore interpretazione dei dati riportati qui sinteticamente. L’analisi completa effettuata è riportata nella parte di Appendice (Capitolo 7) della presente revisione.

STUDIO	Donaldson [46]	Bennet [47]	Takei [48]	Schroeder [49]	Selhorst [50]	Engstrom [51]	Tsutsui [52]	Hecimovich [53]	Yokoe [54]	Connolly [55]	Maurer [56]	Petermans [57]	Terao [58]
1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
7	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
10	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
11	○	○	○	●	○	○	●	○	●	○	○	●	○
12	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
13	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
14	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
15	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
16	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
17	○	●	●	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○
18	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
19	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
20	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
21	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
22	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Legenda:



Tab.14: Tabella riassuntiva valutazione metodologica tramite strumento STROBE [44]

Gli items non individuati o non riportati all'interno della letteratura revisionata non sono stati contrassegnati con i simboli riportati in legenda.

Gli items contrassegnati con il simbolo dell'asterisco (*) sono coloro i quali, nello strumento STROBE [44] comprendevano più quesiti secondari. In questi casi, al fine di un più chiaro impatto visivo della tabella, è stata riportata un'analisi sommaria delle diverse sottocomponenti.

3.5. Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: fattori di rischio

Un fattore di rischio è una specifica condizione che risulta statisticamente associata ad una malattia e che pertanto si ritiene possa concorrere alla sua patogenesi, favorirne lo sviluppo o accelerarne il decorso. Un fattore di rischio non è pertanto un agente causale, ma un indicatore di probabilità che lo stesso possa associarsi ad una determinata condizione clinica; la sua assenza non esclude la comparsa della malattia, ma la sua presenza, o la compresenza di più fattori di rischio, aumenta notevolmente il rischio di malattia. Il fattore di rischio può essere un aspetto del comportamento, una caratteristica intrinseca del soggetto o genetica, un'esposizione ambientale o uno stile di vita [86].

Gli studi inclusi nella revisione in cui l'utilizzo è stata effettuata un'analisi dei fattori di rischio di sviluppo di spondilolisi in campioni includibili tramite i criteri di questo elaborato sono 10.

Quattro studi hanno indagato l'influenza di movimenti ripetuti sport-specifici sullo sviluppo di problematiche spondilolitiche: Donaldson (2014) ha sviluppato la sua indagine in un campione di giocatori di Hockey [46], Bennet et al(2006) hanno analizzato il riscontro di anomalie della pars in una coorte di ginnaste professioniste [47], Engstrom et al (2007) ha indagato l'impatto del gesto di lancio effettuato nel cricket sulla comparsa di spondilolisi [51], ed infine, Connolly et al (2020)

hanno posto il loro focus su di un gruppo di giovani tennisti di elite e le relative anomalie riscontrate tramite analisi con risonanza magnetica (RM). [55]

Due studi hanno analizzato l’impatto dell’attività sportiva in generale, agonistica e non, rispetto alla probabilità di sviluppare spondilolisi: Schroeder et al (2016) hanno comparato l’incidenza di reperti radiografici presenti in RM in un gruppo di atleti adolescenti agonisti rispetto ad un gruppo di controllo di atleti occasionali [49], Selhorst et al (2017) hanno effettuato un’analisi di prevalenza correlata alla partecipazione a diverse attività sportive in una popolazione di giovani atleti non agonisti. [50]

Infine, altri quattro studi si sono focalizzati su una serie di fattori di rischio più specifici nelle casistiche da essi indagate: Takei et al (2022) hanno valutato come un’aumentata rigidità muscolare dell’ileopsoas della gamba di tiro possa influenzare lo sviluppo di spondilolisi in giocatori di calcio adolescenti di sesso maschile [48], Tsutsui et al (2023) si sono concentrati sulla correlazione presente fra vari reperti ritrovati in RM (fra cui reazioni da stress asintomatiche, angolo di inclinazione sacrale SS, angolo di lordosi lombare LL e rapporto SS /LL) ed all’esame obiettivo (rigidità hamstrings ed altre catene muscolari) rispetto alla possibilità di sviluppare anomalie della pars bilaterali [52], Hecimovich et al (2016) hanno valutato l’influenza del grado di curvatura lombare su una coorte di giocatori adolescenti di cricket [53], infine Yokoe et al (2021) si sono focalizzati sui possibili predittori di spondilolisi in RM in atleti adolescenti con dolore lombare [54].

I risultati ottenuti sono stati riportati in modo più dettagliato di seguito.

3.5.1. Movimenti ripetuti sport-specifici

N°	Autori	Titolo	Tipo di studio	Popolazione	Fattori di rischio	Outcome
1	Donaldson (2014)	“Spondylolysis in elite junior-level ice hockey players. Sports Health.” [46]	Coorte	Giocatori di hockey su ghiaccio d’élite a livello giovanile, inclusi in un	Movimenti ripetuti sport-specifici (Hockey)	Spondilolisi, presente in 11 giocatori su 25 (44%). Livello di lesione:

				<p>unico programma di studio per 15 anni (1996-2011). Tutti i giocatori erano maschi di età compresa tra i 15 e i 18 anni, con anamnesi positiva per dolore lombare.</p> <p>n=25</p>		<p>-L5 (55%) -L4 (36%)</p> <p>Lato di lesione e lato di tiro: -omolaterale 73% -controlaterale 27%.</p>
2	Bennett et al (2006)	"Lumbar spine MRI in the elite-level female gymnast with low back pain." [47]	Cross-sectional	<p>Diciannove ginnaste di livello olimpico (età 12-20 anni, età media 16 anni), partecipanti ad un camp nazionale.</p> <p>CASI 4 ginnaste sintomatiche (1 con LBP in anamnesi)</p> <p>CONTROLLI 15 ginnaste asintomatiche (7 con LBP in anamnesi)</p> <p>n=19</p>	Movimenti ripetuti sport-specifici (ginnastica artistica)	<p>a)Anomalie alla MRI, presenti in 10 atlete su 19 (53%):</p> <ul style="list-style-type: none"> -lesioni apofisarie anteriori (9/19) -degenerazione discale (12/19) -spondilolisi (3/19) -spondilolistesi (3/19). -edema focale del midollo osseo (1/19) <p>b)Correlazione tra anomalie in MRI e atlete sintomatiche con LBP: confronto fra casi e controlli tramite Test di Fisher (p value):</p>

						<ul style="list-style-type: none"> -lesioni apofisarie anteriori 0,3 -Spondilolisi 0,004 (significativo statisticamente) -Spondilolistesi 0,004 (significativo statisticamente) -degenerazione discale 0,2 -ernia del disco 1,0 -stiramento muscolare 0,4 -edema del midollo osseo 0,09
3	Engstrom et al (2007)	“Pars interarticularis stress lesions in the lumbar spine of cricket fast bowlers.” [51]	Coorte	<p>Giocatori di cricket (N = 56) e nuotatori (N = 20), età 13-17 anni, privi di dolore lombare, no precedenti trattamenti per una frattura da stress della colonna lombare.</p> <p>n=76</p>	Movimenti ripetuti sport-specifici (cricket)	<p>a)Fratture da stress sintomatiche, rilevate tramite MRI, nei giocatori di CRICKET.</p> <p>-10/51 fratture L5 preesistenti asintomatiche (20%)</p> <p>-L4: 11/51 (22% vs 0/20 nuotatori, P= 0.027)</p> <p>Tutte unilaterali, dal lato opposto al braccio di lancio.</p> <p>4/11 (36%) sviluppate in giocatori con difetti L5 preesistenti.</p>

						<p>7/11 (64%) fratture ex-novo.</p> <p>-L5: 1/51</p> <p>Analisi comprensiva con le 10 fratture preesistenti:</p> <p>8/11 (73%) bilaterali. 3/11 (27%) unilaterali, 1 dal lato di lancio, 2 lato opposto.</p>
4	Connolly et al (2020)	"Lumbar spine abnormalities and facet joint angles in asymptomatic elite junior tennis players" [55]	Cross-sectional	<p>Venticinque tennisti adolescenti d'élite destrimani (maschi 14, femmine 11), età media 13 ± 1,7 anni (range 11-17 anni), frequentanti un'accademia nazionale di tennis.</p> <p>n=25</p>	<p>Movimenti ripetuti sport-specifici (Tennis)</p> <p>Orientamento delle faccette articolari lombari</p>	<p>Anomalie alla MRI, presenti in 16 giocatori su 25 (64%).</p> <p>Anomalie: Lesioni pars 36% Edema del midollo osseo (BMO) 24% Ernia disco 20% Degenerazione discale 44% Degenerazione zigoapofisaria 24% Spondilolistesi 4% (1 caso).</p> <p>Angoli zigoapofisari: più ampi in L3/4 L5/S1 nelle femmine rispetto ai maschi (p < 0,01). più ampi in soggetti con</p>

						anomalie della pars, rispetto a soggetti sani (p <0,001).
--	--	--	--	--	--	---

Tab.15: Tabella riassuntiva risultati riguardanti fattori di rischio inerenti a movimenti ripetuti sport-specifici

I risultati dello studio di Donaldson (2014) dimostrano un chiaro rischio di spondilolisi nei giocatori di hockey su ghiaccio, con una conseguente notevole perdita di allenamenti e tempo di gioco. Nel campione di studio, difetti radiologici riconducibili a spondilolisi sono stati riscontrati in 11 giocatori su 25 (44%). Il livello di lesione prevalente è risultato essere L5 (55%) seguito da L4 (36%). [46]

È stata riscontrata una maggior prevalenza di spondilolisi sul lato omolaterale del tiro (73%) rispetto al lato opposto (27%). In nessuno dei casi di spondilolisi analizzati è stato segnalato un trauma acuto come possibile evento scatenante la comparsa di frattura della pars

Bennet et al (2006) hanno focalizzato il loro lavoro su un gruppo di ginnaste di elite, andando ad indagare la correlazione fra lo sport in questione, la presenza di reperti anomali riscontrabili tramite risonanza magnetica (RM,MRI) e la loro presenza in atlete sintomatiche e no, ipotizzando una parità di prevalenza nei due gruppi. Tale ipotesi non è stata tuttavia confermata dai risultati ottenuti dallo studio prospettico effettuato: di fatti, spondilolisi, spondilolistesi, edema midollare del peduncolo (BMO) bilaterale e stiramenti muscolari sono stati riscontrati solo ed unicamente nelle ginnaste sintomatiche.[47]

Il gesto tecnico di lancio effettuato nel cricket è stato direttamente associato allo sviluppo di lesioni pars sintomatiche della colonna lombare. In particolare, nello studio di Engstrom et al (2007), sono state riscontrate lesioni da stress unilaterali a livello di L4 in una percentuale significativa di giocatori di cricket adolescenti esaminati, comparati ad un gruppo di controllo di giovani nuotatori. [51]

Riportando per esteso i dati ottenuti, si sono sviluppate lesioni sintomatiche nel 24% dei giocatori presi in studio. Di esse, 11 giocatori di cricket su 51 inclusi nello studio, hanno sviluppato fratture da stress sintomatiche a livello di L4 (22%), contro le zero ritrovate nel gruppo di nuotatori (P=

0.027). Tutte le anomalie riscontrate sono risultate essere unilaterali, dal lato opposto al braccio di lancio. Di questi reperti, 4 su 11 (36%) si sono sviluppati in giocatori con difetti L5 preesistenti, mentre la restante parte (7 anomalie su 11, 64%) erano fratture ex-novo. A livello L5, sono state ritrovate 10 anomalie preesistenti asintomatiche (20%) e solo 1 è risultata essere una frattura di nuova comparsa, sintomatica. Complessivamente, di queste 11 anomalie riscontrate, 8 (73%) erano bilaterali e solo 3 (27%) unilaterali, una omolaterale al braccio di lancio e due controlaterali ad esso. [51]

Le lesioni di L4 hanno mostrato una regione asimmetrica a bassa intensità di segnale all'interno della pars, coerente con una frattura da stress guarita o in via di guarigione, mentre le lesioni L5 apparivano come difetti non uniti di intensità di segnale bassa ed intermedia. [51]

Lo sviluppo di anomalie della pars sintomatiche di L4 e L5 nella coorte di giocatori di cricket indagati, come identificato dagli esami di risonanza magnetica e confermato da scansioni isotopiche dell'osso, si è verificato in individui di età compresa tra i 15-17 anni. [51]

Connolly et al (2020) hanno riportato come la degenerazione del disco, le anomalie della pars (compreso l'edema del midollo osseo, BMO), e la degenerazione delle articolazioni zigoapofisarie sono risultati comuni in indagini diagnostiche eseguite tra i tennisti adolescenti d'élite. [55]

Nell'indagine, effettuata su una coorte di giovani tennisti a livello elite, i giocatori con un'anomalia della pars rilevata tramite risonanza magnetica (MRI) presentavano angoli articolari delle faccette significativamente più ampi rispetto ai giocatori con una pars normale.

Sempre nel medesimo studio, la maggior parte delle anomalie della pars erano bilaterali, con pochi difetti riscontrati solo sul lato dominante. Un totale di 9 giocatori su 25 (36%) presentava anomalie della pars (7 maschi, 2 femmine), a livello di L4 e L5. Nessuna era presente tra L1 e L3. Due giocatori presentavano anomalie a L4 e sette giocatori a L5. Tre giocatori presentavano anomalie isolate della pars destra, mentre i restanti sei giocatori presentavano anomalie bilaterali della pars. Nessun giocatore presentava anomalie isolate della pars sinistra.

Sono stati riscontrati sette casi di anomalie di grado 1 (reazione da stress), due casi di grado 2a (frattura incompleta attiva), un caso di grado 2b (frattura cronica) e cinque casi di anomalie della pars di grado 4 (frattura completa cronica). In questo studio non sono stati rilevati casi di anomalie della pars di grado 3 (frattura completa attiva). [55]

3.5.2. Attività sportiva, agonistica e non agonistica

N°	Autori	Titolo	Tipo di studio	Popolazione	Fattori di rischio	Outcome
1	Schroeder et al (2016)	"The role of intense athletic activity on structural lumbar abnormalities in adolescent patients with symptomatic low back pain." [49]	Coorte	<p>Pazienti con dolore lombare, risonanza magnetica lombare e frequente attività atletica (età 10-18)</p> <p>Sottogruppi: -ATLETI: almeno 5 giorni o 20 ore di sport a settimana, o facenti parte di una squadra sportiva universitaria Suddivisi in sport da contatto, da iperestensione e/o da rotazione del tronco. n1=66</p> <p>-CONTROLLI: meno di 3 giorni o 5 ore di sport alla settimana n2= 48 n=114</p>	Attività sportiva	<p>a) Prevalenza di patologie lombari in MRI: 55%.</p> <p>b)Rischio di spondilolisi: aumentato in atleti vs non atleti (32 vs. 2 %, p = 0,0003)</p> <p>c)Reazione da stress della pars senza rottura corticale: 8 atleti vs 1 non atleta (12 vs. 2 %, p = 0.08)</p> <p>d)Nessuna differenza significativa tra i due gruppi in: incidenza pelvica (51,5 vs. 49,5, p = 0,54), inclinazione sacrale (38,8 vs. 37,3, p = 0,55), o inclinazione pelvica (12,6 vs. 12,3, p = 0,89).</p>

						e)Nessuna differenza nella prevalenza di degenerazione o ernia del disco in atleti vs non atleti.
2	Selhorst et al (2017)	“Prevalence of Spondylolysis in Symptomatic Adolescent Athletes: An Assessment of Sport Risk in Nonelite Athletes.” [50]	Coorte	Atleti con sintomi di LBP (età 10-19 anni) che si sono rivolti in un ambulatorio di medicina dello sport di Columbus, Ohio tra gennaio 2010 e dicembre 2013 n= 1025	Sport a livello non agonistico. Indagati 14 sport per gli atleti maschi e 11 per le atlete femmine.	a)Spondilolisi, presente in 308 casi su 1025 (30,0%): -bilaterale 47,5% -unilaterale 35% - spondilolistesi 17,5% -L5 livello più lesionato,197 pazienti (64%). -16 pazienti hanno lesioni a più livelli vertebrali. (5,2%) b)Rischio di spondilolisi in base al sesso: MASCHI: baseball (54%) calcio (48%) hockey (44%) FEMMINE ginnastica (34%) ginnastica ritmica (31%) softball (30%)

						<p>Atleti maschi hanno una probabilità 1,5 volte maggiore di avere una spondilolisi rispetto agli atleti di sesso femminile (37% vs 24%, $P < 0,01$).</p>
--	--	--	--	--	--	---

Tab.16: Tabella riassuntiva risultati riguardanti fattori di rischio inerenti ad attività sportiva agonistica e non agonistica

Schroeder et al (2016) hanno concentrato il loro focus sulla valutazione dell'impatto dell'attività sportiva adolescenziale sull'aumento del rischio di riscontrare anomalie strutturali della colonna vertebrale lombare in un'indagine con risonanza magnetica (MRI). È stata riscontrata una prevalenza complessiva di patologie lombari nel 55% degli atleti analizzati. Il rischio di spondilolisi risulta aumentato negli atleti rispetto al gruppo di controllo, con percentuali rispettive del 32 % vs. 2 %, con una significatività statistica pari a $p=0,0003$. La presenza di reazioni da stress della pars senza rottura corticale è apparsa in 8 atleti rispetto ad 1 solo non atleta, con percentuali rispettive del 12% vs. 2 %, con una significatività statistica pari a $p = 0,08$.

Nessuna differenza significativa è emersa tra i due gruppi riguardo a incidenza pelvica (51,5 vs. 49,5, $p = 0,54$), inclinazione sacrale (38,8 vs. 37,3, $p = 0,55$) ed inclinazione pelvica (12,6 vs. 12,3, $p = 0,89$).

Il tipo di sport praticato (da contatto, iperestensione prevalente, rotazione prevalente) non ha influenzato significativamente il tasso di anomalie rilevate in MRI. Mentre gli atleti di sport rotazione-prevalente hanno

la più alta prevalenza di spondilolisi (55%), sia gli atleti di sport da rotazione che non hanno una maggiore prevalenza di spondilolisi rispetto ai non atleti. Risultati simili sono stati osservati negli atleti di sport iperestensione-prevalente. [49]

Gli atleti agonisti che si allenano almeno 5 giorni alla settimana o almeno 20 ore alla settimana che presentano dolore lombare sintomatico hanno un tasso più elevato di spondilolisi rispetto a quelli che si allenano meno di 3 giorni alla settimana o meno di 5 ore alla settimana. [49]

Selhorst et al (2017) hanno analizzato 1025 atleti con sintomatologia riconducibile a LBP, di età compresa fra 10 e 19 anni, che si sono rivolti ad un ambulatorio di medicina dello sport di Columbus, Ohio, tra gennaio 2010 e dicembre 2013. Tutti i componenti del campione analizzato praticavano sport a livello non agonistico. Sono stati indagati 14 sport differenti per gli atleti maschi e 11 per le atlete femmine. [50]

Le lesioni spondilolitiche sono state riscontrate, tramite risonanza magnetica, in 308 (30,0%) pazienti. [50]

Nei pazienti con spondilolisi, il più delle volte sono state riscontrate lesioni bilaterali (47,5%) e le lesioni unilaterali (35%) sono state notate più spesso rispetto alla presenza di spondilolistesi (17,5%).

La vertebra L5 è stata la più comunemente colpita ed è risultata lesionata in 197 pazienti (64%). Sedici pazienti (5,2%) hanno subito lesioni a più livelli vertebrali.

