

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
CAMPUS DI CESENA

---

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e  
dell'Informazione "Guglielmo Marconi"

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA  
BIOMEDICA

Tesi sperimentale in Comportamento Meccanico dei Biomateriali

ANALISI DEI PARAMETRI  
SPINOPELVICI SUL PIANO CORONALE  
NELLA PATOLOGIA GIUNZIONALE  
LOMBARE DISTALE IN PAZIENTI CON  
SCOLIOSI

**Relatore**

Prof. Ing. Luca Cristofolini

**Candidata**

Giulia Delbue

**Correlatori**

Dr.ssa Sara Montanari

Dr. Giovanni Barbanti Brodano

Dr.ssa Cristiana Griffoni

---

Anno Accademico 2021–2022



*Ai miei genitori*



# Abstract

La scoliosi è una delle patologie più importanti che affliggono la colonna vertebrale, che può essere trattata chirurgicamente con un intervento di fissazione posteriore per ripristinare l'allineamento della colonna vertebrale sul piano coronale. Questa chirurgia ha al momento un alto tasso di fallimento. Una delle principali complicazioni che portano al fallimento è l'insorgenza di patologia giunzionale distale lombare, solitamente causata da un aumento di stress meccanico sull'ultima vertebra strumentata o quella immediatamente successiva, manifestandosi, ad esempio, con la mobilizzazione o la rottura della strumentazione. In letteratura l'influenza dello sbilanciamento coronale non è stata ancora sufficientemente approfondita. Per questo, l'obiettivo di questo studio è quello di verificare l'esistenza di possibili correlazioni tra i parametri spinopelvici nel piano coronale e l'incidenza della patologia giunzionale distale nella regione lombare.

Sono stati selezionati tutti i pazienti affetti da scoliosi che sono stati sottoposti a fissazione spinale strumentata nel 2017 e 2018 all'Istituto Ortopedico Rizzoli. Questi pazienti sono stati poi divisi in due gruppi, un gruppo di controllo che comprendeva 66 pazienti e un gruppo di 31 pazienti che hanno presentato patologia giunzionale distale, andando così incontro a revisione.

In entrambi i gruppi sono stati estratti i dati demografici dei pa-

zienti e sono stati misurati i parametri spinopelvici su radiografie in ortostatismo in proiezione anteroposteriore sia precedentemente che successivamente all'intervento di fissazione; per i pazienti affetti da patologia giunzionale distale sono state esaminate anche le radiografie precedenti alla revisione.

Un'analisi statistica è stata effettuata per valutare le differenze dei parametri tra i due gruppi e all'interno di ciascun gruppo.

L'analisi dei risultati sui pazienti presi in esame ha evidenziato differenze significative tra l'età e il BMI dei due gruppi suggerendo una possibile correlazione tra queste caratteristiche e la probabilità di fallimento. I parametri *Pelvic Obliquity*, *Clavicle Angle*, *Sacral Obliquity* e *T1 Tilt* sembrano non incidere sul possibile fallimento della fissazione spinale. Al contrario, i valori di C7PL fuori dal range dell'equilibrio coronale prima dell'intervento di fissazione, sembrano indicare che l'intervento avrà delle complicazioni. I valori dell'ampiezza delle curvature scoliotiche (espresse secondo il metodo di Cobb) sono risultati significativamente differenti tra i due gruppi; questo sembrerebbe indicare che valori maggiori, che però si compensano e sono associati ad un equilibrio sul piano coronale (C7PL<30mm) come si osserva nel gruppo di controllo, non portano al fallimento della fissazione vertebrale, al contrario del gruppo dei pazienti presentanti patologia giunzionale, in cui invece minori ampiezze delle curvature scoliotiche non si bilanciano e portano alla necessità di eseguire una revisione della strumentazione.

Questo studio ha consentito di ipotizzare possibili correlazioni tra il fallimento di un intervento di fissazione spinale e alcune caratteristiche del paziente, quali età, BMI, deviazione della vertebra apice e ampiezza delle curve scoliotiche e sbilanciamento coronale.

# Indice

<b>Abstract</b>	<b>i</b>
<b>1 Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1 Anatomia della colonna vertebrale . . . . .	1
1.1.1 Numerazione vertebrale . . . . .	2
1.2 Anatomia vertebrale . . . . .	4
1.2.1 Vertebre cervicali . . . . .	6
1.2.2 Vertebre toraciche . . . . .	8
1.2.3 Vertebre lombari . . . . .	9
1.2.4 Osso sacro . . . . .	11
1.3 Assi e piani anatomici . . . . .	13
1.4 Patologie della colonna vertebrale: la scoliosi . . . . .	15
1.4.1 Angolo di Cobb . . . . .	15
1.4.2 La patologia . . . . .	15
1.4.3 La terapia . . . . .	18
1.5 Fissazione spinale . . . . .	19
1.5.1 Fissazione strumentata anteriore . . . . .	22
1.5.2 Fissazione strumentata posteriore . . . . .	23
1.5.3 Scelta del metodo di strumentazione . . . . .	25
1.5.4 Fallimento . . . . .	26
1.5.5 Patologia giunzionale . . . . .	29
1.5.6 Patologia giunzionale prossimale . . . . .	30

---

1.5.7	Patologia giunzionale distale . . . . .	31
1.6	Parametri spinopelvici . . . . .	32
1.6.1	Parametri spinopelvici coronali . . . . .	33
1.6.2	Software per la misurazione dei parametri spinopelvici . . . . .	37
1.7	Scopo . . . . .	37
<b>2</b>	<b>Materiali e metodi</b>	<b>39</b>
2.1	Software utilizzato per l'estrazione dei parametri spinopelvici . . . . .	41
2.2	Estrazione dei parametri spinopelvici . . . . .	43
2.3	Analisi dati . . . . .	46
2.4	Analisi statistica . . . . .	47
<b>3</b>	<b>Risultati</b>	<b>49</b>
3.1	Dati demografici . . . . .	49
3.2	Parametri coronali . . . . .	53
3.2.1	C7PL . . . . .	56
3.2.2	Pelvic Obliquity . . . . .	57
3.2.3	Clavicle Angle . . . . .	58
3.2.4	Sacral Obliquity . . . . .	59
3.2.5	T1 Tilt . . . . .	60
3.2.6	Angoli di Cobb . . . . .	61
3.2.7	Apex deviation . . . . .	65
<b>4</b>	<b>Discussione</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>75</b>

# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Anatomia della colonna vertebrale

La colonna vertebrale supporta il peso della testa, del collo e della gabbia toracica e lo trasferisce allo scheletro appendicolare, in particolare agli arti inferiori.

Il rachide si configura come un complesso osteo-artro-ligamentoso che assolve un ruolo essenziale nell'atteggiamento corporeo; grazie alle 33-34 vertebre che lo costituiscono, il rachide si rende deformabile, senza comunque perdere stabilità grazie all'azione dei muscoli e dei legamenti che si inseriscono su di esso [Pieracci, 2014].

Le vertebre, inoltre, proteggono il midollo spinale e creano zone sicure per il passaggio dei nervi che partono e arrivano al midollo.

La colonna vertebrale è divisa in regioni, queste sono cervicale, toracica, lombare, sacrale e coccigea. Ogni regione ha una funzione diversa perciò le forme delle vertebre appartenente a ciascuna zona saranno distinte.

Le vertebre non formano una struttura rettilinea e rigida, dalla visione laterale è evidente la presenza di quattro curvature, in particolare due convessità dette lordosi (curvature cervicale e lombare)

e due concavità dette cifosi (curvatura toracica e sacrococcigea o sacrale) [Figura 1.1]. La funzione biomeccanica di queste curvature è quello di far sì che il peso corporeo sia in linea con l'asse corporeo e il centro di gravità. In sezione frontale è presente solo una leggerissima concavità verso sinistra a livello toracico per far spazio al cuore, ma è quasi impercettibile e può essere diversa tra mancini e destrorsi [Martini et al., 2017; Grassi et al., 2021; Standring, 2015].