Gli atleti maschi avevano una probabilità 1,5 volte superiore di avere una spondilolisi rispetto alle atlete di sesso femminile (valore $P < 0,01$). Il 37% degli atleti di sesso maschile presentava una spondilolisi, mentre le femmine avevano una spondilolisi solo nel 24% dei casi. [50]

Gli autori hanno riscontrato che il rischio di spondilolisi in atleti non elite varia in base al sesso, con il baseball (54%), il calcio (48%) e l'hockey (44%) con la più alta prevalenza nei maschi e ginnastica artistica (34%), ginnastica ritmica (31%) e softball (30%) per le atlete femmine. [50]

Il baseball è stato l'unico sport a dimostrare un aumento statisticamente significativo del rischio di spondilolisi. Nessuno sport tra le atlete donne ha aumentato significativamente il rischio relativo di spondilolisi. [50]

416 pazienti praticavano più di uno sport (40,6%). La specializzazione in un singolo sport non è stata associata a un aumento del rischio di spondilolisi rispetto agli atleti multisport ($P=0,21$). [50]

Gli atleti partecipanti a più sport con rischio più elevato di spondilolisi non presentavano un rischio maggiore di diagnosi di spondilolisi. [50]

3.5.3. Altri fattori di rischio

N°	Autori	Titolo	Tipo di studio	Popolazione	Fattori di rischio	Outcome
1	Takei et al (2022)	“Is Increased Kicking Leg Iliopsoas Muscle Tightness a Predictive Factor for Developing Spondylolysis in Adolescent Male Soccer Players” [48]	Coorte	Calciatori adolescenti maschi giapponesi della stessa squadra. Un totale di 195 ragazzi (età 12-13, età media 12,3 anni) aggregati alla squadra tra il 2012 e il 2016. n=195	Aumento di tensione del muscolo ileopsoas nella gamba che effettua il calcio.	<p>a) Anomalie alla MRI, alla baseline: -40 atleti con reazione da stress del peduncolo asintomatiche (20,5%)</p> <p>b) Anomalie alla MRI, follow-up ad 1 anno: 38 atleti esaminati 16 atleti con fratture da stress (42,1%) -L5 bilaterale (8/16) -L5 sul lato del calcio (6/16) -L4 bilaterale + L5 sul lato di calcio (1/16) -L4 sul lato di calcio + L5 sul lato di appoggio (1/16)</p> <p>22 atleti nel gruppo di controllo (57,9%), di cui 11</p>

						<p>asintomatici e 11 guariti</p> <p>c) asimmetria della tensione del muscolo ileopsoas in nella gamba di calcio vs gamba di appoggio significativa fra i due gruppi (P=0.012).</p> <p>d) asimmetria di rigidità del muscolo ileopsoas nella gamba di calcio vs gamba di appoggio significativa nel gruppo di casi (P=0,029), no differenze di rigidità del muscolo ileopsoas tra le due gambe nel gruppo di controlli (P= 0,22).</p> <p>Differenza significativa (P< 0,05) con test U di Mann-Whitney.</p>
2	Tsutsui et al (2023)	"Risk Factors for Symptomatic Bilateral Lumbar Bone Stress Injury in Adolescent Soccer	Coorte	Quattro centoquattro calciatori maschi adolescenti giapponesi , frequentanti una singola squadra di	<p>Presenza di reazioni da stress asintomatiche</p> <p>Angolo di inclinazione sacrale (SS)</p>	<p>a) Fratture da stress lombari bilaterali (BSI), presenti in 69 atleti (26.3%).</p> <p>b) Reazioni da stress peduncolari (BME)</p>

		Players: A Prospective Cohort Study" [52]		<p>calcio tra il 2014 e il 2018, età 12-14 anni</p> <p>n= 404</p> <p>Giocatori esclusi: 142</p> <p>Giocatori analizzati: 262</p>	<p>Angolo di lordosi lombare (LL)</p> <p>Rigidità hamstrings</p> <p>Rapporto SS /LL</p>	<p>asintomatiche presenti in 132 atleti (50,4%)</p> <p>c) Incidenza BSI significativamente più alta per i soggetti con BME (P< .0001)</p> <p>d) Atleti con BSI presentavano angolo sacrale (SS) significativamente più elevato (P=.001) ed un angolo di lordosi lombare (LL) più basso (P=.010) rispetto al gruppo non infortunato.</p> <p>e) Rigidità hamstrings >50° e rapporto fra SS e LL > 5° sono stati identificati come fattori di rischio per BSI bilaterale.</p>
3	Hecimovich et al (2016)	"Lumbar Sagittal Plane Spinal Curvature and Junior-Level Cricket Players." [53]	Cross-sectional	Cinquantanove giocatori adolescenti di cricket, età 13-17 anni, età media 14,3, partecipanti al "Talented Athlete Program" della Western Australian Cricket Association.	Lordosi lombare	<p>a) Nessuna differenza statisticamente significativa di lordosi tra maschi (35,47° ± 9,00) e femmine (35,54° ± 12,40).</p> <p>b) Differenza statisticamente significativa nella lordosi tra coloro che hanno avuto</p>

				<p>Maschi n=33 Femmine n = 26</p> <p>Sottogruppi di indagine:</p> <p>CASI: n= 25 presenza di precedenti infortuni a livello lombare, correlati a gesti sport-specifici del cricket.</p> <p>CONTROLLI: n = 34 assenza di precedenti infortuni alla schiena.</p> <p>n=59</p>		<p>una progressiva problematica lombare ed il gruppo di controlli (CASI = $42,53 \pm 9,10^\circ$; CON = $30,33 \pm 8,36^\circ$; $p < .01$).</p>
4	Yokoe et al (2021)	“Predictors of Spondylolysis on Magnetic Resonance Imaging in Adolescent Athletes With Low Back Pain.” [54]	Coorte	<p>Centoventidue atleti adolescenti (età 11-18 anni), con LBP di origine non diagnosticata, sottoposti a RM come metodo di diagnostica avanzata. Assenza di sintomi e reperti neurologici.</p> <p>SPONDILOLISI</p>	<p>Reperti radiografici indicativi (interpretabili come fattore di rischio)</p>	<p>a) Analisi tramite MRI: -Spondilolisi n=75 - LBP aspecifico n=47</p> <p>b) differenza statisticamente significativa del sesso tra i gruppi: -62 atleti maschi su 75 gruppo spondilolisi (82,7%) -23 atleti maschi su 47 nei pazienti con LBP</p>

				<p>n=75</p> <p>Non Spec. LBP n=47</p> <p>n=122</p>	<p>aspecifico (48,8%). P< .001.</p> <p>c) differenza significativa nell'angolo di lordosi lombare (LL) medio nella popolazione di studio complessiva, tra i due gruppi: -22,8 ± 8,1 LBP asp. -19,3 ± 8,5 spond. P=.02</p> <p>d) differenza significativa nell'angolo di lordosi lombare (LL) medio nella popolazione maschile, tra i due gruppi: - 22.3 ± 8.3 LBP asp. -18.0 ± 6.6 spond. P=.02</p> <p>e) rapporto medio L1:L5 negli atleti con spondilolisi era significativamente maggiore rispetto a quello degli atleti con LBP aspecifico: -pop. complessiva (67,4% ± 6,3 vs 63,4% ± 6,6, rispettivamente; P=.001) -stratificato per sesso (maschi,</p>
--	--	--	--	--	---

						<p>67,6% ± 6,0 vs 63,1% ± 6,4, P=.003; donne, 66,7% ± 6,5 vs 63,7% ± 6,9, P=.01).</p> <p>f) maggiore probabilità di spondilolisi se:</p> <ul style="list-style-type: none"> - LBP >4 settimane (OR, 5,67) - sesso maschile (OR, 4,98) - rapporto L1:L5 >65% (OR, 3,35).
--	--	--	--	--	--	--

Tab.17: Tabella riassuntiva risultati riguardanti altri fattori di rischio

Lo studio di Takei et al (2022) ha dimostrato che l'aumento della rigidità del muscolo ileopsoas nella gamba che calcia rispetto alla gamba d'appoggio tra i calciatori maschi adolescenti è un fattore di rischio predittivo per lo sviluppo di dolore lombare in estensione, a partire da una reazione da stress asintomatica del peduncolo (individuata tramite presenza di edema peduncolare in risonanza magnetica). [48]

Nel gruppo di casi, la rigidità del muscolo ileopsoas risultava aumentata nella gamba di calcio rispetto a quella di appoggio (P=0,029), mentre non è stata riscontrata nessuna differenza significativa nella tensione della medesima muscolatura tra le due gambe nel gruppo di controllo (P=0.22). [48]

Tsutsui et al (2023) hanno analizzato i fattori di rischio principali per lo sviluppo di fratture da stress a livello lombare in un campione di giocatori di calcio adolescenti giapponesi. Sono state ritrovate fratture da stress lombari bilaterali (BSI), in 69 atleti (26.3%) aggregati allo studio. Reazioni da stress peduncolari (BME) asintomatiche sono state riscontrate in 132 atleti (50,4%).

L'Incidenza di BSI risulta essere significativamente più alta per i soggetti con BME ($P < .0001$). Dalle altre valutazioni radiografiche effettuate, gli atleti con BSI presentavano angolo sacrale (sacral slope, SS) significativamente più elevato ($P = .001$) ed un angolo di lordosi lombare (lumbar lordosis, LL) più basso ($P = .010$) rispetto al gruppo di atleti non infortunati. Una rigidità della muscolatura degli hamstrings maggiore di 50° (valutata come angolo di estensione del ginocchio, con anca mantenuta a 90° di flessione), lo stadio di maturazione ossea "apofisario" del corpo vertebrale (valutato in base al grado di lesione dell'epifisi di L5, classificato in 3 stadi: cartilagineo, apofisario, epifisario) ed un rapporto SS/LL maggiore di 5° sono stati identificati come fattori di rischio per lo sviluppo di BSI bilaterale. [52]

Hecimovich et al (2016) hanno indagato l'influenza della lordosi lombare in un gruppo di giocatori adolescenti di cricket. I risultati dello studio hanno evidenziato che i partecipanti con precedenti lesioni lombari (fra cui anche fratture spondilolitiche) avevano gradi di lordosi significativamente più ampi (rispettivamente $42,53^\circ$ nei casi e $30,33^\circ$ nel gruppo di controllo), e questa differenza è stata riscontrata anche in un'analisi specifica di comparazione tra i generi (casi maschi = $40,90^\circ$, controlli maschi = $30,35^\circ$; casi femmine = $45,41^\circ$, controlli femmine = $30,31^\circ$). [53]

I risultati dello studio di Yokoe et al (2021), che confronta le differenze di fattori clinici e parametri radiografici tra atleti adolescenti con spondilolisi e LBP aspecifico, hanno dimostrato che il sesso maschile ed un rapporto L1:L5 superiore al 65% erano fattori predittivi di spondilolisi in risonanza magnetica in atleti adolescenti che presentavano LBP correlato all'estensione, senza sintomi e reperti neurologici. Un ulteriore fattore clinico significativo statisticamente è risultato essere la durata del dolore lombare superiore alle 4 settimane. [54]

3.6. Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: epidemiologia

L'epidemiologia è lo studio della distribuzione e dei determinanti degli stati e degli eventi correlati con la salute, e l'applicazione di questo studio al controllo delle malattie e di altri problemi di salute [86].

In questo capitolo specifico, sono riportati i risultati degli studi inclusi nella revisione che si sono occupati di indagare prevalenza ed incidenza di spondilolisi e spondilolistesi nel giovane sportivo.

Gli studi che si sono concentrati principalmente su questo specifico topic sono stati principalmente due: Maurer et al (2011) hanno analizzato le anomalie riscontrate in risonanza magnetica (MRI) e

la frequenza della reazione da stress della pars interarticularis in un campione di canottieri d'élite, comparati ad un gruppo di controllo composto da popolazione simile non sportiva [56]; Peterhans et al (2020) hanno indagato la prevalenza di difetti della pars in una coorte di giovani atleti di sci alpino, sintomatici e non [57].

Tuttavia, anche in altri studi inclusi nella revisione sono state ritrovate informazioni chiave riguardanti questa parte della ricerca, riportate nei paragrafi seguenti.

I risultati completi sono stati riportati in seguito.

N°	Autori	Titolo	Tipo di studio	Popolazione	Exposure	Outcome
1	Maurer et al (2011)	"Spine abnormalities depicted by magnetic resonance imaging in adolescent rowers" [56]	Cross-sectional	<p>Quarantaquattro adolescenti maschi asintomatici, distribuiti in 2 gruppi di 22 canottieri e 22 soggetti di controllo, età 12-17 anni.</p> <p>CASI: vogatori in squadra di canottaggio per almeno 12 mesi, allenamento costante almeno 5 volte alla settimana per circa 2 ore.</p> <p>CONTROLLI: 22 adolescenti asintomatici, abbinati ai casi in base all'età, al peso e all'altezza, e altezza; non praticata alcuna attività fisica regolare.</p>	Movimenti ripetuti sport-specifici (canottaggio)	<p>a) Anomalie alla MRI, presenti in 9 atleti su 22 (40,9%) e in 2 controlli su 22 (9%).</p> <p>3 atleti presentavano più di un'anomalia. 1 atleta presentava tre anomalie.</p> <p>Anomalie CASI: - 7 problematiche discali (4 degenerazioni, 2 ernie, 1 bulging) - 7 anomalie della pars (5 reazioni da stress e 1 spondilolisi) Reazioni da stress: tutte a L5 (1 bilaterale e 4 unilaterali, 2 a sinistra e 2 a destra).</p> <p>Anomalie CONTROLLI:</p>

				n=44		<p>-3 problematiche discali (2 degenerazioni, 1 bulging) - Nessuna anomalia della pars.</p> <p>b) Aumento statisticamente significativo della frequenza della reazione da stress della pars interarticularis nei canottieri d'élite (P = .048).</p> <p>c) Non è stata riscontrata una differenza significativa nella frequenza delle anomalie discali tra i gruppi (P > .05)</p>
2	Peterhans et al (2020)	“High Rates of Overuse-Related Structural Abnormalities in the Lumbar Spine of Youth Competitive Alpine Skiers: A Cross-sectional MRI Study in 108 Athletes” [57]	Cross-sectional	<p>Cento otto giovani sciatori alpini agonisti, facenti parte di centri di performance regionale di Swiss-Ski, età 13-15 anni</p> <p>n=108</p> <p>Dati mancanti in undici atleti</p> <p>n effettivo: 97</p> <p>Classificazione:</p>	Movimenti ripetuti sport-specifici (sci alpino)	<p>a) Anomalie alla MRI :</p> <p>-37,0% generale -62,5% atleti sintomatici</p> <p>Anomalie: degenerazione discale (23,1%) nodo di Schmorl (19,4%) alterazioni end plate (10,2%) anomalie pars (10,2%, esclusivamente nei maschi)</p>

				<p>SINTOMATICI n=16 atleti con almeno un episodio di problematiche di overuse della colonna, registrato durante i 12 mesi precedenti RM.</p> <p>ASINTOMATICI n=81</p>		<p>b) La presenza di reperti in MRI è risultata significativamente correlata all'aumento dell'età (P= .034)</p> <p>c) Degenerazioni discali significativamente e più diffuse negli atleti sintomatici rispetto a quelli asintomatici.</p> <p>d) Correlazione significativa tra prevalenza di anomalie della pars e Δ height (crescita in altezza, in cm, nell'ultimo anno)</p>
--	--	--	--	---	--	--

Tab.18: Tabella riassuntiva risultati riguardanti l'epidemiologia

La prevalenza della spondilolisi negli atleti adolescenti non agonistici con sintomatologia riconducibile a LBP è del 30%. [51]

Nello studio di Tsutsui et al (2023), l'incidenza di fratture della pars lombari bilaterali sintomatiche è risultata essere 26,3% dei calciatori adolescenti inclusi nel campione di studio. [52]

Lo studio di Connolly et al (2020) ha rilevato che anomalie della pars (fratture ed edema del midollo osseo, BMO), e la degenerazione delle articolazioni zigoapofisarie sono risultati comuni tra tennisti adolescenti d'élite. I difetti della pars articularis sono stati la seconda anomalia più comunemente riscontrate in questo campione, interessando il 36% dei giocatori inclusi nell'analisi effettuata. [55]

Gli atleti maschi hanno una maggiore prevalenza di anomalie della pars ed edema del midollo osseo rispetto alle donne (50 rispetto al 18,2 % rispettivamente riscontrati).

Lo studio su vogatori e rispettivi controlli, tutti asintomatici, condotto da Maurer et al (2011) è andato ad indagare la prevalenza di anomalie alla risonanza magnetica nei rispettivi sottogruppi di indagine.[56]

Le problematiche spinali indagate tramite MRI sono state ritrovate in 9 atleti su 22 (40,9%) e in 2 controlli su 22 (9%). Tre atleti presentavano più di un'anomalia, ed un solo atleta presentava tre anomalie differenti.

Le anomalie riscontrate nei canottieri sono state le seguenti: 7 problematiche discali, di cui 4 degenerazioni discali, 2 ernie del disco ed 1 bulging); 7 anomalie della pars, di cui 5 reazioni da stress e 1 spondilolisi vera e propria. Le reazioni da stress evidenziate erano tutte a livello di L5, un caso con presentazione bilaterale e 4 casi unilaterali, 2 a sinistra e 2 a destra. Poiché la reazione allo stress può essere considerata un precursore della spondilolisi, un totale di 6 vogatori (27,3%) presentava una di queste anomalie, a differenza dei partecipanti al gruppo di controllo in cui non è stata riscontrata alcuna lesione di questo tipo ($P = .021$).

Le anomalie riscontrate nei controlli sono state le seguenti: 3 problematiche discali, di cui 2 degenerazioni discali ed 1 bulging, e nessuna anomalia della pars.

È stato quindi individuato un aumento statisticamente significativo della frequenza della reazione da stress della pars interarticularis nei canottieri d'élite ($P = .048$), mentre non è stata riscontrata una differenza significativa nella frequenza delle anomalie discali tra i due sottogruppi ($P > .05$).

[56]

Peterhans et al (2020) hanno effettuato un'analisi epidemiologica delle problematiche da overuse della colonna lombare ritrovate tramite risonanza magnetica, presenti in un campione di cento otto giovani sciatori alpini agonisti. Undici partecipanti sono stati esclusi dalla fase di analisi statistica per la mancanza di dati raccolti in valutazione iniziale. Nei 97 atleti analizzati (81 dei quali sintomatici, 16 non sintomatici), anomalie spinali sono state riscontrate nel 37,0% dei casi, con una prevalenza del 62,5% negli atleti sintomatici. Le principali anomalie riscontrate sono state degenerazioni discali (23,1%), noduli di Schmorl (19,4%), alterazioni dell'end plate somatico (10,2%) ed anomalie pars articularis (10,2%). Questi ultimi reperti strumentali sono stati

riscontrati esclusivamente nei partecipanti di sesso maschile (16,7% in questa popolazione specifica), mentre risultavano assenti nella controparte femminile analizzata. [57]

3.7. Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: meccanismi traumatici

L'unico studio in cui è stata effettuata un'analisi specifica del meccanismo traumatico alla base della comparsa di spondilolisi e spondilolistesi nei giovani sportivi è quello di Terai et al (2010): in un campione di dieci atleti adolescenti sono stati indagati la comparsa di fratture da stress della pars articularis, il sito di frattura e la loro correlazione con uno studio biomeccanico effettuato in laboratorio.

In svariati articoli inclusi nel presente elaborato sono state riportate informazioni chiave riguardanti questa parte dei risultati raccolti e sono riportati in seguito.

N°	Autori	Titolo	Tipo di studio	Popolazione	Meccanismo traumatico	Outcome
1	Terai et al (2010)	"Spondylolysis originates in the ventral aspect of the pars interarticularis: a clinical and biomechanical study." [58]	Cross-sectional	Dieci pazienti sportivi con spondilolisi allo stadio precoce (età 11-17) 7 maschi 3 femmine n=10	Movimenti ripetuti in estensione e rotazione assiale sport-correlati (basket, calcio, pallavolo, corsa, tennis)	Quattro atleti con spondilolisi bilaterali, per un totale di 14 difetti. a)sito di frattura: il difetto della pars presente solo nell'aspetto caudale-ventrale. b)risultati biomeccanici: stress ventrale superiore a quello della parte dorsale

						durante tutti i movimenti lombari eccetto la flessione.
--	--	--	--	--	--	---

Tab.19: Tabella riassuntiva risultati riguardanti i meccanismi traumatici

Dallo studio di Engstrom et al (2007), sembra probabile che, in un'elevata percentuale di giocatori cricket, la ripetuta estensione, associata a rotazione assiale e flessione laterale della colonna lombare, durante la fase di lancio veloce produca forze ripetitive direttamente associate allo sviluppo di fratture da stress della pars vertebrale in questi atleti. [51]

Mentre l'attività ripetitiva in iperestensione può portare a microtraumi per impingement degli elementi strutturali posteriori, lo studio di Schroeder et al (2016) suggerisce che tutti gli atleti adolescenti di alto livello hanno un'aumentata prevalenza di spondilolisi; oltre al classico meccanismo di iperestensione, altri meccanismi (come la rotazione assiale) possono aumentare il rischio di frattura da stress. [49]

I dati dello studio di Terai et al (2010) suggeriscono che la spondilolisi nei bambini e negli adolescenti si presenta sempre come una frattura da stress a livello caudale-ventrale della pars, poiché le sollecitazioni di trazione sono più elevate in tale zona della pars. [58]

I risultati dello studio indicano che l'entità delle sollecitazioni trazionali in corrispondenza dell'aspetto caudale-ventrale della pars si verificano prevalentemente durante i movimenti estensione e rotazione assiale. [58]

4. DISCUSSIONE

L'obiettivo di questa revisione è indagare epidemiologia, fattori di rischio e meccanismi traumatici di spondilolisi e spondilolistesi nella popolazione di giovani sportivi. Al fine di rendere più ampio possibile lo spettro di ricerca, il revisionatore ha deciso di analizzare articoli riguardanti campioni di sportivi a livello agonistico ed amatoriale, senza porre limitazioni in questo senso.

Le informazioni ricavate dalla letteratura incluse nella revisione sono state ampliate, discusse e comparate con altri dati estrapolati da studi secondari non includibili nell'elaborato per svariate motivazioni, ma comunque pertinenti all'argomento di ricerca.

In prima istanza, sono stati indagati diversi fattori di rischio correlabili allo sviluppo di problematiche spondilolitiche lombari, siano essi movimenti correlati alla pratica sportiva, fattori antropometrici dei pazienti inclusi negli studi o la semplice esposizione a determinati carichi associati allo sport adolescenziale.

In seconda battuta, sono stati analizzati i dati epidemiologici estratti dagli studi revisionati, comparandoli ed ampliandoli con letteratura disponibile a riguardo.

Infine, è stata effettuata un'analisi specifica riguardante i possibili meccanismi traumatici alla base dello sviluppo delle fratture da stress del giovane sportivo.

La stesura del capitolo ripercorre l'ordine di quello precedente dei Risultati, considerando i diversi topic analizzati, associandoli agli esiti emersi dalla valutazione metodologica tramite lo STROBE Statement [44] ed il materiale di approfondimento correlato [45].

4.1. Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: fattori di rischio

4.1.1. Movimenti ripetuti sport-specifici

Osservando i risultati riportati nel capitolo 3.5.1, è possibile notare che probabilmente esiste un collegamento diretto fra lo sviluppo di spondilolisi (anomalie della pars rilevate tramite MRI) e i movimenti ripetuti effettuati nella pratica di diversi sport, quali cricket, tennis, hockey e ginnastica artistica.

Associando i risultati ottenuti alla valutazione qualitativa metodologica effettuata tramite lo strumento STROBE [44], è importante evidenziare che tre dei quattro studi riguardanti questo

topic specifico abbiano campioni di studio poco numerosi: Donaldson (2014) [46], Bennet (2006) [47] e Connolly (2020) [55] riportano una numerosità rispettivamente di campionaria di 25, 19 e 25 atleti, mentre lo studio rimanente, Engstrom (2007) [51] è stato effettuato su una coorte di 76 pazienti.

Inoltre, in tutti gli studi elencati, il campione è informale: non è stata definita statisticamente a priori la numerosità campionaria necessaria affinché i risultati ottenuti possano essere qualitativamente validi per una loro inclusione in un lavoro di revisione, come quello effettuato in questo elaborato.

Sempre tramite la medesima analisi, è emerso che solamente nel lavoro svolto da Connolly [55], e parzialmente in quello effettuato da Engstrom [51], è stata riportata una valutazione specifica del rischio di bias presenti nelle fasi di raccolta ed analisi del campione dello studio, e relativi strumenti utilizzati.