### 1.1.1 Numerazione vertebrale

Ogni vertebra si identifica con una lettera, che indica la regione a cui appartiene e un numero che ne specifica la posizione, i numeri sono crescenti in direzione cranio-caudale. La regione cervicale comprende la base del cranio (C0) e sette vertebre (C1-C7), quella toracica ne ha invece dodici (T1-T12) ognuna delle quali si articola con una costa, la zona lombare ha cinque vertebre (L1-L5), infine l'unità sacrococcigea comprende il sacro che è la risultante di cinque vertebre fuse (S1-S5) che si articolano bilateralmente con l'ileo attraverso l'articolazione sacro-iliaca [Figura 1.1].

La quantità di vertebre appartenente a ciascuna regione può variare in caso di deformità della colonna vertebrale o di colonna con segmenti atipici, più frequentemente possono essere fuse ma occasionalmente il paziente potrebbe presentare un maggior numero di vertebre. In ciascuno di questi casi è importante che esista un metodo consistente e standard per la numerazione.

Per quanto riguarda le vertebre cervicali la numerazione inizia sempre dall'atlante (C1) e solitamente sono sempre identificabili sette segmenti anche in caso di fusione. T1 è definita come la prima vertebra con un paio di coste associate e tutte quelle che hanno un'articolazione per le coste sono considerate toraciche, queste oc-

casionalmente possono essere undici o tredici. L1 è sempre la prima vertebra immediatamente sotto l'ultima toracica. Non è detto che il numero totale delle vertebre sia ventiquattro, è possibile che un paziente abbia tredici vertebre toraciche e sei lombari ma è più frequente che il numero complessivo sia mantenuto, ad esempio, se le vertebre toraciche sono undici quelle lombari saranno sei.

Inoltre, l'ultima vertebra lombare potrebbe essere parzialmente o completamente fusa al sacro o viceversa la prima sacrale potrebbe essere 'lombarizzata' [O'Brien, 2004].

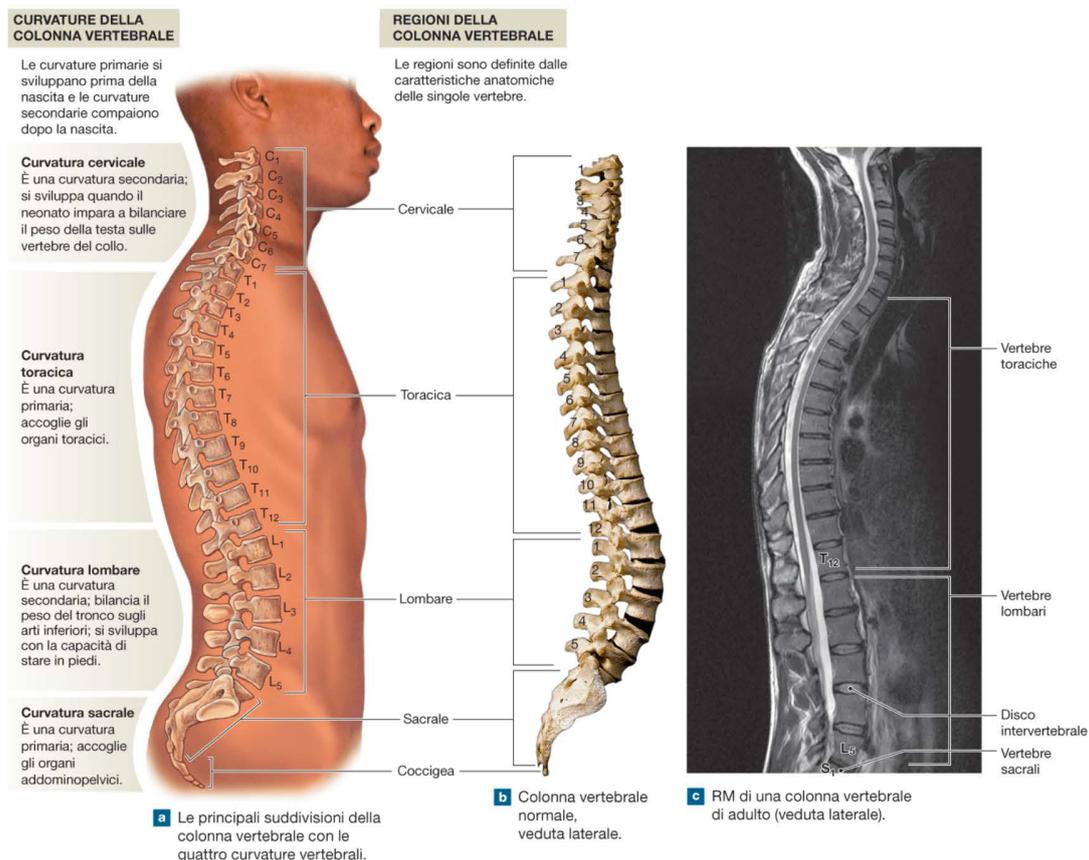


Figura 1.1: Regioni e curvature della colonna vertebrale sul piano laterale e numerazione delle vertebre. [Martini et al., 2019]

## 1.2 Anatomia vertebrale

Ogni vertebra ha una struttura comune che comprende anteriormente un corpo dietro al quale si estende un arco da cui partono dei processi [Figura 1.2].

Il corpo vertebrale è relativamente spesso e di forma ovoidale o sferico; la sua funzione è trasferire il peso lungo l'asse della colonna vertebrale. Ogni vertebra si articola con quelle vicine e i corpi sono collegati con legamenti e separati da dischi di cartilagine fibrosa, i dischi intervertebrali.

Dal corpo si estende l'arco vertebrale o neurale che delimita il foro vertebrale che con quello delle altre vertebre forma il canale vertebrale, il quale accoglie il midollo spinale. Il midollo è protetto dalle meningi ma è in relazione con i nervi spinali che si fanno strada passando attraverso dei fori intervertebrali, delimitati dalle incisure vertebrali inferiori e superiori, sotto e sopra al peduncolo. L'arco ha un pavimento (la superficie posteriore del corpo), due pareti, detti peduncoli, che originano dai margini postero-laterali del corpo, e un tetto, cioè le lamine.

Infine, i processi fungono da inserzione per muscoli e legamenti, nella zona dei corpi vertebrali toracici essi supportano le articolazioni costovertebrali. Dalla fusione delle lamine dell'arco origina sulla linea mediana un processo spinoso che si proietta posteriormente e dorsalmente. I processi trasversi si proiettano lateralmente o dorso-lateralmente ad entrambi i lati, dal punto di unione tra lamine e peduncoli. Infine, i processi articolari originano sempre a tale livello e ve ne sono uno superiore e uno inferiore in entrambi i lati; quelli inferiori di una vertebra si articolano con i superiori dall'altra e ciascuno presenta una faccetta articolare, sono artrodie (quelli superiori hanno la faccetta inclinata dorsalmente mentre gli

inferiori ventralmente) [Martini et al., 2019; Standring, 2015]. Le vertebre si differenziano nelle diverse regioni della colonna vertebrale, in particolare, i corpi vertebrali diventano più grandi dalla posizione craniale a quella caudale a causa del maggiore peso che devono sostenere, mentre i forami vertebrali diventano gradualmente più piccoli in quanto il midollo spinale si assottiglia [Schünke et al., 2019].