Nell'elaborato di Donaldson [46] non è stata effettuata un'analisi statistica dei risultati riportati.

Alla luce di quanto appena riportato, occorre acquisire tali esiti in maniera prudente.

In letteratura, svariati studi hanno riportato come gesti specifici correlabili a determinati sport possano essere considerati fattori di rischio per lo sviluppo di spondilolisi e listesi nella popolazione di giovani sportivi [46,47,52,55,64,65] .

Nei risultati estrapolati dagli studi revisionati in questo elaborato, sono emersi alcuni dati interessanti riguardanti questa correlazione.

Lo studio di Donaldson (2014) mette in luce come il gesto sport- specifico di tiro nell'hockey possa essere considerato un fattore importante nella comparsa di lesioni a livello della pars interarticularis, sostenendo l'ipotesi che questo tipo di problematica sia il risultato di uno stress accumulato a livello dell'arco vertebrale nel tempo. [46]

È stata riscontrata una maggior prevalenza di spondilolisi sul lato omolaterale al braccio di tiro (73%) rispetto al lato opposto (27%). [46] Questo risultato risulta essere in contraddizione con i dati riportati precedentemente in letteratura.

Di fatti, studi sui giocatori di cricket professionisti hanno riportato che la maggior parte (80-100%) delle lesioni unilaterali della pars si verificano sul lato opposto al braccio principalmente utilizzato per il gesto sport- specifico [51,59,60,61]. Gregory et al. (2004) hanno riportato una proporzione significativamente maggiore di fratture della pars incomplete ed unilaterali sul lato non dominante nei giocatori di cricket (88%) rispetto ai giocatori di calcio (50%). Presumibilmente, il carico asimmetrico della colonna vertebrale lombare associato a movimenti specifici, come la flessione laterale e/o la rotazione assiale del tronco durante la pratica sportiva, predispone alla lesione unilaterali dell'arco neurale dal lato opposto al braccio di lancio.[62]

Una conseguenza potenziale della natura asimmetrica del gesto tecnico del lancio nel cricket è che il muscolo quadratus lumborum (quadrato dei lombi, QL), un flessore laterale del tronco inferiore, è frequentemente ipertrofizzato sul lato omolaterale del braccio che lancia. La spondilolisi si verifica a causa del carico ripetitivo della pars interarticularis, ed è quindi logico che l'applicazione di maggiori carichi lombari, mentre ci si trova in una posizione estrema di flessione laterale, aumenta il rischio di spondilolisi. [64]

In uno studio di comparazione tra calciatori e giocatori di baseball (assimilabile al cricket come gesto tecnico prevalente), i giovani calciatori con spondilolisi sintomatica avevano più lesioni multiple e bilaterali rispetto ai giocatori di baseball con spondilolisi sintomatica. Nei giocatori di baseball, il meccanismo di lancio o di battuta con la mano dominante era associato a lesioni localizzate sul lato controlaterale della pars interarticularis. [36]

Sempre a tal proposito, nell'indagine di Connolly, effettuata su una coorte di giovani tennisti a livello elite, la maggior parte delle anomalie della pars riscontrate erano bilaterali, con pochi difetti riscontrati solo sul lato dominante. Ciò suggerisce che il braccio utilizzato per effettuare il gesto tecnico specifico non ha un impatto significativo sulla sede lesionale nei tennisti analizzati. [55]

Non è stata riscontrata un'associazione statisticamente significativa tra la proporzione di lanciatori destrimani (19%) e mancini (33%) che hanno sviluppato una sintomatologia unilaterale a livello L4. [51]

Bennet et al (2006) hanno focalizzato il loro lavoro su un gruppo di ginnaste di elite, andando ad indagare la correlazione fra lo sport in questione, la presenza di reperti anomali riscontrabili tramite risonanza magnetica (RM,MRI) e la loro presenza in atlete sintomatiche e no, ipotizzando una parità di prevalenza nei due gruppi. Tale ipotesi non è stata tuttavia confermata dai risultati

ottenuti dallo studio prospettico effettuato: di fatti, spondilolisi, spondilolistesi, edema midollare del peduncolo (BMO) bilaterale e stiramenti muscolari sono stati riscontrati solo ed unicamente nelle ginnaste sintomatiche.[47]

Pertanto, quando uno di questi quattro reperti è riscontrato nelle ginnaste d'élite, deve essere considerato come probabile fonte del dolore alla schiena dell'atleta. [47]

In aggiunta, dal medesimo studio è emerso che le radiografie sono in grado di identificare la maggior parte dei casi di spondilolisi e spondilolistesi, ma non sembrano essere in grado di rilevare l'edema peduncolare bilaterale. Questo tipo di indagine diagnostica non risulta essere quindi il Gold Standard per la diagnosi radiografica di fratture della pars [47].

Poiché l'edema osseo-midollare bilaterale del peduncolo sembra essere un precursore della spondilolisi, la risonanza magnetica sembrerebbe lo strumento migliore per rilevare l'edema osseo-midollare bilaterale del peduncolo nelle ginnaste d'élite con LBP, in modo da poter istituire precocemente un trattamento appropriato per prevenire lo sviluppo della spondilolisi. [47]

Risultati interessanti sono stati riportati dallo studio di Goto et al (2019) [65]. Il gruppo di lavoro in questione ha effettuato un'analisi riguardante l'impatto della corsa sul meccanismo patologico della spondilolisi lombare. In vari studi, il movimento ripetitivo di estensione lombare, rotazione o una combinazione di entrambi, frequente negli sport di battuta, (cricket, baseball) di tiro (calcio) o di tiro a segno (pallavolo, basket), sono stati considerati importanti fattori di rischio per lo sviluppo di spondilolisi lombare. Tuttavia, dal punto di vista clinico, questa problematica è stata riscontrata anche in atleti che praticano sport di corsa su pista o su campo, che non richiedono nessuna delle attività specifiche descritte in precedenza. [65]

Sono state utilizzate analisi cinetiche e cinematiche del movimento per esplorare l'impatto della corsa sull'angolo spino-pelvico, analizzando due tipologie di corsa (scatto e jogging) e due di calcio (tiro e passaggio) che si verificano frequentemente nelle partite di calcio. È risultato che i dati relativi agli angoli di estensione dell'anca, di rotazione della colonna lombare e di flessione dell'anca erano simili nelle attività di scatto e di tiro durante la fase di massima estensione dell'anca. Gli sport di corsa veloce potrebbero quindi essere fattori di rischio per la spondilolisi. [65]

I risultati ottenuti risultano essere coerenti con analisi biomeccaniche della corsa effettuate in studi precedenti [66,67], che tuttavia non avevano indagato in modo specifico l'influenza della

corsa sull'angolo spino-pelvico, maggiormente correlabile alla presenza ed allo sviluppo di problematiche spondilolitiche. [65]

4.1.2. Attività sportiva, agonistica e non agonistica

Nella presente fase della revisione, analizzando i risultati riportati nel capitolo 3.5.2 , riguardante l'influenza dell'attività sportiva sulla spondilolisi-listesi in età adolescenziale, si è potuto asserire che, in generale, lo sport, indipendentemente dalla tipologia e dal livello, può essere considerato a tutti gli effetti un fattore di rischio di per lo sviluppo di fratture da stress a livello lombare.

Dall'analisi metodologica, effettuata tramite lo strumento STROBE [44], riguardante i lavori di Schroeder et al (2016) [49] e Selhorst et al (2017) [50], è emersa una buona qualità sommaria degli studi in questione. La numerosità campionaria è più ampia rispetto agli studi analizzati nel capitolo precedente (rispettivamente 114 e 1025 atleti indagati), anche se, nuovamente, il campione risulta essere informale: non è stata definita statisticamente a priori la numerosità campionaria necessaria affinché i risultati ottenuti possano essere qualitativamente validi per una loro inclusione in un lavoro di revisione.

Tuttavia, è fondamentale riportare svariate sfaccettature riguardanti questo topic così ampio, che è stato ed ancora sarà oggetto di discussione nel tempo. A tal proposito, sono stati inclusi in questa parte della discussione diversi articoli esclusi dalla revisione tramite i criteri di inclusione ed esclusione impostati, ma che riportano comunque dati e materiale fortemente esplicativo riguardo alle tematiche sviluppate.

Il lavoro di Schroeder et al (2016) ha indagato l'impatto dell'attività sportiva agonistica adolescenziale sull'aumento del rischio di riscontrare anomalie strutturali della colonna vertebrale lombare. Il risultato chiave di questo studio è che, in generale, gli atleti hanno una spondilolisi rispetto ai non atleti (32% contro 2%, rispettivamente, $p = 0,0003$). Indipendentemente dall'incidenza pelvica, i giovani agonisti hanno un rischio maggiore di sviluppare una spondilolisi rispetto ai non atleti. [49]

Questo riscontro risulta essere indipendente dallo sport specifico praticato, senza alcuna differenza significativa tra gli atleti tradizionalmente considerati "iperestensori" e gli altri. [49, 73]

Soler e Calderon hanno riportato un tasso di spondilolisi maggiore nei lanciatori di disco e martello (atleti di rotazione) (27%) rispetto alle ginnaste (17%) [71]. Anche Ruiz-Cotorro et al. hanno

riportato un alto tasso di spondilolisi nei tennisti agonisti, sport in cui il meccanismo rotatorio risulta essere prevalente rispetto a quello di iperestensione lombare [72].

Oltre al classico meccanismo di iperestensione, altri meccanismi, come la rotazione lombare, possono aumentare il rischio di frattura da stress. [49]

Selhorst et al (2017) hanno riscontrato che il rischio di spondilolisi in atleti non agonistici varia in base al sesso, con il baseball (54%), il calcio (48%) e l'hockey (44%) con la più alta prevalenza nei maschi e ginnastica artistica (34%), ginnastica ritmica (31%) e softball (30%) per le atlete femmine. [50]

Gli sport ad alto rischio riscontrati in questo studio non sono coerenti con quanto comunemente riportato nella letteratura esistente sulla spondilolisi, che si è concentrata sugli atleti d'élite.

Nessuno degli sport comunemente indicati come ad alto rischio è risultato aumentare significativamente il rischio di spondilolisi nel campione di atleti non d'élite indagato dallo studio.

L'unico sport nel quale è stato riscontrato un aumento significativo del rischio di sviluppare spondilolisi è stato il baseball, che non è mai stato identificato come ad alto rischio nella revisione della letteratura precedente [68,69,70].

Nessuno sport tra le atlete donne ha aumentato significativamente il rischio relativo di spondilolisi. La ginnastica è stata ritenuta da tempo uno sport ad alto rischio di lesioni spondilistiche e, sebbene questo studio non abbia trovato un aumento statisticamente significativo del rischio, nelle atlete donne le ginnaste hanno avuto la più alta prevalenza di spondilolisi. [50]

Un'analisi effettuata in un setting più ristretto, ma che ha comunque riportato risultati importanti riguardanti la correlazione fra l'attività sportiva adolescenziale ed il rischio di sviluppare spondilolisi, è quella condotta da Ladenhauf et al (2013) [73]. Lo scopo di questo studio è stato quello di valutare le attività sportive associate alla spondilolisi nei bambini e negli adolescenti in un centro di riferimento nell'area metropolitana di New York.

Le attività sportive più comunemente associate alla spondilolisi nella coorte dell'area indagata sono state il calcio (19,3%), la pallacanestro (17,2%) e il lacrosse (9,4%). Inoltre, baseball (8,9%), tennis (8,3%) e calcio (6,8%) sono risultati altamente prevalenti in questa coorte di adolescenti con spondilolisi. [73]

La coorte analizzata conteneva diversi pazienti che praticavano lacrosse e baseball. Questi sport non sono mai stati comunemente segnalati in concomitanza con spondilolisi sintomatica nel

giovane atleta. Nell'area metropolitana di New York, entrambi gli sport erano altamente rappresentati nella coorte di pazienti sintomatici con diagnosi di spondilolisi. [73]

Sebbene l'incidenza della spondilolisi sintomatica possa essere più comune nella ginnastica rispetto ad altri sport, un numero molto più elevato di atleti adolescenti partecipano a calcio, pallacanestro e lacrosse nel nord-est degli Stati Uniti. Pertanto, i rapporti raccolti in questo setting di indagine hanno rilevato associazioni più frequenti con questi tipi di sport. [73]

Al contrario, come riportato in precedenza, la letteratura internazionale ha riportato principalmente associazioni con calcio, ginnastica e tennis. [47,50,55]

Tutti questi dati rendono chiara una potenziale variazione regionale basata sulla popolarità dell'attività sportiva praticata. È fondamentale considerare questo fattore potenzialmente limitante nell'interpretazione dei dati estrapolabili dagli studi riportati.

4.1.3 Altri fattori di rischio

Nella terza ed ultima parte riguardante i fattori di rischio associati alla spondilolisi e listesi nella popolazione target dello studio, sono stati riportati tutti quei fattori influenti non includibili nei due domini precedentemente esposti.

Dalla revisione sistematica effettuata, sono stati selezionati quattro articoli da includere in questa parte specifica di discussione. Dai risultati ottenuti è emerso che l'aumento della rigidità del muscolo ileopsoas nella gamba che calcia [48], un angolo sacrale più ampio, un angolo di lordosi minore, rigidità degli hamstrings, ed un basso grado di maturità scheletrica nei giovani calciatori maschi [52] possono essere considerati fattori di rischio per lo sviluppo di fratture della pars. Anche una lordosi accentuata, associata a movimenti specifici ripetitivi tipici del cricket, è stata associata a riscontri positivi in risonanza magnetica per questo tipo di problematiche [53]. Il sesso maschile ed un rapporto L1:L5 (rapporto tra le distanze interfaccettarie della prima e dell'ultima vertebra lombare) superiore al 65% risultano essere altri due fattori di rischio correlati a LBP di natura spondilolistesica. [54]

Associando i risultati ottenuti alla valutazione qualitativa metodologica effettuata tramite lo strumento STROBE [44], emerge che tre dei quattro studi riportati risultano avere una buona

numerosità campionaria: rispettivamente ritroviamo campioni di 195 [48], 404 [52] e 122 atleti, con una numerosità di n=59 [53] nello studio rimanente.

D'altro canto, negli studi di Takei et al (2022) [48], Hecimovich et al (2016) [53] e Yokoe et al (2021) [54] non è stata effettuata una stima a priori del campione necessario per avere una maggiore validità statistica. Solamente nello studio di Tsutsui et al (2023) [52], risultato essere il più completo fra tutti i 13 studi inclusi nella revisione sistematica, si è utilizzata un'analisi statistica precedente allo studio per individuare il numero minimo di partecipanti necessari nello studio.

Una forte limitazione nella selezione del campione è stata riscontrata in due studi su quattro fra quelli proposti: sia nel lavoro di Takei et al (2022) [48] che in quello di Tsutsui et al (2023) [52] la raccolta dei partecipanti è stata effettuata in una popolazione specifica molto limitata, ovvero calciatori maschi adolescenti giapponesi, frequentanti una singola squadra di calcio. Come riportato dagli autori stessi, questo limite deve essere assolutamente considerato qualora si volesse discutere la possibilità di generalizzare i dati ottenuti in contesti diversi e più ampi rispetto a quelli di studio.

Solo nel lavoro di Hecimovich et al (2016) non è stata effettuata un'analisi dei possibili bias nella fase di "Materiali e Metodi" della ricerca.

Alla luce di quanto appena riportato, occorre acquisire tali esiti in maniera prudente. Di seguito sarà proposta una discussione più dettagliata degli outcome riportati in precedenza, contestualizzati ed implementati con altro materiale correlato reperito in letteratura, escluso dalla review tramite i criteri di esclusione dell'elaborato.

Nello studio di Takei et al (2022) l'analisi statistica dei dati raccolti ha rivelato che l'aumento della tensione del muscolo ileopsoas nella gamba che calcia rispetto a quella di appoggio è stato l'unico fattore significativo associato allo sviluppo low back pain in estensione, sulla base di una reazione da stress asintomatica del peduncolo vertebrale.

A supporto di tale studio, altre svariate sperimentazioni hanno evidenziato una relazione tra dolore lombare e flessibilità dell'anca [74,75,76].

Inoltre, tutti i calciatori adolescenti di questa coorte presentavano una maggiore rigidità del muscolo ileopsoas nella gamba che calcia rispetto a quella di appoggio, anche in coloro che non hanno sviluppato sintomi o che non presentavano un edema peduncolare in fase di valutazione

iniziale. Secondo i risultati di questo studio, l'aumento della tensione di questa muscolatura nella gamba che calcia può essere definito comune nei giocatori di calcio adolescenti [48].

Analizzando la biomeccanica del gesto sport-specifico di calcio, è stato osservato che prima dell'impatto con il pallone, il giocatore estende al massimo l'articolazione dell'anca e contemporaneamente estende e ruota la colonna lombare. Se è presente una ridotta flessibilità del muscolo ileopsoas, sarà difficile avere un'estensione d'anca completa della gamba prima dell'impatto. In questo caso, l'atleta andrà a compensare il deficit di elasticità della catena muscolare anteriore con un'iperestensione della colonna lombare. Questa sollecitazione, ripetuta nel tempo, può causare la frattura della pars interarticularis a partire da una reazione di stress asintomatica del peduncolo. Pertanto, lavorando sull'aumento dell'estensione dell'anca nella gamba che calcia si potrebbe diminuire lo stress sulla componente vertebrale associato al movimento sport – specifico di calciata. [48]

Un altro studio in cui lo sviluppo di problematiche spondilolitiche, in questo caso bilaterali, è stato associato a fattori di rischio relativi ad accorciamento delle catene muscolari nei giovani calciatori è quello di Tsutsui et al (2023) [52]. Dai dati raccolti, è emerso che una rigidità della muscolatura degli hamstrings maggiore di 50° (valutata come angolo di estensione del ginocchio, con anca mantenuta a 90° di flessione), è da considerare a tutti gli effetti un fattore di rischio nella popolazione indagata.

Riguardo alla rigidità del comparto posteriore della coscia, identificato come fattore di rischio nello studio, Arnason et al (2004) hanno indicato che gli sprint brevi ad alta intensità con brusche frenate a velocità crescenti o decrescenti causano una scarsa flessibilità della catena posteriore degli arti inferiori nei giocatori di calcio. [79] Questa muscolatura eccessivamente accorciata può influenzare la regione lombosacrale a causa della sua azione di controllo sull'inclinazione anteriore del bacino. Pertanto, si può desumere che l'inclinazione pelvica anteriore limitata, causata dall'aumento della tensione degli hamstring, possa condurre ad una limitazione di mobilità a livello dell'anca, provocando un sovraccarico funzionale della colonna vertebrale lombosacrale durante la corsa e il movimento di tiro sport specifico. [52]

Come riportato in precedenza, entrambi gli studi sono stati condotti su una coorte di adolescenti giapponesi, il che limita fortemente la qualità degli outcome appena esposti.

Altri ritrovamenti interessanti sono stati evidenziati dal medesimo studio.

I risultati mostrano che il 50,4% (n = 132) degli atleti presentava alla RMN un edema midollare del peduncolo (BMO) asintomatico, che si traduce in un aumentato rischio di sviluppare una frattura da stress peduncolare bilaterale (BSI) lombare circa 4 volte superiore ai soggetti sani. Tuttavia, nessuno studio precedente ha dimostrato che la BMO lombare asintomatica in atleti adolescenti possa passare a una reazione da stress peduncolare bilaterale lombare sintomatica. Pertanto, si ritiene che questo studio possa portare ad ulteriori indagini sulla potenziale patogenesi e sulle implicazioni delle relazioni tra BMO asintomatica, BSI lombare e spondilolisi [52].

In generale, la maggior parte degli atleti adolescenti in Giappone continua a praticare sport durante tutto l'anno, e si ipotizza che un periodo più lungo di attività sportiva, caratteristica peculiare del paese nipponico, possa essere correlato alla maggiore prevalenza della BMO lombare e alla transizione da essa ad una problematica sintomatica bilaterale. Infatti, Jayanthi et al (2015) hanno riscontrato che i tassi di lesione aumentano quando l'attività sportiva è praticata per più di 8 mesi all'anno [77]. Considerando che l'edema peduncolare lombare dura da 12 a 16 settimane, e che circa il 40% dei giocatori di calcio adolescenti con BMO lombare sviluppa una spondilolisi bilaterale dopo 6 mesi di partecipazione al gioco del calcio, un periodo di riposo continuo predefinito potrebbe aiutare a prevenire lo sviluppo di fratture da stress lombari sintomatiche. [52]

Anche lo stadio di maturazione ossea del giovane sportivo è da considerare un potenziale fattore di rischio di spondilolisi. La fase apofisaria di ossificazione del corpo vertebrale lombare è stata identificata come un fattore di rischio per la BSI lombare [52]. Uraoka et al (2018) hanno dimostrato che lo stadio apofisario era più frequente a 13-14 anni di età, il che potrebbe suggerire che la BSI lombare è considerabile a tutti gli effetti una lesione specifica dell'adolescenza durante il processo di ossificazione. [78]

Gli ultimi risultati interessanti emersi dal lavoro di Tsutsui et al (2023) sono correlati ad alcuni parametri antropometrici dei calciatori inclusi nella coorte.

Lo stesso ha rivelato che la BSI lombare è correlata ad una più ampia inclinazione sacrale anteriore e ad un minore angolo di lordosi lombare (calcolato come angolo tra il bordo superiore di L1 e il bordo inferiore di L5), suggerendo che lo stress compressivo sembrerebbe aumentato tra L5 e S1. I medici e i preparatori atletici dovrebbero controllare il grado di antiversione sacrale rispetto alla lordosi lombare per ridurre al minimo la sollecitazione della pars nei giocatori di calcio adolescenti [52].

Altri studi hanno analizzato la relazione fra fattori anatomico-morfologici e lo sviluppo di spondilolisi e spondilolistesi.

Lo studio di Hanke et al (2017), svolto su una coorte di giovani sintomatici con spondilolistesi, ha riportato che l'interdipendenza tra parametri posizionali, come la pendenza sacrale (sacral slope, misurata tra la linea tangente all'endplate superiore di S1 e il piano orizzontale), e parametri anatomici, come l'incidenza pelvica (posizione relativa del piatto sacrale rispetto alle teste femorali) può influenzare la lordosi lombare e quindi il carico sugli elementi posteriori della colonna vertebrale [102]. Tuttavia, questo studio retrospettivo caso-controllo è stato effettuato su pazienti non sportivi: i risultati, quindi, non sono direttamente contestualizzabili al topic del lavoro di revisione effettuato.

Anche Toueg et al (2015) hanno riscontrato che, nel campione specifico da loro analizzato, i ginnasti con spondilolistesi riportavano un'incidenza pelvica significativamente maggiore rispetto ai ginnasti senza spondilolistesi. Inoltre, le ginnaste con spondilolistesi presentano anche una pendenza sacrale significativamente più alta rispetto ai soggetti senza spondilolistesi.

L'inclinazione pelvica media risultava aumentata di 5 gradi nelle ginnaste con spondilolistesi, ma la differenza non ha raggiunto la significatività statistica [22]. Inoltre, la maggiore incidenza pelvica media nel gruppo di ginnasti con spondilolistesi non è probabilmente dovuta alla loro età più alta, anche se è stato dimostrato che l'incidenza pelvica aumenta leggermente con l'età [103]. Se si confrontano i dati precedenti sull'incidenza pelvica normale [103], il valore medio di 67,6 gradi per le ginnaste con spondilolistesi è più alto di quello atteso per i soggetti normali a qualsiasi età durante l'adolescenza [22].

Zehnder et al (2009) si sono focalizzati sulla relazione tra lo spazio interfaccettario e la spondilolisi in età pediatrica. Essi sono giunti alla conclusione che un aumento insufficiente della spaziatura interfaccettale nella parte inferiore della colonna vertebrale, insieme ad un movimento frequente in iperestensione, determina una probabilità significativamente maggiore di sviluppare difetti spondilolitici nella popolazione pediatrica [107]. Anche in questo caso, lo studio ha indagato in modo retrospettivo pazienti non sportivi: i risultati, quindi, non sono direttamente contestualizzabili al topic del lavoro di revisione effettuato.

Hecimovich et al (2016) hanno indagato l'influenza della lordosi lombare in un gruppo di giocatori adolescenti di cricket. I risultati dello studio hanno evidenziato che i partecipanti con precedenti lesioni lombari (fra cui anche fratture spondilolitiche) avevano gradi di lordosi significativamente

più ampi e questa differenza è stata riscontrata anche in un'analisi specifica di comparazione tra i generi. [53]

Il movimento accoppiato di iperestensione e rotazione lombare presente nel gruppo specifico esaminato e in altri sport simili (come la pallavolo, il tennis e l'hockey) può contribuire allo sviluppo di una frattura spondilolitica. Queste fratture si verificano comunemente a livello di L5 e le forze di rotazione e l'aumento della lordosi possono aumentare le sollecitazioni di tale livello vertebrale, aumentando così la possibilità di frattura da stress di questa zona. Tuttavia, l'angolo lordotico che sottoporrebbe a rischio maggiore tali strutture non è ancora stato stabilito. Una maggiore curva lordotica potrebbe essere solo una coincidenza riscontrata nel campione limitato in studio, correlando l'alta incidenza di lesioni lombari alla natura dello sport, al ruolo dell'atleta e alle tecniche di allenamento. [53]

Ikata et al (1996) hanno eseguito un'indagine strumentale su 77 giovani atleti con spondilolisi e spondilolistesi (con più del 5% di scivolamento vertebrale, gruppo con scivolamento). I risultati sono stati confrontati con studi simili condotti su pazienti con sola spondilolisi (gruppo senza scivolamento) [111].

In tutti i pazienti del gruppo con scivolamento sono state riscontrate lesioni dell'endplate, presenti anche in 60 atleti (68%) del gruppo senza listesi. Gli scivolamenti tra gli endplate ossei e cartilaginei sono stati identificati tramite immagini di risonanza magnetica sagittale pesata in T1 e classificati in base al tipo di scivolamento: scivolamento totale di L5 o S1, scivolamento parziale di L5 o S1, o una combinazione di questi elementi (tipo misto) [111]. Dei 31 pazienti il cui scivolamento è progredito, nessuno è stato associato allo stadio iniziale di un difetto della pars interarticolare. La maggior parte degli scivolamenti vertebrali si è sviluppata o è progredita nello stadio cartilagineo o apofisario dell'età scheletrica lombare. L'incuneamento del corpo vertebrale di L5 e l'arrotondamento del sacro sono progrediti con lo sviluppo dello scivolamento (età media 14.0 anni), mentre queste modifiche non si sono verificate nel gruppo senza scivolamento (età media 13,7 anni) [111].

Questi risultati indicano che lo stadio avanzato di un difetto della pars interarticularis in una colonna vertebrale immatura è un fattore di rischio per la spondilolistesi. Le deformità della colonna vertebrale lombosacrale sono da considerarsi alterazioni secondarie causate dallo slittamento vertebrale [111].

Un solo studio si è concentrato sulla correlazione fra fattori di rischio genetico e sviluppo di problematiche della pars. In questo specifico caso, Matsui et al (2009) hanno ritrovato un'associazione diretta fra cambiamenti di genotipo nel collagene di tipo IX, la razza afroamericana o asiatica e la diagnosi di spondilolistesi. I risultati indicano che i polimorfismi della molecola di triptofano sono legati allo sviluppo di spondilolistesi sintomatica, che richiede un intervento chirurgico. Tutti i pazienti con spondilolistesi analizzati nello studio hanno subito un intervento chirurgico di decompressione e fusione per trattare i sintomi di dolore lombare e di compressione delle radici nervose, non solamente per risolvere la progressione dello scivolamento [109].

La combinazione di alterazioni degenerative, responsabili dei sintomi correlabili alle radici nervose, e la spondilolistesi indica che i polimorfismi del triptofano possono essere associati a una degenerazione più grave con conseguente stenosi del canale spinale e lo scivolamento delle vertebre adiacenti. Una presentazione clinica di questo tipo è gestibile più facilmente tramite approccio chirurgico [109].

Un'altra possibile spiegazione dell'associazione tra i polimorfismi del triptofano e la spondilolistesi sintomatica è l'irritazione infiammatoria cronica delle radici nervose nel sito della stenosi lombare. I prodotti di degradazione del collagene di tipo IX contenente triptofano possono causare una risposta infiammatoria e un'irritazione locale delle radici nervose, che potrebbe essere in parte correlabile alla patogenesi della listesi [109].

L'ultimo studio revisionato in questa sezione, riguardante i fattori di rischio radiografici, è quello di Yokoe et al (2021), che confronta le differenze di fattori clinici e parametri radiografici tra atleti adolescenti con spondilolisi e LBP aspecifico. Gli autori, attraverso il loro lavoro, hanno dimostrato che il sesso maschile ed un rapporto L1:L5 (misurato come rapporto tra le distanze interfaccettarie della prima e dell'ultima vertebra lombare) superiore al 65% sembrano essere fattori predittivi di spondilolisi in risonanza magnetica in atleti adolescenti che presentavano LBP correlato all'estensione, senza sintomi e reperti neurologici. [54]

Il sesso maschile risulta essere un fattore predittivo indipendente di spondilolisi all'indagine con RM. Secondo una recente revisione sistematica (Tawfik et al, 2019), pazienti di sesso maschile sviluppano difetti spondilolitici più frequentemente rispetto ai pazienti di sesso femminile, in linea con i risultati ricavati nello studio in questione. [83] Sakai et al hanno riportato che il rapporto

maschio-femmina nei pazienti con spondilolisi era 2:1, sulla base dei risultati di una revisione delle TC (tomografia computerizzata) di 2000 partecipanti dai 20 ai 90 anni. [84]

Masharawi et al (2009), nello studio da loro condotto, hanno evidenziato valori di densità ossea nella lombare significativamente più elevati nelle ragazze che nei ragazzi, in base ad un'analisi condotta su 363 bambini sani di età compresa tra 10 e 17 anni. Questa differenza anatomico-biologica può contribuire ulteriormente alla maggiore incidenza di spondilolisi nei ragazzi [85].

Gli studi precedenti che hanno descritto il rapporto L1:L5 sono troppo limitati per determinare un chiaro valore di cut-off in atleti adolescenti o in individui sani. Sono necessari ulteriori studi per individuare fattori predittivi di spondilolisi in esami di imaging, con correlazione significativa alla clinica, al fine di evitare un uso eccessivo della RM. [54]

La presenza di spina bifida occulta (SBO) e un maggiore angolo di lordosi lombare (LL) sono stati riconosciuti come fattori di rischio per lo sviluppo di spondilosi. [80,81] Il presente studio ha dimostrato che gli atleti con spondilolisi hanno avuto una maggiore prevalenza di SBO e maggiore angolo di lordosi lombare rispetto agli atleti che avevano un LBP aspecifico ; tuttavia, né la presenza di spina bifida né una lordosi lombare accentuata possono essere considerati statisticamente predittivi di presenza di spondilolisi in RM. [54]

Urrutia et al (2016) hanno riportato che la spondilolisi non si sviluppa più frequentemente nei pazienti pediatrici con SBO rispetto ai pazienti senza SBO. È stato evidenziato che la prevalenza di SBO è diminuita dal 41,2% nei bambini al 7,7% negli adulti, associabile alla chiusura incompleta dell'arco vertebrale nella stragrande maggioranza della popolazione pediatrica [82].

La misurazione dell'angolo LL è una valutazione statica che non riflette la flessibilità diretta della colonna vertebrale lombare. L'angolo LL è influenzato anche da singoli fattori, quali età, peso, attività e flessibilità del minore della muscolatura degli arti inferiori. [54]

Tutte queste limitazioni, ricavate dai vari studi inclusi in questa fase di discussione, vanno ad inficiare sulla validità statistica di questi reperti all'indagine strumentale.

Nello studio di Peterhans et al (2020), è interessante notare che è stata riscontrata un'associazione diretta tra anomalie della pars interarticularis e l'aumento di statura, in cm degli atleti nell'ultimo anno (4.95 ± 3.06 cm nel campione generale, 2.70 ± 2.54 cm nelle atlete femmine e 6.39 ± 2.44 cm nei maschi). Questo dato può portare all'ipotesi del tutto plausibile che, durante le fasi di crescita accelerata, le strutture ossee siano più inclini a cambiamenti strutturali legati all'uso eccessivo. In

un contesto simile, è stato riportato che gli squilibri muscolari dopo una crescita accelerata sono stati segnalati come fattori predisponenti per lesioni fiseali (della cartilagine di accrescimento) da uso eccessivo [57].

Inoltre, tale argomentazione è supportata dal riscontro di tali difetti articolari solo negli atleti di sesso maschile. Nonostante l'età riscontrata fosse paragonabile nei due sessi, il gruppo dei maschi era in media 1,62 anni più vicino al loro picco di crescita massimo e di conseguenza esposti a un tasso di crescita due volte superiore negli ultimi 12 mesi rispetto al gruppo delle atlete femmine [57].

Uno studio precedente, condotto su una popolazione generale non atletica, ha anche riportato che i maschi adulti presentano un'incidenza di spondilolisi due volte superiore rispetto alle donne: un dato che può che può aprire, con le dovute considerazioni, un'altra linea di argomentazione riguardo questo ritrovamento specifico dello studio [97].

Oltre a fattori intrinseci, fattori estrinseci quali differenze nel tipo di sport praticato e livello di attività tra i ragazzi e le ragazze sembrerebbero avere un'influenza critica sullo sviluppo di spondilolisi. Il livello di attività degli atleti e la frequenza degli allenamenti sarebbe più importante rispetto al tipo di attività sportiva nella valutazione di LBP in un campione adolescenziale. Il presente studio, essendo retrospettivo, non ha potuto valutare con precisione il livello di attività degli atleti o i dettagli dei loro programmi di lavoro. Non è possibile estrapolare dunque informazioni significative riguardo questa ipotesi dal presente lavoro di indagine. [54] Anche Connolly et al (2020), nel loro lavoro effettuato su una coorte di giovani tennisti a livello agonistico, hanno riscontrato che la transizione verso l'allenamento d'élite con eventuali interventi sulla forza e sul condizionamento atletico, ed il cambio di attrezzature, sono variabili che potrebbero contribuire come potenziali fattori di rischio per lo sviluppo di anomalie della pars [55].

Nello studio di Tsutsui et al (2023) [52], già analizzato in precedenza, sebbene i livelli di competizione e di attività dei calciatori partecipanti non fossero presumibilmente così elevati come quelli dei giocatori di cricket analizzati in altri studi (come, per esempio, quello di Keylock et al, 2022 [90]) non è stata riscontrata alcuna differenza significativa nel tasso di incidenza di BSI

lombari. Questo dato supporta l'ipotesi che la BSI lombare possa essere un infortunio piuttosto comune durante l'adolescenza.

È interessante notare che i maschi colpiti tendevano ad essere meno giovani (12- 16 anni) rispetto alle femmine (11-12 anni). L'introduzione regolare del servizio negli allenamenti per questi adolescenti, più comunemente praticato ed eseguito negli atleti di sesso maschile, potrebbe essere la spiegazione della disparità di incidenza tra i generi. [55]

Inoltre, questo è il primo lavoro che riporta come le anomalie della pars possano essere collegate all'angolo delle articolazioni faccettarie lombari nei tennisti adolescenti d'élite: i giocatori con un'anomalia della pars rilevata tramite risonanza magnetica (MRI) presentavano angoli articolari delle faccette significativamente più ampi rispetto ai giocatori con una pars normale. Questa scoperta potrebbe essere utile per identificare i tennisti a maggior rischio di sviluppare anomalie della pars della colonna lombare in futuro [55].

Poiché tutti i giocatori inclusi nello studio risultavano asintomatici, i risultati ottenuti mettono in evidenza la necessità di usare con cautela la risonanza magnetica come ausilio nella diagnosi specifica nei giovani tennisti con LBP, a causa dell'abbondanza di anomalie riscontrate in casi in cui la manifestazione clinica risulta essere asintomatica. [55]

Un ulteriore fattore clinico significativo statisticamente e correlabile a problematiche della pars è risultato essere la durata del dolore lombare superiore alle 4 settimane. [54]

4.2. Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: epidemiologia

Sulla base dei risultati riportati nel capitolo specifico correlato, le fratture da stress risultano essere una delle problematiche maggiormente diffuse negli sport in cui l'atleta è sottoposto in maniera continua e ripetitiva a stress in varie direzioni sulla colonna vertebrale lombare. Anche il tipo e la sede della lisi della pars sembrano differire a seconda della tipologia di lavoro richiesto al giovane atleta.

Implementando i risultati estrapolati con l'analisi della qualità metodologica degli articoli utilizzati per la stesura di questa parte del lavoro, dallo studio di Maurer et al (2011) [56] emerge una numerosità campionaria relativamente bassa (n=44), che risulta essere tuttavia determinato a priori tramite un'analisi statistica di numerosità campionaria ottimale, effettuata con software specifico. Anche i restanti item indagati risultano essere completi ed esaustivi. Non è riportata,

nella parte di conclusioni, la generalizzabilità dei dati ottenuti. Nel lavoro di Peterhans et al (2020) [57] la numerosità campionaria risulta essere più ampia (n=108), ma non determinata a priori. Il campione è di convenienza e risulta essere il numero di pazienti volontari includibili tramite i criteri riportati presenti nel setting al tempo di indagine. Inoltre, non sono riportati eventuali accorgimenti utilizzati per il controllo dei bias in fase di reclutamento degli individui includibili nel campione di studio: non è presente un vero e proprio processo di selezione dei pazienti, che sono stati inclusi direttamente all'inizio dello studio tramite criteri di inclusione. Anche in questo caso, la generalizzabilità dei dati estrapolati non è stata discussa. La qualità metodologica generale di questo secondo lavoro risulta quindi essere buona, ma inferiore rispetto a quello condotto da Maurer et al (2011) [56].

Nell'analisi effettuata da Maurer et al (2011) sulla prevalenza di anomalie alla risonanza magnetica in una coorte di vogatori e rispettivi controlli, tutti asintomatici, il secondo dato più frequente è rappresentato dalla reazione da stress della pars interarticularis, rilevata in 5 vogatori su 22. Un solo vogatore presentava spondilolisi vera e propria. Poiché la reazione allo stress può essere considerata un precursore della spondilolisi, 6 vogatori (27,3%) presentavano una di queste anomalie, a differenza dei partecipanti al gruppo di controllo in cui non è stata riscontrata alcuna lesione di questo tipo (P = .021) [56].

La prevalenza della spondilolisi nella popolazione generale è stimata tra il 3% e il 6%. Nello studio in questione, la spondilolisi non è stata rilevata in nessuno dei partecipanti al gruppo di controllo [56].

I risultati sono in parte in accordo con un precedente studio condotto da Soler e Calderon (2000) che hanno valutato lisi della pars 3152 atleti d'élite di diversi sport. Essi hanno riscontrato che solo l'8% degli atleti presentava una spondilolisi, un'incidenza vicina a quella riscontrata nella popolazione generale. Lo stesso studio ha valutato anche il numero di anomalie in ogni sport e ha riscontrato una spondilolisi nel 16,8% degli atleti di canottaggio. Tuttavia, il loro studio si differenziava da quello incluso nella revisione [56] in quanto non ha valutato la presenza di reazioni da stress, il che probabilmente ha portato a una sottostima del numero totale di anomalie riferibili a problematiche della pars interarticularis [71].

Nello studio di Peterhans et al (2020), la prevalenza di almeno un'anomalia in risonanza magnetica nella colonna vertebrale lombare è stata del 37%. A prima vista, questo dato sembra essere nettamente più basso rispetto ai tassi precedentemente riportati per altri sport agonistici (come,

per esempio, nella pallavolo nello studio di Külling et al (2014), [92] e nei giocatori di baseball, pallacanestro, atleti di kendo, corridori, giocatori di calcio, nuotatori nel lavoro di Hangai et al (2009), [93]); tuttavia, data l'età più giovane dell'attuale coorte di giovani sciatori alpini agonisti rispetto agli atleti d'élite analizzati negli studi citati, questa prevalenza deve essere vista da una prospettiva diversa. Lo stesso ragionamento deve essere considerato quando si confrontano i risultati della risonanza magnetica dello studio attuale con quelli osservati per gli sciatori alpini e moghul in studi precedenti: gli atleti analizzati avevano in media 3 anni in più [94,95]. Inoltre, sebbene sia difficile fare un confronto, la prevalenza media di specifici reperti in RM nei giovani sciatori alpini agonisti risulta chiaramente superiore a quelle riportate in precedenza per i bambini non atleti di età comparabile [96]. Una tendenza simile è stata dimostrata in studi recenti che hanno confrontato direttamente i risultati anormali della risonanza magnetica di giovani sciatori agonisti tra i 16 e i 20 anni con quelli di controlli di pari età [94,95].

Nello studio di Engstrom et al (2007) [51], l'alta percentuale di lesioni pars sintomatiche nella coorte di giovani giocatori di cricket, rispetto al 6-7% di spondilolisi lombare nella popolazione generale maschile, è coerente con l'incidenza dell'11% di lesioni sintomatiche della pars nei giocatori di cricket adulti osservati in altri studi precedenti [87,88,89].

Sebbene nessuno dei difetti bilaterali della pars L5 è stato associato a spondilolistesi, il livello segmentale L5/S1 è la sede più comune per questa condizione nella popolazione generale e in atleti come ginnasti, tuffatori e giocatori di cricket [51].

In uno studio condotto su calciatori adolescenti con dolore lombare, Selhorst et al (2019) hanno riscontrato che circa il 48% dei giocatori di calcio presentava spondilolisi lombare [50]. Kaneko et al (2017) hanno rilevato che 53% aveva BSI lombare, ed entrambi gli studi hanno mostrato che i giocatori di calcio hanno una prevalenza più elevata rispetto ai giocatori di altri sport [91].

Rabella (2015), nel suo studio, ha osservato come nei saltatori con l'asta a livello collegiale la schiena sia stata la sede più comune di infortunio (16,7%), seguita da problematiche muscolari degli hamstrings e dalla parte inferiore della gamba (13,9% ciascuno).[98]

Un terzo degli infortuni lombari (e il 5,6% degli infortuni complessivi) sono stati identificati con la diagnosi di spondilolisi. I saltatori con l'asta sembrano essere particolarmente suscettibili a questo tipo di infortunio perché il gesto sportivo specifico di questa disciplina pone la colonna vertebrale

in iperestensione forzata quando l'atleta si spinge in avanti per staccarsi dal suolo ("takeoff phase" del salto).[98]

Due studi, entrambi esclusi dalla revisione effettuata, si sono concentrati sull'analisi dell'incidenza di anomalie riscontrate in RMN in due diverse coorti di tennisti adolescenti a livello agonistico, tutti asintomatici.

Nello studio di Alyas et al (2007), 5 giocatori (15,2%) avevano un esame RM normale e 28 (84,8%) un esame anomalo. Nove giocatori su 33 presentavano lesioni pars (10 lesioni; una a due livelli, per una prevalenza totale di 27,3%), prevalentemente a livello di L5. Tre delle 10 lesioni erano fratture complete; due presentavano una spondilolistesi di grado 1 e una di grado 2 [99]. I risultati ricavati da questo studio risultano essere in linea con i valori riscontrati in altri studi proposti, e possono indicare che lesioni della pars, come altre anomalie spinali riscontrabili in risonanza magnetica, risultano essere piuttosto comuni in campioni di atleti del tutto asintomatici.

Rajeswaran et al (2014) hanno riscontrato 41 anomalie della pars interarticularis, nel 29,6% dei pazienti, il 63,4% delle quali di grado 1-3. Era presente una spondilolistesi di grado 1 nel 5,1% dei giocatori. La prevalenza fratture della pars è risultata più bassa nelle giocatrici femmine che nei maschi e più bassa nei giovani di età inferiore ai 16 anni rispetto agli over 20 [100]. La prevalenza complessiva di anomalie della pars risulta essere più alta rispetto ad altri studi su atleti d'élite di età simile (29,6 vs. 20,3 %) e può riflettere la sottostima delle lesioni di grado 1 e 2 in precedenza [101].