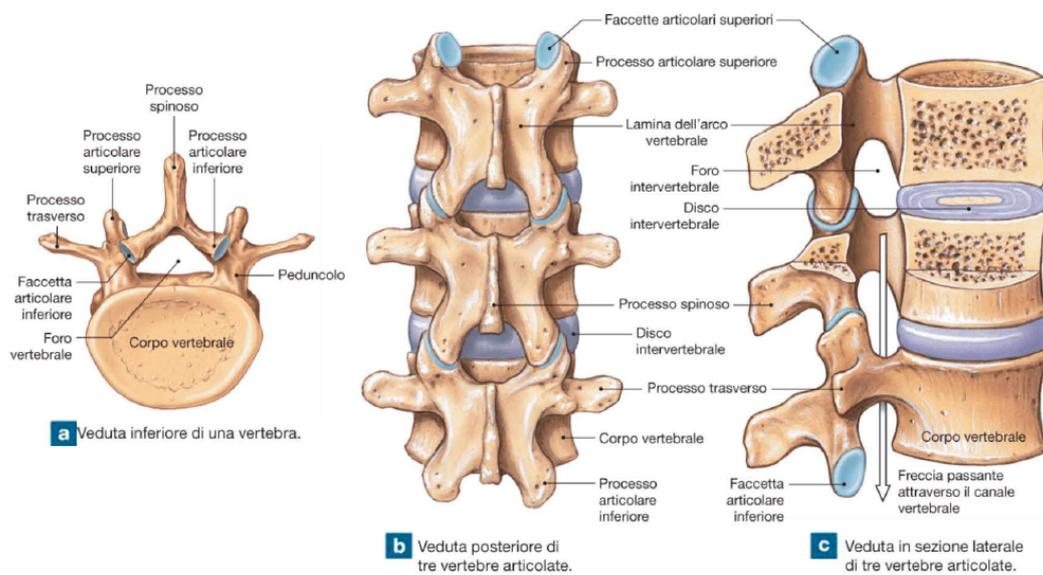


Figura 1.2: Anatomia di una vertebra (a) e disposizione delle articolazioni tra le vertebre (b,c). [Martini et al., 2019]

### 1.2.1 Vertebre cervicali

Le sette vertebre cervicali sono le più piccole in quanto sopportano il minor carico. Il corpo vertebrale è sviluppato soprattutto orizzontalmente, è caratteristico in quanto non è molto spesso ma presenta una faccia inferiore curva a forma di sella, ma è piccolo rispetto alla dimensione del grande foro vertebrale, questo perché a livello cervicale il midollo osseo contiene la maggior parte dei nervi che connettono il cervello al resto del corpo [Schünke et al., 2019].

In una tipica vertebra cervicale (C3-C6) i processi trasversi sono formati da due rami, che terminano con due tubercoli uniti dalla lamina costale e delimitano un foro trasversario, due per vertebra, che sono occupati da vasi con un passaggio simmetrico dei vasi vertebrali. Inoltre il processo spinoso di queste vertebre è spesso bifido [Figura 1.3].

In questa zona ci sono delle vertebre particolari.

L'atlante, ovvero la C1, manca del corpo ma presenta due archi anteriori che vanno a delimitare il foro e al posto del corpo una sporgenza chiamata tubercolo anteriore. Poi come le altre presenta processi trasversi con i fori trasversali e un arco posteriore con due lamine che si uniscono in un tubercolo posteriore. Presenta inoltre un solco lateralmente sull'arco posteriore lasciato dall'arteria vertebrale.

Il foro vertebrale dell'atlante è il più grande di tutte le vertebre in quanto contiene anche un processo dell'epistrofeo. Questa vertebra (C2), chiamata anche asse, è simile alle altre ma la sua particolarità è quella di avere un processo cilindrico chiamato dente che funge da corpo mobile dell'atlante. La parte anteriore del dente sarà a contatto con la superficie articolare interna all'arco anteriore dell'atlante, mentre la parte posteriore al dente presenta

un legamento, legamento trasverso, e questo crea un'articolazione a perno che consente un movimento di rotazione della testa.