In letteratura, sono state effettuate svariate analisi di prevalenza di patologie spondilolitiche in campioni specifici di giovani ginnasti e ginnaste, essendo questo sport fortemente esposto al rischio di sviluppo di questo tipo di problematiche. Tuttavia, nessuno degli studi inclusi nel lavoro di revisione ha affrontato in modo peculiare questo argomento. Sono riportate in seguito le evidenze riscontrate in fase di selezione metodologica degli studi poi inclusi nella review, che per uno o più criteri non sono risultati utilizzabili nel presente lavoro, ma che tuttavia hanno portato alla luce informazioni importanti.

Nell'analisi radiografica effettuata da Mohriak (2015) e la sua equipe, è stata riscontrata una prevalenza del 5,56% per la spondilolisi. Non sono stati riscontrati casi di spondilolistesi. Pertanto, non è stata osservata alcuna differenza di prevalenza tra le ginnaste e la popolazione generale. Sebbene si tratti di un campione piccolo, il risultato ottenuto suggerisce che non esiste una

relazione diretta tra la ginnastica olimpica e la spondilolisi o la spondilolistesi. Una delle possibili cause dell'assenza di queste problematiche è che, nonostante il sovraccarico dovuto all'iperestensione, il loro condizionamento muscolare superiore alla media (in termini di allungamento e flessibilità) compenserebbe lo stress subito, prevenendone l'insorgenza. Alla luce di queste considerazioni, questo studio suppone che la ginnastica olimpica non predisponga alla lisi o listesi della colonna vertebrale toracica, lombare e sacrale [108].

Toueg et al (2015) hanno analizzato la prevalenza di fenomeni di spondilolistesi. Delle 92 ginnaste valutate clinicamente e radiograficamente, 6 casi (1 maschio, 5 femmine) presentavano spondilolistesi, il che corrisponde ad una prevalenza del 6,5%. Questi sei atleti avevano un'età compresa tra gli 11 ed i 16 anni. La prevalenza di spondilolistesi riscontrata nella coorte di ginnasti indagata è notevolmente inferiore a quella riportata in studi precedenti su ginnasti (fino al 40%-50% in alcuni studi [104,105,106]), ma è simile al 6% di prevalenza documentata nella popolazione generale.

Sebbene la causa esatta della discrepanza nella prevalenza della spondilolistesi tra l'attuale studio e quelli precedenti non sia nota, il risultato ottenuto potrebbe riflettere un bias di selezione del campione, dovuto all'alto livello agonistico dei ginnasti comparati. Infatti, è possibile che una certa percentuale di ginnaste abbia abbandonato la pratica sportiva a causa di una spondilolistesi sintomatica prima di raggiungere livelli agonistici più elevati. Più probabilmente, questo fenomeno potrebbe essere associato a metodi di allenamento diversi o innovativi introdotti nella pratica sportiva specifica della ginnastica più moderna, che comportano una diminuzione delle sollecitazioni ripetitive a livello della giunzione lombosacrale (soprattutto movimenti di estensione forzata) rispetto a quelli utilizzati negli studi passati [104,105,106]. Anche la specificità della popolazione studiata potrebbe spiegare la differenza di prevalenza osservata rispetto agli studi precedenti. Lo studio include atleti di tutte le fasce di età (sotto i 21 anni), indipendentemente dai sintomi di lombalgia, mentre la maggior parte degli studi precedenti si sono concentrati su giovani atleti sintomatici, di solito di età tra i 12 e i 18 anni [104,105,106]. Campioni ristretti possono contribuire a far risultare più alta la prevalenza del fenomeno indagato, inficiandone però la veridicità effettiva.

4.3. Spondilolisi-listesi del giovane sportivo: meccanismi traumatici

Dalla revisione sistematica effettuata, un solo articolo di quelli inclusi si è focalizzato principalmente sui meccanismi traumatici alla base della patogenesi delle fratture da stress della pars. I risultati estrapolati dal lavoro di Terai et al (2010) suggeriscono che la spondilolisi nei bambini e negli adolescenti sportivi si presenta sempre come una frattura da stress a livello caudale-ventrale della pars, poiché le sollecitazioni di trazione sono più elevate in tale zona [58].

Il probabile stress iniziale si verifica quando il soggetto esegue manovre ripetute di estensione e/o rotazione assiale durante lo sport. Quando le forze che causano la compressione, la flessione o la torsione superano ripetutamente il range di normalità, l'osso va incontro a cedimento. Quando si applica un carico in flessione nella zona peduncolo-laminare della vertebra, la sezione superiore viene compressa e si accorcia, mentre la sezione inferiore è sottoposta a tensione e si allunga. È in tale zona che si verifica la lisi per trazione, producendo inizialmente piccole fessure, che con il tempo e la ripetitività degli stress tensili tendono a progredire attraverso la struttura ossea, raggiungendo infine il lato superiore provocando il cedimento della pars. Una volta presente, il difetto progredisce in direzione cranio-dorsale e, senza trattamento, diventa circonferenziale in circa due mesi [58].

I risultati di questo studio vanno riesaminati alla luce della qualità metodologica del lavoro effettuato, esaminata tramite lo strumento STROBE [44].

La qualità metodologica, e di conseguenza la validità dei risultati ottenuti, risulta lacunosa per più motivi. In prima istanza, la numerosità campionaria dello studio è molto bassa (n=10) e non vi sono indicazioni specifiche né sulle modalità né sul setting di reclutamento dei pazienti. Nella sezione relativa a materiali e metodi dello studio è riportato un solo criterio di inclusione e nessun criterio di esclusione utilizzati nella selezione degli atleti sottoposti alle analisi effettuate. Non vengono riportati dagli autori accorgimenti per far fronte a possibili bias relativi alle varie fasi del lavoro effettuato. Nella fase di discussione dei risultati non sono stati analizzati né i possibili limiti dello studio, tantomeno la generalizzabilità dei risultati estrapolati. Infine, non è stata effettuata un'analisi statistica dei risultati ottenuti, probabilmente data la ristretta partecipazione allo studio.

Inoltre, la seconda parte dell'articolo verte principalmente su uno studio biomeccanico comparativo effettuato in laboratorio. Gli autori hanno ritenuto utile effettuare questa sperimentazione su modelli artificiali per confermare o smentire i risultati ottenuti dalla prima parte di analisi su paziente.

Risulta quindi evidente che i risultati estrapolati dallo studio in questione devono essere contestualizzati attraverso l'implementazione di altri risultati scientifici, derivanti da alcuni capitoli degli studi precedentemente proposti ed inclusi in revisione dal materiale inerente al topic escluso in fase di selezione degli articoli. Le informazioni fondamentali per sviluppare questa fase di discussione sono proposte in seguito.

Dal lavoro di Hecimovich et al (2016), si evince che, nonostante l'eziologia della frattura da stress spondilolitico sia caratterizzata da un difetto della pars interarticularis correlabile a fattori genetici, il meccanismo biomeccanico riconducibile alla genesi della frattura è riconducibile ad un microtrauma ripetuto durante l'attività sportiva. È stato proposto che in caso di iperlordosi, durante il movimento di estensione del rachide, le faccette inferiori di L4 e le faccette superiori di S1 impattino sulla pars interarticolare di L5, con conseguente lisi dell'osso e/o l'accumulo di fratture da stress risultanti in spondilolisi della vertebra. [53]

Anche dall'analisi multisport effettuata da Selhorst et al (2017) sembrerebbe che i movimenti ripetitivi di estensione e rotazione che si verificano durante i lanci provocano forze di compressione e di taglio attraverso la colonna vertebrale lombare; si ritiene che queste forze aumentino il rischio di spondilosi. Gli sport di lancio in generale, con le conseguenti forze di estensione e rotazione possono essere considerati collettivamente ad alto rischio. [50]

Nel cricket in particolare, esaminato nello studio di Engstrom et al (2007), i movimenti combinati di flessione laterale associata all'ipertensione del rachide, sono considerati un elemento chiave nella patogenesi della spondilolisi [51].

La pars interarticularis della colonna lombare nei giocatori di cricket adolescenti potrebbe essere più vulnerabile nei confronti di lesioni da stress perché la forza massima dell'arco neurale in queste vertebre caudali può non svilupparsi in maniera completa prima dei 30-40 anni di età. È ipotizzabile che il carico ripetitivo di trazione e/o di taglio degli elementi posteriori delle singole vertebre produca microtraumi cumulativi all'interno della pars interarticularis, portando alle fratture da stress sintomatiche di L4 ed L5 osservate nello studio prospettico in questione [51].

Nella presente coorte di giocatori di cricket, le lesioni sintomatiche delle pars L4 (11 su 51) e L5 (1 su 51) erano associate a dolore lombare localizzato, sviluppato nell'arco di diverse settimane. L'insorgenza progressiva dei sintomi nei giocatori infortunati avvalorava, con buona probabilità, l'ipotesi patogenetica di come uno stress perpetuato a livello del rachide lombare abbia svolto un

ruolo importante nello sviluppo di queste lesioni delle pars [51]. In precedenza, il carico ripetitivo della colonna vertebrale lombare è stato riportato essere fattore fondamentale nell'eziologia delle lesioni spondilolitiche in altri atleti, tra cui ginnasti [104,106), sollevatori di pesi [71,106] e lanciatori di giavellotto [71,110].

Come analizzato nello studio di Crew et al (2013) [64], i movimenti associati ad alcuni gesti sportivi specifici del cricket, in particolare la flessione laterale del rachide in fase di lancio, possono essere un elemento chiave nell'eziologia della spondilolisi. Rapporti precedenti hanno dimostrato che gli adolescenti che giocano a cricket mostrano circa 27,5° di flessione laterale e quasi 44° di flessione lombare durante il gesto tecnico specifico. Questi picchi sono circa 17,5° e 38° in più rispetto alla flessione laterale ed alla flessione lombare (rispettivamente) riportate nei tennisti durante il servizio [63]. Questo dato, in associazione alla rotazione assiale richiesta nel lancio nel cricket, potrebbe spiegare perché questi atleti presentano una maggiore prevalenza di lesioni lombari sul lato non dominante.

Al contrario, i tennisti presentano una flessione laterale molto meno ampia (circa 6,6° quando servono), ma hanno una richiesta di estensione molto maggiore (fino a 22°) rispetto ai giocatori di cricket [55]. Nello studio di Connolly et al (2020), effettuato su una coorte di giovani tennisti a livello elite, l'iperestensione ripetitiva che si verifica nel "kick serve" è stata ipotizzata essere una potenziale causa di lesioni della pars, soprattutto se combinata con la rotazione e la flessione laterale del tronco. La pars interarticularis funge da collegamento biomeccanico tra le articolazioni zigoapofisarie superiori e inferiori e, di conseguenza, è contemporaneamente trazionata e sottoposta a grandi carichi durante il gesto tecnico del servizio. Alla luce di questi dati, è possibile che l'estensione lombare giochi un ruolo più importante nell'insorgenza di lesioni della pars nei tennisti. [55]

5. CONCLUSIONI

L'obiettivo di questa revisione era quello di indagare fattori di rischio, epidemiologia e meccanismi traumatici alla base dello sviluppo di spondilolisi e spondilolistesi nei giovani sportivi, attraverso una revisione della letteratura. Sebbene in misura non attendibile, poiché limitato dalla qualità delle evidenze raccolte, l'indagine è riuscita a rispondere al quesito di ricerca posto inizialmente. Nello specifico è emerso che:

- è possibile notare che probabilmente esiste una relazione tra lo sviluppo di spondilolisi (anomalie della pars rilevate tramite MRI) e i movimenti ripetuti effettuati nella pratica di diversi sport, quali cricket, tennis, hockey e ginnastica artistica [46,47,52,55,64,65];
- in generale, lo sport, indipendentemente dalla tipologia e dal livello, può essere considerato a tutti gli effetti un fattore di rischio di per lo sviluppo di fratture da stress a livello lombare (Schroeder [49] e Selhorst [50]);
- l'aumento della rigidità muscolare delle catene degli arti inferiori [48,52], parametri antropometrici anomali (un angolo sacrale più ampio, un angolo di lordosi minore o accentuato) ed un basso grado di maturità scheletrica [52,53] possono essere considerati fattori di rischio per lo sviluppo di fratture della pars. Il sesso maschile ed un rapporto L1:L5 (rapporto tra le distanze interfaccettarie della prima e dell'ultima vertebra lombare) superiore al 65% risultano essere altri due fattori di rischio correlati a LBP di natura spondilolistesica [54];
- Oltre a fattori intrinseci, fattori estrinseci quali differenze nel tipo di sport praticato e livello di attività tra i ragazzi e le ragazze sembrerebbero avere un'influenza critica sullo sviluppo di spondilolisi. Il livello di attività degli atleti e la frequenza degli allenamenti sarebbe più importante rispetto al tipo di attività sportiva nella valutazione di LBP in un campione adolescenziale [55]
- le fratture da stress risultano essere una delle problematiche maggiormente diffuse negli sport in cui l'atleta è sottoposto in maniera continua e ripetitiva a stress in varie direzioni sulla colonna vertebrale lombare. Anche il tipo e la sede della lisi della pars sembrano differire a seconda della tipologia di lavoro richiesto al giovane atleta. In generale, gli atleti

hanno una prevalenza di spondilolisi maggiore rispetto ai non atleti (32% contro 2%, rispettivamente, $p = 0,0003$). Indipendentemente dall'incidenza pelvica, i giovani agonisti hanno un rischio maggiore di sviluppare una spondilolisi rispetto ai non atleti. Questo riscontro risulta essere indipendente dallo sport specifico praticato, senza alcuna differenza significativa tra gli atleti tradizionalmente considerati "iperestensori" e gli altri [49].

- la spondilolisi nei bambini e negli adolescenti sportivi si presenta, nella maggior parte dei casi, come una frattura da stress a livello caudale-ventrale della pars, poiché le sollecitazioni di trazione sono più elevate in tale zona [58]. Quando le forze che causano la compressione, la flessione o la torsione superano ripetutamente il range di normalità, l'osso va in contro a cedimento prima in questa zona più debole, poi in maniera più completa.
- il meccanismo biomeccanico correlato alla genesi della frattura è riconducibile ad un microtrauma ripetuto durante l'attività sportiva. Gli sport di lancio in generale, con le conseguenti forze di estensione e rotazione possono essere considerati collettivamente ad alto rischio [50]. In precedenza, il carico ripetitivo della colonna vertebrale lombare è stato riportato essere fattore fondamentale nell'eziologia delle lesioni spondilolitiche in altri atleti, tra cui ginnasti [104,106), sollevatori di pesi [71,106] e lanciatori di giavellotto [71,110].

6. BIBLIOGRAFIA

1. Leone A, Cianfoni A, Cerase A, Magarelli N, Bonomo L. Lumbar spondylolysis: a review. *Skeletal Radiol.* 2011 Jun;40(6):683-700. doi: 10.1007/s00256-010-0942-0. Epub 2010 May 4. PMID: 20440613.
2. Li N, Amarasinghe S, Boudreaux K, Fakhre W, Sherman W, Kaye A. Spondylolysis. *Orthop Rev (Pavia).* 2022 Aug 30;14(3):37470. doi: 10.52965/001c.37470. PMID: 36045696; PMCID: PMC9425520.
3. Fujii K, Katoh S, Sairyo K, Ikata T, Yasui N. Union of defects in the pars interarticularis of the lumbar spine in children and adolescents. The radiological outcome after conservative treatment. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86(2):225-231. doi:10.1302/0301-620x.86b2.143 39
4. Sonne-Holm S, Jacobsen S, Rosing HC, Monrad H, Gebuhr P. Lumbar spondylolysis: a life long dynamic condition? A cross sectional survey of 4.151 adults. *Eur Spine J.* 2007;16:821–8
5. Brooks BK, Southam S, Mlady GW, Logan J, Rosett M. Lumbar spine spondylolysis in the adult population: using computed tomography to evaluate the possibility of adult onset lumbar spondylosis as a cause of back pain. *Skeletal Radiol* 2009; doi:10.1007/s00256-009-0825-4
6. Taimela S, Kujala UM, Salminen JJ, Viljanen T. The prevalence of low back pain among children and adolescents. A nationwide, cohort-based questionnaire survey in Finland. *Spine (Phila Pa 1976).* 1997;22(10):1132-1136. doi:10.1097/0000763 2-199705150-00013
7. Jeffries LJ, Milanese SF, Grimmer-Somers KA. Epidemiology of adolescent spinal pain: a systematic overview of the research literature. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32(23):2630-2637. doi:10.1097/brs.0b013 e318158d70b

8. Micheli LJ, Wood R. Back pain in young athletes. Significant differences from adults in causes and patterns. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 1995;149(1):15-18.
doi:10.1001/archpedi.1995.021701 30017004
9. Berger RG, Doyle SM. Spondylolysis 2019 update. *Curr Opin Pediatr.* 2019 Feb;31(1):61-68.
doi: 10.1097/MOP.0000000000000706. PMID: 30531225.
10. Sakai T, Goda Y, Tezuka F, Takata Y, Higashino K, Sato M, Mase Y, Nagamachi A, Sairyō K. Characteristics of lumbar spondylolysis in elementary school age children. *Eur Spine J.* 2016 Feb;25(2):602-6. doi: 10.1007/s00586-015-4029-4. Epub 2015 May 26. PMID: 26006706.
11. Crawford CH III, Ledonio CG, Bess RS, et al. Current evidence regarding the etiology, prevalence, natural history, and prognosis of pediatric lumbar spondylolysis: a report from the scoliosis research society evidence-based medicine committee. *Spine Deform* 2015; 3:12–29.
12. Petersen T, Laslett M, Juhl C. Clinical classification in low back pain: best-evidence diagnostic rules based on systematic reviews. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017 May 12;18(1):188. doi: 10.1186/s12891-017-1549-6. PMID: 28499364; PMCID: PMC5429540.
13. Cassas KJ, Cassettari-Wayhs A. Childhood and adolescent sports-related overuse injuries. *Am Fam Physician.* 2006 Mar 15;73(6):1014-22. PMID: 16570735.
14. Tallarico RA, Madom IA, Palumbo MA. Spondylolysis and spondylolisthesis in the athlete. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2008 Mar;16(1):32-8. doi: 10.1097/JSA.0b013e318163be50. PMID: 18277260.
15. Herman MJ, Pizzutillo PD, Cavalier R. Spondylolysis and spondylolisthesis in the child and adolescent athlete. *Orthop Clin North Am.* 2003 Jul;34(3):461-7, vii. doi: 10.1016/s0030-5898(03)00034-8. PMID: 12974495.

16. Yokoe T, Tajima T, Yamaguchi N, Nagasawa M, Ota T, Morita Y, Chosa E. Orthopaedic medical examination for young amateur athletes: a repeated cross-sectional study from 2014 to 2018. *BMJ Open*. 2021 Jan 12;11(1):e042188. doi: 10.1136/bmjopen-2020-042188. PMID: 33436469; PMCID: PMC7805366.
17. Patel DR, Nelson TL. Sports injuries in adolescents. *Med Clin North Am*. 2000 Jul;84(4):983-1007, viii. doi: 10.1016/s0025-7125(05)70270-4. PMID: 10928198.
18. Wiltse LL, Newman PH, Macnab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res*. 1976:23–294. [PubMed: 1277669]
19. Marchetti PG, Bartolozzi P. Spondylolisthesis: classification of spondylolisthesis as a guideline for treatment. *Textbook of spinal surgery*. Philadelphia: Lippincott- Raven, 1997
20. Meyerding HW. Spondylolisthesis. *Surg Gynecol Obstet* 1932;54:371–7
21. Taillard W (1954) Le spondylolisthesis chez l'enfant et l'adolescent. *Acta Orthop Scand* 24:115–144
22. Toueg CW, Mac-Thiong JM, Grimard G, Poitras B, Parent S, Labelle H. Spondylolisthesis, Sacro-Pelvic Morphology, and Orientation in Young Gymnasts. *J Spinal Disord Tech*. 2015 Jul;28(6):E358-64. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182956d62. PMID: 24201157.
23. Nitta A, Sakai T, Goda Y, Takata Y, Higashino K, Sakamaki T, Sairyo K. Prevalence of Symptomatic Lumbar Spondylolysis in Pediatric Patients. *Orthopedics*. 2016 May 1;39(3):e434-7. doi: 10.3928/01477447-20160404-07. Epub 2016 Apr 12. PMID: 27064777.
24. Alqarni AM, Schneiders AG, Cook CE, Hendrick PA. Clinical tests to diagnose lumbar spondylolysis and spondylolisthesis: A systematic review. *Phys Ther Sport*. 2015 Aug;16(3):268-75. doi: 10.1016/j.ptsp.2014.12.005. Epub 2015 Jan 8. PMID: 25797410.

25. Randall RM, Silverstein M, Goodwin R. Review of Pediatric Spondylolysis and Spondylolisthesis. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2016 Dec;24(4):184-187. doi: 10.1097/JSA.000000000000127. PMID: 27811518.
26. Karatas AF, Dede O, Atanda AA, et al. Comparison of direct pars repair techniques of spondylolysis in pediatric and adolescent patients: pars compression screw versus pedicle screw-rod-hook. *Clin Spine Surg*. 2016;29:272–280.
27. Menga EN, Kebaish KM, Jain A, et al. Clinical results and functional outcomes after direct intralaminar screw repair of spondylolysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39:104–110.
28. Longo UG, Loppini M, Romeo G, et al. Evidence-based surgical management of spondylolisthesis: reduction or arthrodesis in situ. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96:53–58.
29. Ploumis A, Hantzidis P, Dimitriou C. High-grade dysplastic spondylolisthesis and spondyloptosis: report of three cases with surgical treatment and review of the literature. *Acta Orthop Belg*. 2005;71:750–757.
30. El Rassi G, Takemitsu M, Woratanarat P, et al. Lumbar spondylolysis in pediatric and adolescent soccer players. *Am J Sports Med*. 2005;33:1688–1693.
31. Bouras T, Korovessis P. Management of spondylolysis and low-grade spondylolisthesis in fine athletes. A comprehensive review. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2015 Jul;25 Suppl 1:S167-75. doi: 10.1007/s00590-014-1560-7. Epub 2014 Nov 14. PMID: 25394940.
32. Mohile NV, Kuczmarski AS, Lee D, Warburton C, Rakoczy K, Butler AJ. Spondylolysis and Isthmic Spondylolisthesis: A Guide to Diagnosis and Management. *J Am Board Fam Med*. 2022 Dec 23;35(6):1204-1216. doi: 10.3122/jabfm.2022.220130R1. Epub 2022 Dec 16. PMID: 36526328.