Infine la C7 è la più prominente e presenta solo vasi venosi nei fori trasversali; ha inoltre un processo spinoso unico molto sviluppato che si orienta già verso il basso [Martini et al., 2019; Standring, 2015].

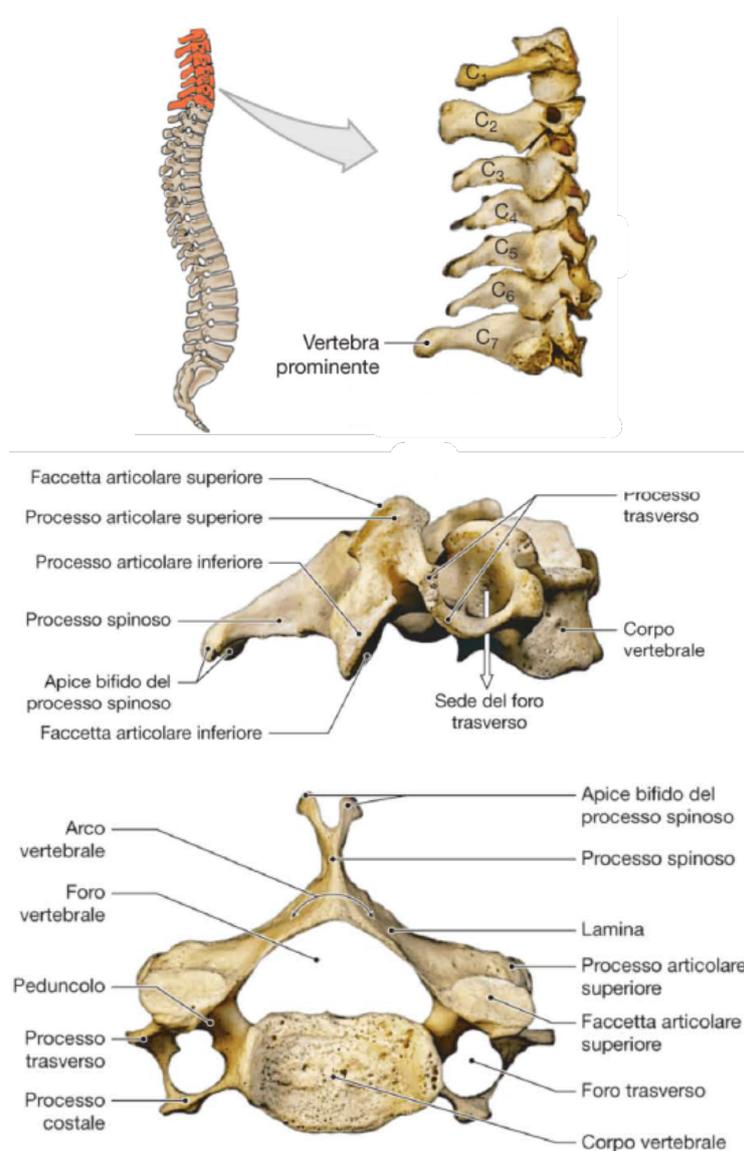


Figura 1.3: Vista laterale del tratto cervicale e vista laterale (in alto a destra) e superiore (in basso) di una vertebra cervicale. [Martini et al., 2019]

### 1.2.2 Vertebre toraciche

Le vertebre toraciche sono 12 [Figura 1.4], la C7 vi assomiglia molto mentre la T11 e la T12 assomigliano alle vertebre lombari.

Una tipica vertebra toracica [Figura 1.5] ha un distintivo corpo a forma di cuore più grande e soprattutto più alto rispetto a quello delle vertebre cervicali, mentre il foro è più stretto. I processi spinosi sono via via più sporgenti e si orientano verso il basso.