33. Pereira Duarte M, Camino Willhuber GO. Pars Interarticularis Injury. 2022 Oct 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan–. PMID: 31424775.
34. Linton AA, Hsu WK. A Review of Treatment for Acute and Chronic Pars Fractures in the Lumbar Spine. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2022 Aug;15(4):259-271. doi: 10.1007/s12178-022-09760-9. Epub 2022 May 2. PMID: 35499747; PMCID: PMC9276862.
35. Kato K, Hakozaki M, Mashiko R, Konno SI. Familial development of lumbar spondylolysis: a familial case report of 7- and 4-year-old brothers and their father. *J Int Med Res*. 2021 May;49(5):3000605211015559. doi:
36. Yokoe T, Tajima T, Sugimura H, Kubo S, Nozaki S, Yamaguchi N, Morita Y, Chosa E. stan of symptomatic spondylolysis in young soccer and baseball players. *J Orthop Surg Res*. 2020 Sep 3;15(1):378. doi: 10.1186/s13018-020-01910-4. PMID: 32883336; PMCID: PMC7469272.
37. McTimoney CA, Micheli LJ. Current evaluation and management of spondylolysis and spondylolisthesis. *Curr Sports Med Rep*. 2003 Feb;2(1):41-6. doi: 10.1249/00149619-200302000-00008. PMID: 12831675.
38. Lawrance SE, Boss E, Jacobs M, Day C. CURRENT CLINICAL CONCEPTS: Management of Common Lumbar Spine Posterior Column Disorders. *J Athl Train*. 2022 Jul 5. doi: 10.4085/1062-6050-0161.21. Epub ahead of print. PMID: 35788849.
39. Sairyo K, Katoh S, Sasa T, Yasui N, Goel VK, Vadapalli S, Masuda A, Biyani A, Ebraheim N. Athletes with unilateral spondylolysis are at risk of stress fracture at the contralateral pedicle and pars interarticularis: a clinical and biomechanical study. *Am J Sports Med*. 2005 Apr;33(4):583-90. doi: 10.1177/0363546504269035. Epub 2005 Feb 8. PMID: 15722292.

40. Standaert CJ. New strategies in the management of low back injuries in gymnasts. *Curr Sports Med Rep.* 2002 Oct;1(5):293-300. doi: 10.1249/00149619-200210000-00007. PMID: 12831692.
41. Mo AZ, Gjolaj JP. Axial Low Back Pain in Elite Athletes. *Clin Sports Med.* 2021 Jul;40(3):491-499. doi: 10.1016/j.csm.2021.03.005. PMID: 34051942.
42. Maraolo A.E., Gervasoni F., Polcaro F., Gallo A. Traduzione articolo originale PRISMA statement 2020: una guida aggiornata per il reporting di revisioni sistematiche. *Medici oggi.* 2021 aprile
43. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097
44. Von Elm, E., Altman, D. G., Egger, M., Pocock, S. J., Gøtzsche, P. C., & Vandembroucke, J. P. (2007). The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Statement: Guidelines for Reporting Observational Studies. *PLoS Medicine*, 4(10), e296. doi: 10.1371/journal.pmed.0040296 , 10.1371/journal.pmed.0040296
45. Vandembroucke JP, von Elm E, Altman DG, Gøtzsche PC, Mulrow CD, Pocock SJ, Poole C, Schlesselman JJ, Egger M; STROBE Initiative. Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): explanation and elaboration. *PLoS Med.* 2007 Oct 16;4(10):e297. doi: 10.1371/journal.pmed.0040297. PMID: 17941715; PMCID: PMC2020496.
46. Donaldson LD. Spondylolysis in elite junior-level ice hockey players. *Sport Health.* 2014 Jul;6(4):356-9. doi: 10.1177/1941738113519958. PMID: 24982710; PMCID: PMC4065557.

47. Bennett DL, Nassar L, DeLano MC. Lumbar spine MRI in the elite-level female gymnast with low back pain. *Skeletal Radiol.* 2006 Jul;35(7):503-9. doi: 10.1007/s00256-006-0083-7. Epub 2006 Mar 7. PMID: 16520993.
48. Takei S, Torii S, Taketomi S, Iwanuma S, Tojima M, Otomo M, Iizuka S, Tanaka S. Is Increased Kicking Leg Iliopsoas Muscle Tightness a Predictive Factor for Developing Spondylolysis in Adolescent Male Soccer Players? *Clin J Sport Med.* 2022 Mar 1;32(2):e165-e171. doi: 10.1097/JSM.0000000000000920. PMID: 33844489.
49. Schroeder GD, LaBella CR, Mendoza M, Daley EL, Savage JW, Patel AA, Hsu WK. The role of intense athletic activity on structural lumbar abnormalities in adolescent patients with symptomatic low back pain. *Eur Spine J.* 2016 Sep;25(9):2842-8. doi: 10.1007/s00586-016-4647-5. Epub 2016 Jun 13. PMID: 27294387.
50. Selhorst M, Fischer A, MacDonald J. Prevalence of Spondylolysis in Symptomatic Adolescent Athletes: An Assessment of Sport Risk in Nonelite Athletes. *Clin J Sport Med.* 2019 Sep;29(5):421-425. doi: 10.1097/JSM.0000000000000546. PMID: 31460956.
51. Engstrom CM, Walker DG. Pars interarticularis stress lesions in the lumbar spine of cricket fast bowlers. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Jan;39(1):28-33. doi: 10.1249/01.mss.0000241642.82725.ac. PMID: 17218880.
52. Tsutsui T, Iizuka S, Takei S, Maemichi T, Torii S. Risk Factors for Symptomatic Bilateral Lumbar Bone Stress Injury in Adolescent Soccer Players: A Prospective Cohort Study. *Am J Sports Med.* 2023 Mar;51(3):707-714. doi:10.1177/03635465221146289. Epub 2023 Jan 20. PMID: 36661480.

53. Hecimovich, M. D., & Stomski, N. J. (2016). Lumbar Sagittal Plane Spinal Curvature and Junior-Level Cricket Players. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, 21(2), 47–52. doi:10.1123/ijatt.2015-0028
54. Yokoe T, Tajima T, Sugimura H, Kubo S, Nozaki S, Yamaguchi N, Morita Y, Chosa E. Predictors of Spondylolysis on Magnetic Resonance Imaging in Adolescent Athletes With Low Back Pain. *Orthop J Sports Med*. 2021 Apr 9;9(4):2325967121995466. doi: 10.1177/2325967121995466. PMID: 33889645; PMCID: PMC8040580.
55. Connolly M, Rotstein AH, Roebert J, Grabinski R, Malara F, O'Shea T, Wood T, Omizzolo M, Kovalchik S, Reid M. Lumbar spine abnormalities and facet joint angles in asymptomatic elite junior tennis players. *Sports Med Open*. 2020 Nov 25;6(1):57. doi: 10.1186/s40798-020-00285-4. PMID: 33237502; PMCID: PMC7688834.
56. Maurer M, Soder RB, Baldisserotto M. Spine abnormalities depicted by magnetic resonance imaging in adolescent rowers. *Am J Sports Med*. 2011 Feb;39(2):392-7. doi: 10.1177/0363546510381365. Epub 2010 Oct 2. PMID: 20889986.
57. Peterhans L, Fröhlich S, Stern C, Frey WO, Farshad M, Sutter R, Spörri J. High Rates of Overuse-Related Structural Abnormalities in the Lumbar Spine of Youth Competitive Alpine Skiers: A Cross-sectional MRI Study in 108 Athletes. *Orthop J Sports Med*. 2020 May 29;8(5):2325967120922554. doi: 10.1177/2325967120922554. PMID: 32528992; PMCID: PMC7263161.
58. Terai T, Sairyō K, Goel VK, Ebraheim N, Biyani A, Faizan A, Sakai T, Yasui N. Spondylolysis originates in the ventral aspect of the pars interarticularis: a clinical and biomechanical study. *J Bone Joint Surg Br*. 2010 Aug;92(8):1123-7. doi: 10.1302/0301-620X.92B8.22883. PMID: 20675758. .

59. Hardcastle P, Annear P, Foster DH, Chakera TM, McCormick C, Khangure M, Burnett A. Spinal abnormalities in young fast bowlers. *J Bone Joint Surg Br.* 1992 May;74(3):421-5. doi: 10.1302/0301-620X.74B3.1587894. PMID: 1587894.
60. Hardcastle PH. Repair of spondylolysis in young fast bowlers. *J Bone Joint Surg Br.* 1993 May;75(3):398-402. doi: 10.1302/0301-620X.75B3.8496207. PMID: 8496207.
61. Ranawat VS, Dowell JK, Heywood-Waddington MB. Stress fractures of the lumbar pars interarticularis in athletes: a review based on long-term results of 18 professional cricketers. *Injury.* 2003 Dec;34(12):915-9. doi: 10.1016/s0020-1383(03)00034-2. PMID: 14636734.
62. Gregory PL, Batt ME, Kerslake RW. Comparing spondylolysis in cricketers and soccer players. *Br J Sports Med.* 2004 Dec;38(6):737-42. doi: 10.1136/bjism.2003.008110. PMID: 15562169; PMCID: PMC1724984.
63. Burnett AF, Barrett CJ, Marshall RN, Elliott BC, Day RE. Three-dimensional measurement of lumbar spine kinematics for fast bowlers in cricket. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1998 Dec;13(8):574-583. doi: 10.1016/s0268-0033(98)00026-6. PMID: 11415836.
64. Crewe H, Campbell A, Elliott B, Alderson J. Lumbo-pelvic biomechanics and quadratus lumborum asymmetry in cricket fast bowlers. *Med Sci Sports Exerc.* 2013 Apr;45(4):778-83. doi: 10.1249/MSS.0b013e31827973d1. PMID: 23135366.
65. Goto T, Sakai T, Sugiura K, Manabe H, Morimoto M, Tezuka F, Yamashita K, Takata Y, Chikawa T, Katoh S, Sairyō K. Dash-Associated Spondylolysis Hypothesis. *Spine Surg Relat Res.* 2018 Aug 25;3(2):146-150. doi: 10.22603/ssrr.2018-0020. PMID: 31435567; PMCID: PMC6690085.

66. Kratky S, Müller E, Pfusterschmied J, et al. Effects of a Body-Weight Supporting Kite on Sprint Running Kinematics in Well-Trained Sprinters. *J Strength Cond Res.* 2013;27(5):1215-2
67. Schache AG, Blanch PD, Murphy AT. Relation of anterior pelvic tilt during running to clinical and kinematic measures of hip extension. *Br J Sports Med.* 2000 Aug;34(4):279-83. doi: 10.1136/bjism.34.4.279. PMID: 10953901; PMCID: PMC1724219.
68. Standaert CJ. Low back pain in the adolescent athlete. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2008 May;19(2):287-304, ix. doi: 10.1016/j.pmr.2008.01.002. PMID: 18395649.
69. De Luigi AJ. Low back pain in the adolescent athlete. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2014 Nov;25(4):763-88. doi: 10.1016/j.pmr.2014.06.004. Epub 2014 Aug 2. PMID: 25442158.
70. Cavalier R, Herman MJ, Cheung EV, Pizzutillo PD. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents: I. Diagnosis, natural history, and nonsurgical management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2006 Jul;14(7):417-24. doi: 10.5435/00124635-200607000-00004. PMID: 16822889.
71. Soler T, Calderón C. The prevalence of spondylolysis in the Spanish elite athlete. *Am J Sports Med.* 2000 Jan-Feb;28(1):57-62. doi: 10.1177/03635465000280012101. PMID: 10653544.
72. Ruiz-Cotorro A, Balius-Matas R, Estruch-Massana AE, Vilaró Angulo J. Spondylolysis in young tennis players. *Br J Sports Med.* 2006 May;40(5):441-6; discussion 446. doi: 10.1136/bjism.2005.023960. PMID: 16632576; PMCID: PMC2577492.
73. Ladenhauf HN, Fabricant PD, Grossman E, Widmann RF, Green DW. Athletic participation in children with symptomatic spondylolysis in the New York area. *Med Sci Sports Exerc.* 2013 Oct;45(10):1971-4. doi: 10.1249/MSS.0b013e318294b4ed. PMID: 23559123.

74. Corkery MB, O'Rourke B, Viola S, Yen SC, Rigby J, Singer K, Thomas A. An exploratory examination of the association between altered lumbar motor control, joint mobility and low back pain in athletes. *Asian J Sports Med.* 2014 Dec;5(4):e24283. doi: 10.5812/asjism.24283. Epub 2014 Nov 10. PMID: 25741418; PMCID: PMC4335479.
75. Nagai T, Abt JP, Sell TC, Keenan KA, Clark NC, Smalley BW, Wirt MD, Lephart SM. Lumbar spine and hip flexibility and trunk strength in helicopter pilots with and without low back pain history. *Work.* 2015;52(3):715-22. doi: 10.3233/WOR-152192. PMID: 26528848.
76. Radwan A, Bigney KA, Buonomo HN, Jarmak MW, Moats SM, Ross JK, Tatarevic E, Tomko MA. Evaluation of intra-subject difference in hamstring flexibility in patients with low back pain: An exploratory study. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2014 Jun 24. doi: 10.3233/BMR-140490. Epub ahead of print. PMID: 24968796.
77. Jayanthi NA, LaBella CR, Fischer D, Pasulka J, Dugas LR. Sports-specialized intensive training and the risk of injury in young athletes: a clinical case-control study. *Am J Sports Med.* 2015 Apr;43(4):794-801. doi: 10.1177/0363546514567298. Epub 2015 Feb 2. PMID: 25646361.
78. Uraoka H, Higashino K, Morimoto M, Yamashita K, Tezuka F, Takata Y, Sakai T, Nagamachi A, Murase M, Sairyo K. Study of lesions of the lumbar endplate based on the stage of maturation of the lumbar vertebral body: the relationship between skeletal maturity and chronological age. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018 Feb;28(2):183-187. doi: 10.1007/s00590-017-2032-7. Epub 2017 Sep 16. PMID: 28918493.
79. Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Risk factors for injuries in football. *Am J Sports Med.* 2004 Jan-Feb;32(1 Suppl):5S-16S. doi: 10.1177/0363546503258912. PMID: 14754854.
80. Been E, Li L, Hunter DJ, Kalichman L. Geometry of the vertebral bodies and the intervertebral discs in lumbar segments adjacent to spondylolysis and spondylolisthesis: pilot study. *Eur Spine J.* 2011 Jul;20(7):1159-65. doi: 10.1007/s00586-010-1660-y. Epub 2010 Dec 23. PMID: 21181481; PMCID: PMC3176698.

81. Jacobsen S, Sonne-Holm S, Røvsing H, Monrad H, Gebuhr P. Degenerative lumbar spondylolisthesis: an epidemiological perspective: the Copenhagen Osteoarthritis Study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007 Jan 1;32(1):120-5. doi: 10.1097/01.brs.0000250979.12398.96. PMID: 17202902.
82. Urrutia J, Cuellar J, Zamora T. Spondylolysis and spina bifida occulta in pediatric patients: prevalence study using computed tomography as a screening method. *Eur Spine J*. 2016 Feb;25(2):590-5. doi: 10.1007/s00586-014-3480-y. Epub 2014 Jul 29. PMID: 25070790.
83. Tawfik S, Phan K, Mobbs RJ, Rao PJ. The Incidence of Pars Interarticularis Defects in Athletes. *Global Spine J*. 2020 Feb;10(1):89-101. doi: 10.1177/2192568218823695. Epub 2019 Feb 24. PMID: 32002353; PMCID: PMC6963352.
84. Sakai T, Sairyo K, Takao S, Nishitani H, Yasui N. Incidence of lumbar spondylolysis in the general population in Japan based on multidetector computed tomography scans from two thousand subjects. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009 Oct 1;34(21):2346-50. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b4abbe. PMID: 19934813.
85. Masharawi YM, Kjaer P, Bendix T, Manniche C, May H, Mirovsky Y, Anekshtein Y, Jensen TS, HersHKovitz I. Lumbar facet and interfacet shape variation during growth in children from the general population: a three-year follow-up MRI study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009 Feb 15;34(4):408-12. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181971b6a. PMID: 19214102.
86. SELF-STUDY Course SS1978, Principles of Epidemiology in Public Health Practice Third Edition An Introduction to Applied Epidemiology and Biostatistics, October 2006, Updated May 2012.
87. Foster D, John D, Elliott B, Ackland T, Fitch K. Back injuries to fast bowlers in cricket: a prospective study. *Br J Sports Med*. 1989 Sep;23(3):150-4. doi: 10.1136/bjism.23.3.150. PMID: 2620228; PMCID: PMC1478681.

88. Fredrickson BE, Baker D, McHolick WJ, Yuan HA, Lubicky JP. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Am.* 1984 Jun;66(5):699-707. PMID: 6373773.
89. ROCHE MB, ROWE GG. The incidence of separate neural arch and coincident bone variations; a summary. *J Bone Joint Surg Am.* 1952 Apr;34-A(2):491-4. PMID: 14917718.
90. Keylock L, Alway P, Felton P, McCaig S, Brooke-Wavell K, King M, Peirce N. Lumbar bone stress injuries and risk factors in adolescent cricket fast bowlers. *J Sports Sci.* 2022 Jun;40(12):1336-1342. doi: 10.1080/02640414.2022.2080161. Epub 2022 May 28. PMID: 35635278.
91. Kaneko H, Murakami M, Nishizawa K. Prevalence and clinical features of sports-related lumbosacral stress injuries in the young. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017 May;137(5):685-691. doi: 10.1007/s00402-017-2686-y. Epub 2017 Mar 27. PMID: 28349205.
92. Külling FA, Florianz H, Reepschläger B, Gasser J, Jost B, Lajtai G. High Prevalence of Disc Degeneration and Spondylolysis in the Lumbar Spine of Professional Beach Volleyball Players. *Orthop J Sports Med.* 2014 Apr 9;2(4):2325967114528862. doi: 10.1177/2325967114528862. PMID: 26535316; PMCID: PMC4555589.
93. Hangai M, Kaneoka K, Hinotsu S, Shimizu K, Okubo Y, Miyakawa S, Mukai N, Sakane M, Ochiai N. Lumbar intervertebral disk degeneration in athletes. *Am J Sports Med.* 2009 Jan;37(1):149-55. doi: 10.1177/0363546508323252. Epub 2008 Sep 17. PMID: 18799691.
94. Thoreson O, Kovac P, Swärd A, Agnvall C, Todd C, Baranto A. Back pain and MRI changes in the thoraco-lumbar spine of young elite Mogul skiers. *Scand J Med Sci Sports.* 2017 Sep;27(9):983-989. doi: 10.1111/sms.12710. Epub 2016 Jul 1. PMID: 27367529.
95. Witwit WA, Kovac P, Sward A, Agnvall C, Todd C, Thoreson O, Hebelka H, Baranto A. Disc degeneration on MRI is more prevalent in young elite skiers compared to controls. *Knee*

- Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2018 Jan;26(1):325-332. doi: 10.1007/s00167-017-4545-3. Epub 2017 Apr 13. PMID: 28409199; PMCID: PMC5754419.
96. Kjaer P, Leboeuf-Yde C, Sorensen JS, Bendix T. An epidemiologic study of MRI and low back pain in 13-year-old children. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005 Apr 1;30(7):798-806. doi: 10.1097/01.brs.0000157424.72598.ec. PMID: 15803084.
97. Beutler WJ, Fredrickson BE, Murtland A, Sweeney CA, Grant WD, Baker D. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis: 45-year follow-up evaluation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003 May 15;28(10):1027-35; discussion 1035. doi: 10.1097/01.BRS.0000061992.98108.A0. PMID: 12768144.
98. Rebella G. A prospective study of injury patterns in collegiate pole vaulters. *Am J Sports Med*. 2015 Apr;43(4):808-15. doi: 10.1177/0363546514564542. Epub 2015 Jan 16. PMID: 25596615.
99. Alyas F, Turner M, Connell D. MRI findings in the lumbar spines of asymptomatic, adolescent, elite tennis players. *Br J Sports Med*. 2007 Nov;41(11):836-41; discussion 841. doi: 10.1136/bjism.2007.037747. Epub 2007 Jul 19. PMID: 17640926; PMCID: PMC2465278.
100. Rajeswaran G, Turner M, Gissane C, Healy JC. MRI findings in the lumbar spines of asymptomatic elite junior tennis players. *Skeletal Radiol*. 2014 Jul;43(7):925-32. doi: 10.1007/s00256-014-1862-1. Epub 2014 Apr 2. PMID: 24691895.
101. Maquirriain J, Ghisi JP. The incidence and distribution of stress fractures in elite tennis players. *Br J Sports Med*. 2006 May;40(5):454-9; discussion 459. doi: 10.1136/bjism.2005.023465. PMID: 16632579; PMCID: PMC2653875.
102. Hanke LF, Tuakli-Wosornu YA, Harrison JR, Moley PJ. The Relationship Between Sacral Slope and Symptomatic Isthmic Spondylolysis in a Cohort of High School Athletes: A Retrospective Analysis. *PM R*. 2018 May;10(5):501-506. doi: 10.1016/j.pmrj.2017.09.012. Epub 2017 Oct 6. PMID: 28993288.

103. Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar JR 2nd, Betz RR, Labelle H. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004 Aug 1;29(15):1642-7. doi: 10.1097/01.brs.0000132312.78469.7b. PMID: 15284510.
104. Jackson DW, Wiltse LL, Cirincoine RJ. Spondylolysis in the female gymnast. *Clin Orthop Relat Res*. 1976 Jun;(117):68-73. PMID: 132328.
105. Jackson DW. Low back pain in young athletes: evaluation of stress reaction and discogenic problems. *Am J Sports Med*. 1979 Nov-Dec;7(6):364-6. doi: 10.1177/036354657900700614. PMID: 159628.
106. Rossi F, Dragoni S. Lumbar spondylolysis: occurrence in competitive athletes. Updated achievements in a series of 390 cases. *J Sports Med Phys Fitness*. 1990 Dec;30(4):450-2. PMID: 2079853.
107. Zehnder SW, Ward CV, Crow AJ, Alander D, Latimer B. Radiographic assessment of lumbar facet distance spacing and pediatric spondylolysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009 Feb 1;34(3):285-90. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181956053. PMID: 19179924.
108. Mohriak R, Vargas Silva PD, Trandafilov M Jr, Martins DE, Wajchenberg M, Cohen M, Puertas EB. SPONDYLOLYSIS AND SPONDYLOLISTHESIS IN YOUNG GYMNASTS. *Rev Bras Ortop*. 2015 Nov 16;45(1):79-83. doi: 10.1016/S2255-4971(15)30221-4. PMID: 27022524; PMCID: PMC4799125.
109. Matsui Y, Mirza SK, Wu JJ, Carter B, Bellabarba C, Shaffrey CI, Chapman JR, Eyre DR. The association of lumbar spondylolisthesis with collagen IX tryptophan alleles. *J Bone Joint Surg Br*. 2004 Sep;86(7):1021-6. doi: 10.1302/0301-620x.86b7.14994. PMID: 15446531.
110. Schmitt H, Brocai DR, Carstens C. Long-term review of the lumbar spine in javelin throwers. *J Bone Joint Surg Br*. 2001 Apr;83(3):324-7. doi: 10.1302/0301-620x.83b3.11386. PMID: 11341412.

111. Ikata T, Miyake R, Katoh S, Morita T, Murase M. Pathogenesis of sports-related spondylolisthesis in adolescents. Radiographic and magnetic resonance imaging study. *Am J Sports Med.* 1996 Jan-Feb;24(1):94-8. doi: 10.1177/036354659602400117. PMID: 8638762.

7. APPENDICE

7.1 Analisi completa articoli secondo STROBE

Di seguito viene riportata la tabella riassuntiva completa della valutazione metodologica effettuata sui 13 articoli inclusi nella revisione attraverso lo strumento STROBE, riportato nel capitolo 2.6. Il riassunto grafico dei risultati è stato riportato in precedenza nei risultati, nel capitolo specifico 3.6.

1. "Spondylolysis in elite junior-level ice hockey players." [46]

<p>1 a) NO, disegno di studio non presente nel titolo, si nell'abstract.</p> <p>b) OK, buona struttura dell'abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>12 a) NO, non riportata nessuna analisi statistica.</p> <p>b) /, non presenti sottogruppi nello studio.</p> <p>c) NO, non riportati.</p> <p>d) coorte: /, non presenti follow up da disegno di studio.</p> <p>e) NO, non riportata.</p>
<p>2 OK, background completo, la descrizione del rationale dello studio è presente in precedenza ("hypothesis" nell'abstract").</p>	<p>13 a) OK, presente processo utilizzato per individuare i partecipanti includibili nello studio. No follow up nel disegno di studio.</p> <p>b) /, non sono riportati motivi di esclusione.</p> <p>c) NO, flow chart non riportati.</p>
<p>3 NO, obiettivi specifici non riportati. Solo ipotesi nell'abstract.</p>	<p>14 a) NO, riportati solamente gli outcome in modo accurato. Le tabelle non sono però presenti, no indicazioni specifiche per fattori confondenti.</p> <p>b) NO, non riportati dati mancanti, nemmeno in precedenza.</p> <p>c) NO, No follow up nel disegno di studio.</p>

<p>4 OK, tipo di studio presentato subito, nella parte iniziale di “Metodi”</p>	<p>15 NO, riportati in maniera discorsiva tutti i findings associati all’outcome, tramite review del materiale medico disponibile. L’outcome in sé è la presenza di spondilolisi.</p>
<p>5 MAYBE, non specificato il setting di raccolta dati, riportato invece il periodo di raccolta dati. Il disegno di studio non richiede follow up.</p>	<p>16 a) OK, non sono presenti analisi aggiuntive, i risultati sono stati riportati come dati principali dello studio, da obiettivo principale della ricerca. No aggiustamenti o possibili fattori confondenti.</p> <p>b) /, non ci sono dati continui esaminati.</p> <p>c) /, non si parla di rischio relativo e rischio assoluto</p>
<p>6 a) coorte: OK, partecipanti, metodi e criteri di inclusione riportati. Non dichiarati esplicitamente i criteri di esclusione. Follow up non presente nel disegno di studio.</p> <p>b) coorte: /, non ci sono accoppiamenti né sottogruppi di studio.</p>	<p>17 /, nessuna analisi aggiuntiva.</p>
<p>7 MAYBE, essendo uno studio retrospettivo, l’outcome ricercato (presenza di spondilolisi) è riportato insieme alle altre variabili ad essi correlati, nella parte di criteri di inclusione dei partecipanti. Non sono riportati invece fattori confondenti, dati legati alla diagnosi di spondilolisi e variabili di esposizione (l’esposizione indagata è l’hockey in sé).</p>	<p>18 OK, riportati nella fase di discussione i risultati principali, in relazione alle ipotesi principali dello studio.</p>
<p>8 NO, non approfondito. Si parla solo di lavoro di revisione retrospettivo sulla coorte di casi.</p>	<p>19 MAYBE, limiti indirettamente riportati.</p>
<p>9 NO, non presente.</p>	<p>20 OK, risultati interpretati e contestualizzati, ma assenti altri studi ed evidenze simili disponibili. Viene esplicitata la necessità di indagini più ampie ed approfondite in futuro.</p>

10 OK , la numerosità del campione risulta essere il numero di atleti nel periodo di tempo indagata, includibili dai criteri. Campione informale, non determinato a priori. n=25	21 NO, non presente collegamento a validità esterna.
11 /	22 NO, non riportati.

2. “Lumbar spine MRI in the elite-level female gymnast with low back pain” [47]

<p>1 a) NO, tipologia di studio non presente nel titolo e non dichiarata chiaramente nell’abstract (ma descritta in modo già abbastanza completo).</p> <p>Il tipo di studio è definito prospettico, ma è un termine utilizzato solamente per indicare quando si analizzeranno i dati raccolti nel tempo. In realtà, si sottopone il campione ad un’indagine strumentale al momento della valutazione iniziale, valutando i ritrovamenti immediati nei gruppi .</p> <p>b) OK, buona struttura dell’abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica.</p> <p>b) /, non presenti sottogruppi.</p> <p>c) NO, non riportati.</p> <p>d) cross-sectional: NO, non utilizzate analisi aggiuntive per determinare il campione.</p> <p>e) /</p>
<p>2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell’introduzione.</p>	<p>13 a) NO, non sono stati effettuati stage decisionali per includere i potenziali partecipanti allo studio, essendo essi già presenti nel setting al tempo in cui è stato effettuato lo studio.</p> <p>b) NO, di conseguenza.</p> <p>c) NO, di conseguenza.</p>

<p>3 OK, non sono presenti obiettivi specifici, è riportato nuovamente il razionale e l'ipotesi proposta dallo studio.</p>	<p>14 a) MAYBE, riportati solo età e tipo di LBP all'interno della tabella riassuntiva degli outcome ritrovati. No info demografiche-sociali e possibili fattori confondenti.</p> <p>b) SI, riportate variabili assenti per ogni partecipante indagato.</p> <p>c) /</p>
<p>4 OK, il disegno di studio e le procedure di esame del campione sono spiegati nella parte di "Metodi". Tuttavia, in questa parte del documento, non è menzionato direttamente il tipo di studio.</p>	<p>15 cross-sectional: OK, riportati dati e tabelle riassuntive.</p>
<p>5 OK, setting ben specificato. Riportato il periodo di selezione dei partecipanti (durata del camp specifico). Follow up non presente nel disegno di studio (cross-sectional).</p>	<p>16 a) MAYBE, non sono riportati dati con intervalli di confidenza associati, ma vi è il report dell'analisi statistica effettuata.</p> <p>b) /, non ci sono dati continui esaminati.</p> <p>c) /, non si parla di rischio relativo e rischio assoluto.</p>
<p>6 a) cross-sectional: OK, criteri di inclusione ed esclusione presenti, ma non dichiarati apertamente. Metodi di raccolta e valutazione del campione riportati insieme al setting. Non presenti follow up da disegno di studio.</p> <p>b) cross-sectional: /</p>	<p>17 OK, come riportato in precedenza a è stata riportata l'analisi statistica di comparazione dei risultati tra le atlete con LBP e senza LBP.</p>
<p>7 OK, variabili ed outcome indagati riportate in modo ordinato e completo. Criteri diagnostici ben riportati ed espliciti. Assenti potenziali fattori confondenti.</p>	<p>18 OK, riportati nella fase di discussione i risultati principali, in relazione agli obiettivi principali dello studio e ai vari outcome ritrovati.</p>
<p>8 OK, riportati metodi di valutazione delle variabili all'interno del campione partecipante allo studio. Non ci sono state</p>	<p>19 SI, riportati nella fase finale di discussione.</p>

differenze in queste procedure fra i vari outcome ricercati nell'esame clinico ed in quello strumentale con MRI.	
9 NO, non riportata in modo specifico.	20 MAYBE, riportata analisi dei risultati, non presenti limiti ed informazioni aggiuntiva.
10 OK, la numerosità del campione risulta essere il numero di atleti presenti nel setting al tempo dell'indagine. Campione informale, non determinato a priori con un metodo statistico. n=19	21 NO, assente.
11 /	22 NO, non riportati.

3. "Is Increased Kicking Leg Iliopsoas Muscle Tightness a Predictive Factor for Developing Spondylolysis in Adolescent Male Soccer Players?" [48]

1 a) NO, disegno di studio non presente nel titolo, si nell'abstract. b) OK, buona struttura dell'abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.	12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica. b) OK, riportata analisi statistica utilizzata nei sottogruppi e nella comparazione fra essi. c) NO, mancanti. d) coorte: NO, riportata solo l'assenza al follow up. e) /
2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.	13 a) OK, riportato il numero totale della coorte e il campione incluso nell'indagine nel follow-up successivo.

	<p>b) NO, presente la motivazione di inclusione generale, ma non la motivazione dei partecipanti persi al follow up.</p> <p>c) OK, presente.</p>
<p>3 NO, assenti obiettivi specifici, riportata ipotesi iniziale dello studio.</p>	<p>14 a) OK, riportate variabili antropometriche ed età dei partecipanti. Variabili sociodemografiche assenti.</p> <p>b) No, assenti.</p> <p>c) OK, follow up unico ad 1 anno.</p>
<p>4 OK, il disegno di studio e il campione sono riportati subito nella parte di "Metodi".</p>	<p>15 coorte: OK, dati riportati e riassunti in varie tabelle specifiche.</p>
<p>5 OK, setting ben specificato. Riportato il periodo di selezione dei partecipanti. Follow up presente nel disegno di studio, riportato correttamente .</p>	<p>16 a) OK, sono riportati dati con intervalli di confidenza associati e significatività statistica utilizzata. Dati aggiustati per età di sviluppo e body mass index (BMI). Non riportati fattori confondenti potenzialmente influenti.</p> <p>b) /, non ci sono variabili continue indagate.</p> <p>c) /, non si parla di rischio relativo e rischio assoluto.</p>
<p>6 a) coorte: MAYBE, non specificati criteri di inclusione ed esclusione, se non l'appartenenza al setting di selezione. Riportati i criteri di inclusione nei gruppi di casi e controlli.</p> <p>b) /</p>	<p>17 OK, riportate analisi di confronto fra i gruppi in cui è stata suddivisa la coorte di studio.</p>
<p>7 OK , variabili indagate riportate in modo ordinato e completo. Riportati in modo specifico i metodi di valutazione/diagnosi delle variabili indagate. Assenti potenziali fattori confondenti.</p>	<p>18 OK, discussione dei risultati nel sottocapitolo dedicato, con interpretazione sulla base di altre evidenze scientifiche.</p>

8 OK, riportati in modo specifico i metodi di valutazione/diagnosi delle variabili indagate.	19 OK, riportata analisi di punti di forza e limitazioni dello studio.
9 OK, riportate alcune peculiarità del metodo utilizzato al fine di standardizzare il più possibile il processo diagnostico.	20 OK, riportati tutti i risultati nel sottocapitolo dedicato, con cauta interpretazione sulla base di altre evidenze scientifiche.
10 OK, la numerosità del campione risulta essere il numero di atleti presenti nel setting al tempo dell'indagine. Campione informale, non determinato a priori con un metodo statistico. n=195	21 NO, assente generalizzazione dei risultati.
11 /	22 NO, non riportato.

4. "The role of intense athletic activity on structural lumbar abnormalities in adolescent patients with symptomatic low back pain." [49]

<p>a) OK, disegno di studio assente nel titolo e presentato chiaramente nell'abstract.</p> <p>b) OK, buona struttura dell'abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica.</p> <p>b) OK, riportata l'analisi statistica dei dati in sottogruppi specifici ed interazioni fra essi.</p> <p>c) NO, non riportata.</p> <p>d) coorte: /, no follow up da disegno di studio.</p> <p>e) /</p>
2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.	13 a) OK, presentati passaggi decisionali di inclusione ed esclusione dei partecipanti allo studio.

	<p>b) OK, riportate motivazioni di esclusione dei partecipanti.</p> <p>c) NO, non utilizzati flow chart.</p>
<p>3 NO, no riportati obiettivi specifici, solo ipotesi generale indagata dallo studio.</p>	<p>14 a) OK, riportata tabella riassuntiva dei principali dati demografici. Assenti potenziali fattori confondenti.</p> <p>b) NO, assenti.</p> <p>c) /, non presenti follow up da disegno di studio.</p>
<p>4 OK, metodologia dello studio e il campione sono riportati subito nella parte di "Metodi".</p>	<p>15 coorte: OK, riportati dati nel capitolo specifico riassuntivo.</p>
<p>5 OK, riportato setting e periodo di campionamento. Follow up non presenti nel disegno di studio.</p>	<p>16 a) NO, non riportati dati con valori di intervallo di confidenza (non è stata effettuata analisi statistica specifica, con eventuale analisi di fattori confondenti).</p> <p>b) NO, non riportata.</p> <p>c) /, non considerati.</p>
<p>6 a) coorte: OK, riportati in modo specifico criteri di inclusione ed esclusione. Riportata modalità di selezione dei pazienti inclusi nello studio. No follow up da disegno di studio.</p> <p>b) /, non è uno studio di accoppiamento fra esposti o no, vi è una classificazione retrospettiva.</p>	<p>17 /, no analisi aggiuntiva.</p>
<p>7 OK, variabili riportate in modo chiaro e ben esplicito.</p>	<p>18 OK, discussione dei risultati riportati.</p>
<p>8 OK, riportata in modo specifico la metodologia di valutazione e di misurazione</p>	<p>19 OK, analisi dei limiti riportati.</p>

delle variabili interessate dallo studio (sia quelle collegate alla tipologia di attività sportiva effettuate sia quelle riguardo all'interpretazione della MRI).	
9 OK, riportati gli accorgimenti mantenuti in fase di valutazione ed analisi statistica.	20 Ok, cauta interpretazione dei risultati, sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.
10 OK, riportato insieme al setting. La numerosità del campione risulta essere il numero di atleti presenti nel setting al tempo di campionamento. Campione informale, non determinato a priori con un metodo statistico. n=114	21 NO, assente.
11 OK, riportata la gestione delle variabili quantitative "atleta"/ "non atleta", fondamentale per la divisione in sottogruppi all'interno dell'indagine.	22 OK, riportata l'assenza di finanziamenti allo studio.

5. "Prevalence of Spondylolysis in Symptomatic Adolescent Athletes: An Assessment of Sport Risk in Nonelite Athletes." [50]

<p>1 a) NO, disegno di studio non presente nel titolo, si nell'abstract.</p> <p>b) OK, buona struttura dell'abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica.</p> <p>b) OK, assenti sottogruppi, riportate interazioni fra outcome e fattori indagati dallo studio.</p> <p>c) OK, no dati mancanti.</p> <p>d) coorte: no follow up da disegno di studio.</p> <p>e) /</p>

<p>2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.</p>	<p>13 a) OK, presenti passaggi decisionali di selezione dei partecipanti allo studio. I pazienti includibili nel campione sono stati scelti direttamente tramite criteri di inclusione ed esclusione.</p> <p>b) OK, di conseguenza.</p> <p>c) OK, flow chart presente.</p>
<p>3 NO, non riportati obiettivi specifici oltre al razionale dello studio.</p>	<p>14 a) OK, riportato dati demografici e di prevalenza, da disegno di studio.</p> <p>b) OK, no dati mancanti.</p> <p>c) /, no follow up da disegno di studio (retrospettivo).</p>
<p>4 OK, il disegno di studio e le procedure di esame del campione sono spiegati nella parte di "Metodi".</p>	<p>15 coorte: OK, riportata tabelle riassuntiva degli outcome/findings ritrovati. Non presenti indicazioni temporali del ritrovamento degli outcome.</p>
<p>5 OK, riportato setting e periodo di campionamento. Follow up non presenti nel disegno di studio.</p>	<p>16 a) OK, riportati risultati principali con intervalli di confidenza e significatività statistica. No fattori confondenti e relativi aggiustamenti.</p> <p>b) /</p> <p>c) OK, risultati riportati come rischio relativo.</p>
<p>6 a) coorte: OK, riportati in modo specifico criteri di inclusione ed esclusione. Riportata modalità di selezione dei pazienti inclusi nello studio. No follow up da disegno di studio.</p> <p>b) coorte: /, no sottogruppi</p>	<p>17 /</p>
<p>7 OK, variabili riportate in modo chiaro e ben esplicito nel paragrafo specifico. Riportati i criteri diagnostici utilizzati per ciascun</p>	<p>18 OK, presente ampia discussione dei risultati riportati.</p>

outcome (reperti in MRI). Non riportati fattori confondenti.	
8 OK, riportata in modo specifico la metodologia di misurazione strumentale e di interpretazione specialistica delle variabili/outcome dello studio.	19 OK, limiti ampiamente proposti nella sezione specifica.
9 NO, non riportati interventi specifici.	20 Ok, interpretazione dei risultati, sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.
10 OK, la numerosità campionaria risulta essere il numero di pazienti includibili tramite i criteri riportati presenti nel setting al tempo di indagine. Campione informale, non determinato a priori. n=1025	21 OK, riportata l'impossibilità/limitazione della generabilità dei risultati sulla base dei limiti riportati.
11 /	22 NO, non riportati.

6. "Pars interarticularis stress lesions in the lumbar spine of cricket fast bowlers." [51]

<p>1 a) NO, disegno di studio non presente nel titolo, si nell'abstract.</p> <p>b) OK, buona struttura dell'abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>12 a) OK, riportata brevemente la metodologia di analisi statistica.</p> <p>b) NO, non riportata nessuna analisi specifica aggiuntiva in relazione ai sottogruppi in studio.</p> <p>c) NO, non riportata.</p> <p>d) coorte: MAYBE, riportati pazienti persi ai follow up, ma non come sono state gestite le informazioni mancanti.</p> <p>e) /</p>

<p>2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.</p>	<p>13 a) OK, non presente un vero e proprio percorso di selezione dei pazienti, che sono stati inclusi direttamente all'inizio dello studio tramite criteri di inclusione. Riportati i pazienti persi ai follow up previsti dallo studio, che hanno diminuito la numerosità campionaria finale (n= 71).</p> <p>b) OK, riportate motivazione di perdita di pazienti ai follow up.</p> <p>c) NO, flow chart assente.</p>
<p>3 NO, assenti obiettivi specifici. Riportata l'ipotesi principale dello studio.</p>	<p>14 a) OK, riportati parametri antropometrici in tabella riassuntiva specifica. Assente raccolta di dati demografici e sociali.</p> <p>b) NO, assenti</p> <p>c) OK, riportati numero e tempo trascorso fra i vari follow up.</p>
<p>4 OK, il disegno di studio e le procedure di esame del campione sono riportati nella parte di "Metodi".</p>	<p>15 coorte: OK, riportati outcome/findings ritrovati. Non presenti indicazioni temporali del ritrovamento degli outcome.</p>
<p>5 MAYBE, accennato in modo non specifico il setting di reclutamento. Non riportato il periodo di reclutamento specifico. Riportati i vari follow up presenti nello studio.</p>	<p>16 a) MAYBE, riportati dati principali con significatività statistica. Nessun altro aggiustamento/parametro statistico riportato.</p> <p>b) /</p> <p>c) /, non considerati.</p>
<p>6 a) coorte: OK, riportati in modo specifico criteri di inclusione. Riportata modalità di selezione dei pazienti inclusi nello studio. Descritto il metodo di follow up seguito nello studio.</p> <p>b) coorte: /, non vi è matching preciso fra i due sottogruppi analizzati nello studio.</p>	<p>17 /</p>

7 OK, variabili riportate in modo chiaro e ben esplicito. Non riportati i criteri diagnostici utilizzati per definire ciascun outcome (reperiti in MRI). Non riportati fattori confondenti.	18 OK, presente ampia discussione dei risultati riportati.
8 OK, riportata in modo specifico la metodologia di misurazione strumentale e di interpretazione specialistica delle variabili/outcome dello studio, nel sottocapitolo specifico.	19 NO, limiti non riportati.
9 MAYBE, riportati alcuni accorgimenti in fase di valutazione per ovviare il più possibile il rischio di bias.	20 OK, interpretazione dei risultati, sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.
10 NO, non riportata la metodologia specifica, i criteri di selezione dei pazienti sono quelli di inclusione dello studio. Campione informale, non determinato a priori. n= 76	21 NO, non discussa.
11 /	22 OK , riportati founding dello studio.

7. "Risk Factors for Symptomatic Bilateral Lumbar Bone Stress Injury in Adolescent Soccer Players: A Prospective Cohort Study." [52]

<p>1 a) OK ,tipologia di studio presente nel titolo e nell'abstract.</p> <p>b) OK, buona struttura dell'abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica.</p> <p>b) OK, riportata l'analisi statistica dei dati di interazione fra i sottogruppi analizzati.</p> <p>c) NO, non riportato.</p> <p>d) coorte: NO, non riportato.</p> <p>e) /</p>
---	--

<p>2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.</p>	<p>13 a) OK, non presente un vero e proprio percorso di selezione dei pazienti, che sono stati inclusi direttamente all'inizio dello studio tramite criteri di inclusione. Riportati i pazienti persi ai follow up previsti dallo studio, che hanno diminuito la numerosità campionaria finale (n= 71).</p> <p>b) OK, riportate motivazioni di esclusione dei partecipanti.</p> <p>c) OK, riportato flow chart riassuntivo.</p>
<p>3 OK, assenti veri e propri obiettivi specifici. Riportata l'ipotesi principale dello studio con il focus specifico su gli outcome specifici di ricerca.</p>	<p>14 a) OK, riportati parametri antropometrici in tabella riassuntiva, insieme ad altre variabili di studio. Assente raccolta di dati demografici e sociali.</p> <p>b) NO, dati mancanti non presenti.</p> <p>c) OK, riportate tempistiche di follow up.</p>
<p>4 OK, il disegno di studio e le procedure di raccolta del campione sono riportati nella parte di "Metodi".</p>	<p>15 coorte: OK, riportati outcome/findings ritrovati. Non presenti indicazioni temporali del ritrovamento degli outcome.</p>
<p>5 OK, riportato in modo specifico il setting di reclutamento. Riportato il periodo di reclutamento specifico. Riportati i vari follow up presenti nello studio.</p>	<p>16 a) OK, riportati risultati principali con intervalli di confidenza e significatività statistica. No fattori confondenti e relativi aggiustamenti.</p> <p>b) OK, riportata analisi delle variabili categoriche analizzate.</p> <p>c) /, non considerati.</p>
<p>6 a) coorte: OK, riportati in modo specifico criteri di inclusione ed esclusione. Riportata modalità di selezione dei pazienti inclusi nello studio. Riportati i metodi di follow up previsti nello studio.</p>	<p>17 /</p>

b) coorte: OK, riportati i criteri di inclusione e le caratteristiche specifiche dei due sottogruppi esaminati. Non riportati criteri di accoppiamento specifici per la popolazione dei due campioni.	
7 OK, variabili riportate in modo chiaro e ben esplicito.	18 OK, presente ampia discussione dei risultati riportati.
8 OK, riportata in modo specifico la metodologia di misurazione strumentale e di interpretazione specialistica delle variabili/outcome dello studio, nel sottocapitolo specifico.	19 OK, limiti ampiamente proposti nella sezione specifica.
9 OK, riportati gli accorgimenti utilizzati per ridurre al minimo le fonti di potenziali bias.	20 OK, interpretazione dei risultati, sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.
10 OK, riportato il processo per individuare la numerosità campionaria, nel paragrafo "Disegno di studio", della sezione "Metodi". Campione formale, determinato a priori attraverso analisi statistica. La numerosità campionaria richiesta è ritenuta essere 396 partecipanti. Sono stati reclutati all'inizio dello studio 404 pazienti. n=404	21 OK, riportata l'impossibilità/limitazione della generabilità dei risultati sulla base dei limiti riportati.
11 OK, variabili quantitative (maturità ossea) e rispettive scale di valutazione sono riportate.	22 No, non riportati.

8. "Lumbar Sagittal Plane Spinal Curvature and Junior-Level Cricket Players." [53]

--	--

<p>1 a) NO, tipologia di studio assente in titolo e abstract.</p> <p>b) NO, abstract non organizzato in capitoli esplicativi utili a reperire velocemente le informazioni principali dello studio.</p>	<p>12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica.</p> <p>b) NO, non riportata nessuna analisi specifica aggiuntiva in relazione ai sottogruppi in studio.</p> <p>c) NO, non riportata.</p> <p>d) cross-sectional: /, no follow up da disegno di studio.</p> <p>e) /</p>
<p>2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.</p>	<p>13 a) MAYBE, non è presente un vero e proprio processo di inclusione degli atleti nello studio. Tuttavia, è riportato il numero di atleti esclusi tramite i criteri utilizzati nello studio. No follow up da disegno di studio.</p> <p>b) NO, non riportate le motivazioni specifiche di esclusione.</p> <p>c) /, no flow chart utilizzati.</p>
<p>3 NO, assenti obiettivi specifici. Riportata l'ipotesi principale dello studio.</p>	<p>14 a) OK, riportati parametri demografici ed antropometrici in tabella riassuntiva specifica.</p> <p>b) NO, assenti.</p> <p>c) /, no follow up da disegno di studio.</p>
<p>4 OK, il disegno di studio e le procedure di raccolta del campione sono riportati nella parte finale dell'introduzione e in modo più corposo nella parte di "Metodi".</p>	<p>15 cross-sectional: OK, riportata tabelle riassuntiva degli outcome/findings ritrovati.</p>
<p>5 MAYBE, riportato in modo specifico il setting di reclutamento. Non riportato il periodo di reclutamento specifico. NO follow up presenti nello studio.</p>	<p>16 a) OK, riportati risultati principali con intervalli di confidenza e significatività statistica. No fattori confondenti e relativi aggiustamenti.</p> <p>b) NO, assente.</p>

	c) / , non considerato.
<p>6 a) cross- sectional: OK, riportati in modo specifico criteri di inclusione ed esclusione. Riportata modalità di selezione dei pazienti inclusi nello studio. Follow up non previsti nello studio.</p> <p>b) cross-sectional: / , assenti accoppiamenti e criteri correlati nello studio</p>	17 /
7 OK, variabili riportate in modo chiaro e ben esplicito.	18 OK, presente discussione dei risultati riportati.
8 OK, riportata in modo specifico la metodologia di misurazione strumentale e di interpretazione specialistica delle variabili/outcome dello studio, nel sottocapitolo specifico "Procedures".	19 OK, limiti proposti nella sezione specifica.
9 OK, riportata metodologia di analisi della reliability interoperatore e altri interventi di riduzione rischio bias.	20 OK, interpretazione dei risultati, sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.
<p>10 OK, la numerosità campionaria risulta essere il numero di pazienti includibili tramite i criteri riportati presenti nel setting al tempo di indagine. Campione informale, non determinato a priori.</p> <p>n= 59</p>	21 NO, non discussa apertamente.
11 /	22 NO, non riportata.

9. "Predictors of Spondylolysis on Magnetic Resonance Imaging in Adolescent Athletes with Low Back Pain." [54]

<p>1 a) OK, tipologia di studio assente nel titolo e riportata nell'abstract.</p> <p>b) OK, abstract organizzato in capitoli esplicativi utili a reperire velocemente le informazioni principali dello studio.</p>	<p>12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica.</p> <p>b) OK, riportata analisi statistica specifica in relazione ai sottogruppi in studio.</p> <p>c) NO, non riportata.</p> <p>d) coorte: /, no follow up da disegno di studio.</p> <p>e) /</p>
<p>2 OK, background completo e rationale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.</p>	<p>13 a) OK, presente processo di inclusione degli atleti nello studio. No follow up da disegno di studio.</p> <p>b) OK, riportate le motivazioni specifiche di esclusione.</p> <p>c) OK, flow chart riportato.</p>
<p>3 OK, proposti gli obiettivi specifici dello studio alla fine della parte introduttiva. Riportata l'ipotesi principale dello studio.</p>	<p>14 a) OK, riportati dati descrittivi in una tabella riassuntiva specifica.</p> <p>b) NO, assenti.</p> <p>c) /, no follow up da disegno di studio.</p>
<p>4 OK, il disegno di studio e le procedure di raccolta del campione sono riportati nella parte iniziale della sezione "Metodi".</p>	<p>15 coorte: OK, riportata tabelle riassuntiva degli outcome/findings ritrovati.</p>
<p>5 MAYBE, non riportato in modo specifico il setting di reclutamento. Riportato il periodo di reclutamento del campione. No follow up presenti nello studio.</p>	<p>16 a) OK, riportati risultati principali con intervalli di confidenza e significatività statistica. Riportata tabella specifica per dati aggiustati in base al sesso dei partecipanti.</p> <p>b) NO, assente.</p> <p>c) /, non considerato.</p>

<p>6 a) coorte: OK, riportati in modo specifico criteri di inclusione ed esclusione. Riportata modalità di selezione dei pazienti inclusi nello studio. Follow up non previsti nello studio.</p> <p>b) coorte: / , assenti accoppiamenti e criteri correlati nello studio.</p>	<p>17 OK , riportati in tabelle specifiche i risultati di analisi tra gruppi e variabili dello studio, in linea con i differenti obiettivi proposti all’inizio di esso.</p>
<p>7 OK, variabili riportate in modo chiaro e ben esplicito.</p>	<p>18 OK, presente discussione dei risultati riportati.</p>
<p>8 OK, riportata in modo specifico la metodologia di misurazione strumentale e di interpretazione specialistica delle variabili/outcome dello studio.</p>	<p>19 OK, limiti proposti nella parte finale del capitolo “Discussione”.</p>
<p>9 OK, riportata metodologia di analisi della reliability interoperatore e altri interventi di riduzione rischio bias.</p>	<p>20 OK, interpretazione dei risultati, sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.</p>
<p>10 OK, la numerosità campionaria risulta essere il numero di pazienti includibili tramite i criteri riportati al tempo di indagine. Campione informale, non determinato a priori.</p> <p>n= 122</p>	<p>21 MAYBE, non discussa apertamente, ma è riportata l’impossibilità/limitazione della generabilità dei risultati sulla base dei limiti dello studio.</p>
<p>11 OK, sono presenti variabili continue (coefficiente di correlazione interclasse) e relativa classificazione.</p>	<p>22 NO, non riportati.</p>

10. “Lumbar spine abnormalities and facet joint angles in asymptomatic elite junior tennis players.” [55]

<p>1 a) NO, disegno di studio non presente nel titolo, si nell’abstract.</p>	<p>12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica.</p>
--	---

<p>b) OK, buona struttura dell'abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>b) OK, assenti sottogruppi, riportate interazioni fra outcome e fattori indagati dallo studio (età ed angolo di inclinazione delle faccette articolari).</p> <p>c) NO, non riportata.</p> <p>d) cross-sectional: NO, campione non determinato a priori.</p> <p>e) /</p>
<p>2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.</p>	<p>13 a) NO, non presenti passaggi decisionali di selezione dei partecipanti allo studio. I pazienti includibili nel campione sono stati scelti direttamente tramite criteri di inclusione ed esclusione.</p> <p>b) /, di conseguenza.</p> <p>c) / di conseguenza.</p>
<p>3 OK, riportati obiettivi specifici e razionale generale dello studio.</p>	<p>14 a)) MAYBE, riportata tabella riassuntiva con dati clinici dei pazienti, assenti dati sociodemografici (solo età riportata).</p> <p>b) NO, non riportata.</p> <p>c) /</p>
<p>4 OK, il disegno di studio e le procedure di esame del campione sono spiegati nella parte di "Metodi". Tuttavia, in questa parte del documento, non è menzionato direttamente il tipo di studio.</p>	<p>15 cross-sectional: OK, riportata tabelle riassuntiva degli outcome/findings ritrovati.</p>
<p>5 OK, riportato setting e periodo di campionamento. Follow up non presenti nel disegno di studio.</p>	<p>16 a) OK, riportati risultati principali con intervallo di confidenza e significatività statistica. Non riportati fattori confondenti e relativi aggiustamenti dei dati necessari.</p> <p>b) /</p>

	c) /, non considerati
6 a) cross-sectional: OK, riportati in modo specifico criteri di inclusione ed esclusione. Riportata modalità di selezione dei pazienti inclusi nello studio. No follow up da disegno di studio. b) cross-sectional: /	17 /
7 OK, variabili riportate in modo chiaro e ben esplicito. Riportati i criteri diagnostici utilizzati per ciascun outcome (reperti in MRI). Non riportati fattori confondenti.	18 OK, presente ampia discussione dei risultati riportati, in sottocapitoli specifici.
8 OK, riportata in modo specifico la metodologia di misurazione strumentale e di interpretazione specialistica delle variabili/outcome dello studio.	19 OK, riportati.
9 OK, riportati tutti gli accorgimenti metodologici per far fronte a potenziali bias ed aumentare la reliability dello studio.	20 OK, interpretazione dei risultati, sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.
10 OK, riportato insieme al setting. La numerosità del campione risulta essere il numero di atleti presenti nel setting al tempo di campionamento. Campione informale, non determinato a priori con un metodo statistico. n=25	21 OK, riportata l'impossibilità/limitazione della generabilità dei risultati sulla base dei limiti riportati.
11 /	22 OK, riportata l'assenza di finanziamenti.

**11. "Spine abnormalities depicted by magnetic resonance imaging in adolescent rowers."
[56]**

1 a) NO, disegno di studio non presente nel titolo, si nell'abstract.	12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica.
---	--

<p>b) OK, buona struttura dell'abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>b) OK, riportata l'analisi statistica dei dati di interazione fra i sottogruppi analizzati.</p> <p>c) NO, analisi dati mancanti non proposta.</p> <p>d) cross-sectional: OK, riportato il processo per individuare la numerosità campionaria, vedi punto 10.</p> <p>e) /</p>
<p>2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.</p>	<p>13 a) NO, non presenti passaggi decisionali di selezione dei partecipanti allo studio. I pazienti includibili nel campione sono stati scelti direttamente tramite criteri di inclusione ed esclusione.</p> <p>b) /, di conseguenza.</p> <p>c) / di conseguenza.</p>
<p>3 NO, no riportati obiettivi specifici, solo ipotesi generale indagata dallo studio.</p>	<p>14 a) OK, riportati dati demografici-antropometrici in una apposita tabella riassuntiva. Non riportati fattori confondenti.</p> <p>b) NO, non riportati dati mancanti.</p> <p>c) /</p>
<p>4 OK, metodologia dello studio e il campione sono riportati subito nella parte di "Metodi".</p>	<p>15 cross-sectional: OK, riportata tabella riassuntiva degli outcome/findings ritrovati.</p>
<p>5 OK, riportato setting e periodo di campionamento. Follow up non presenti nel disegno di studio.</p>	<p>16 a) OK, riportati risultati principali con intervallo di confidenza e significatività statistica riscontrata fra i due gruppi di confronto. Non riportati fattori confondenti e relativi aggiustamenti dei dati necessari.</p> <p>b) OK, le variabili categoriche dello studio sono le frequenze assolute e relative di prevalenza dei vari outcome ritrovati.</p>

	c) /, non considerati.
<p>6 a) cross-sectional: OK, riportati in modo specifico criteri di inclusione ed esclusione di entrambe i sottogruppi di studio. Riportata modalità di selezione dei pazienti inclusi nello studio. No follow up da disegno di studio.</p> <p>b) cross-sectional: riportati i criteri di accoppiamento fra casi e controlli (sottogruppi in cui è stato suddiviso lo studio).</p>	17 /
7 OK, variabili riportate in modo chiaro e ben esplicito. Riportati i criteri diagnostici utilizzati per ciascun outcome (reperti in MRI). Non riportati fattori confondenti.	18 OK, discussione dei risultati riportati.
8 OK, riportata in modo specifico la metodologia di misurazione strumentale delle variabili/outcome dello studio.	19 OK, limiti riportati nella parte di discussione dell'elaborato
9 OK, riportati gli accorgimenti mantenuti in fase di valutazione ed analisi statistica.	20 Ok, interpretazione dei risultati, sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.
<p>10 OK, riportato il processo per individuare la numerosità campionaria, nel paragrafo "Analisi statistica". Campione formale, determinato a priori attraverso l'utilizzo dello strumento statistico PEPI 4.0.</p> <p>n=44</p>	21 NO, non riportata.
11 /	22 NO, non riportata.

12. “High Rates of Overuse-Related Structural Abnormalities in the Lumbar Spine of Youth Competitive Alpine Skiers: A Cross-sectional MRI Study in 108 Athletes.” [57]

<p>1 a) OK ,tipologia di studio presente nel titolo e nell’abstract.</p> <p>b) OK, buona struttura dell’abstract, sottotitoli esplicativi permettono di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>12 a) OK, riportata metodologia di analisi statistica.</p> <p>b) OK, riportata l’analisi statistica dei dati di interazione fra i sottogruppi analizzati.</p> <p>c) OK, riportata.</p> <p>d) cross-sectional: /, no strategie di campionamento, vedi punto 10.</p> <p>e) /</p>
<p>2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell’introduzione.</p>	<p>13 a) NO, non presente un vero e proprio percorso di selezione dei pazienti, che sono stati inclusi direttamente all’inizio dello studio tramite criteri di inclusione. Nessun paziente escluso tramite appositi criteri. No follow up da criterio di studio.</p> <p>b) / , di conseguenza</p> <p>c) /, non riportato flow chart riassuntivo.</p>
<p>3 OK, riportati obiettivi specifici. Riportata l’ipotesi principale dello studio.</p>	<p>14 a) OK, riportati parametri demografici ed antropometrici in tabella riassuntiva specifica.</p> <p>b) OK, riportato accenno ai dati mancanti.</p> <p>c) /</p>
<p>4 OK, il disegno di studio e le procedure di raccolta del campione sono riportati nella parte iniziale della sezione “Metodi”.</p>	<p>15 cross-sectional: OK, riportati outcome e findings ritrovati.</p>

<p>5 OK, riportato in modo specifico il setting di reclutamento. Non riportato il periodo di reclutamento specifico, No follow up presenti nello studio.</p>	<p>16 a) OK, riportati risultati principali con errori statistici e significatività statistica. No fattori confondenti e relativi aggiustamenti.</p> <p>b) /, no variabili categoriche.</p> <p>c) /, non considerati.</p>
<p>6 a) cross-sectional: OK, riportati in modo specifico criteri di inclusione, assenti criteri di esclusione. Riportata modalità di selezione dei pazienti inclusi nello studio. No follow up previsti nello studio.</p> <p>b) cross-sectional: /</p>	<p>17 /</p>
<p>7 OK, variabili riportate in modo chiaro e ben esplicito. Tabella esplicativa specifica presente per i reperti ritrovati tramite analisi MRI.</p>	<p>18 OK, presente ampia discussione dei risultati riportati, in sottocapitoli specifici.</p>
<p>8 OK, riportata in modo specifico la metodologia di misurazione strumentale e di interpretazione specialistica delle variabili/outcome dello studio, nei sottocapitoli specifici (MRI, parametri antropometrici, definizione del campione sintomatico ed asintomatico).</p>	<p>19 OK, limiti ampiamente proposti nella sezione specifica.</p>
<p>9 NO, non riportati accorgimenti specifici utilizzati per ridurre al minimo le fonti di potenziali bias.</p>	<p>20 OK, interpretazione dei risultati, sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.</p>
<p>10 OK, la numerosità campionaria risulta essere il numero di pazienti volontari includibili tramite i criteri riportati presenti nel setting al tempo di indagine. Campione informale, non determinato a priori.</p> <p>n= 108</p>	<p>21 NO, non discussa.</p>

11 OK, sono riportate le variabili quantitative (paziente sintomatico e non sintomatico) e rispettive scale di valutazione-interpretazione.	22 No, non riportati.
--	-----------------------

13. "Spondylolysis originates in the ventral aspect of the pars interarticularis: a clinical and biomechanical study." [58]

<p>1 a) NO, tipologia di studio non presente nel titolo e non dichiarata chiaramente nell'abstract.</p> <p>b) MAYBE, buona struttura dell'abstract, mancano tuttavia sottotitoli esplicativi al fine di rintracciare in modo semplice ed efficace le informazioni più importanti.</p>	<p>12 a) NO, assente analisi statistica.</p> <p>b) /, assenti sottogruppi.</p> <p>c) NO, non riportato.</p> <p>d) /</p> <p>e) /</p>
<p>2 OK, background completo e razionale dello studio presentato alla fine dell'introduzione.</p>	<p>13 a) NO, assente processo di selezione dei partecipanti.</p> <p>b) NO, di conseguenza.</p> <p>c) NO, di conseguenza.</p>
<p>3 NO, no riportati obiettivi specifici, solo ipotesi generale indagata dallo studio.</p>	<p>14 a) MAYBE, riportata tabella riassuntiva con dati clinici dei pazienti, assenti dati sociodemografici (solo età riportata).</p> <p>b) NO, assenti.</p> <p>c) /</p>
<p>4 OK, metodologia dello studio e il campione sono riportati subito nella parte di "Metodi".</p>	<p>15 cross sectional: OK, nella medesima tabella del punto 14 sono riportati gli outcome clinici (findings) ottenuti.</p>

	I dati relativi all'analisi biomeccanica sono stati riportati successivamente, associati a grafici specifici esplicativi.
5 NO, setting e periodo di reclutamento assenti. Non presenti follow up da disegno di studio.	16 a) NO, non riportati dati con valori di intervallo di confidenza (non è stata effettuata analisi statistica specifica, con eventuale analisi di fattori confondenti). b) /, non ci sono dati continui esaminati. c) /, non si parla di rischio relativo e rischio assoluto.
6 a) cross-sectional: MAYBE, riportato l'unico criterio di inclusione analizzato. Non riportati criteri di esclusione specifici. Non riportati fonti e metodi di selezione dei pazienti. b) /	17 /, assenti analisi aggiuntiva.
7 OK, riportate sinteticamente le variabili analizzate nelle due parti dello studio (findings clinici ricercati e stress biomeccanici valutati).	18 OK, discussione dei risultati riportati.
8 OK, riportati metodi di valutazione delle variabili in entrambe le fasi dello studio.	19 NO, assente
9 NO, assente.	20 OK, discussione dei risultati nel capitolo dedicato, con cauta interpretazione sulla base di altre evidenze scientifiche simili ed inerenti.
10 NO, assente, come il setting. n=10	21 NO, non effettuata.
11 /	22 NO, non riportata.