La caratteristica principale delle vertebre toraciche è che si articolano con le 12 paia di coste attraverso le faccette articolari. Le vertebre da T1 a T10 presentano una faccetta inferiore e una superiore perché articolano con due coste [Figura 1.6]. Mentre da T9 a T12 hanno solo una faccetta su ogni lato perché articolano con una sola costa. Le faccette possono essere ovali complete o un ovale a metà (emifaccetta) [Martini et al., 2019; Standring, 2015].



Figura 1.4: Vista laterale della regione toracica della colonna vertebrale. [Martini et al., 2019]

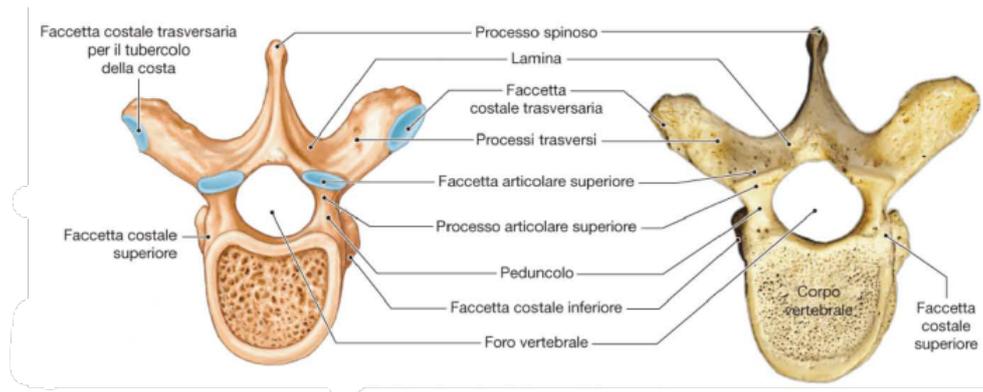


Figura 1.5: Vista superiore di una vertebra toracica. [Martini et al., 2019]

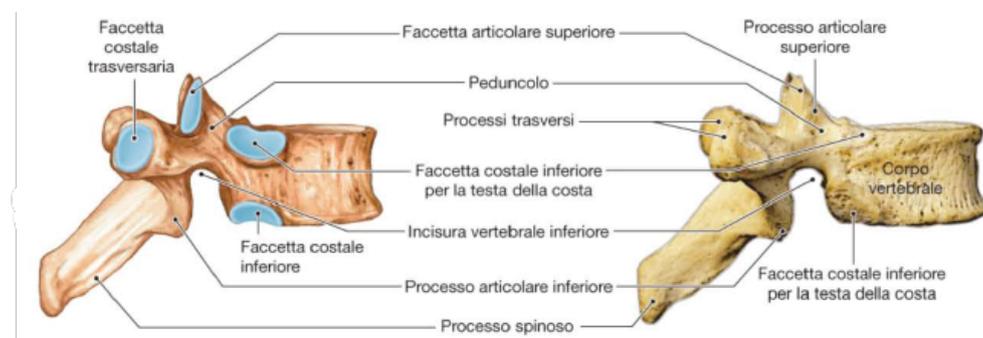


Figura 1.6: Vista laterale di una vertebra toracica. [Martini et al., 2019]

### 1.2.3 Vertebre lombari

Le vertebre lombari sono le più grandi, il loro corpo, di forma ovale, è più spesso di quelle toraciche e più robusto [Figura 1.7]. Il processo spinoso è alto ma più breve e si proietta posteriormente, il processo trasverso si porta in fuori e viene chiamato processo costiforme e dietro ad esso medialmente c'è un piccolo rilievo detto processo accessorio, che è un attacco muscolare. Esiste poi il processo mammillare che è una parte più rigonfia e ruvida dei processi articolari superiori delle lombari lungo il margine postero-laterale [Figura 1.8].

Le vertebre lombari sopportano la maggior parte del peso ed

è per questo che è molto comune che in questa regione si abbiano lesioni da compressione, in particolare rotture del tessuto connettivo del disco intervertebrale che si traducono in ernie al disco [Martini et al., 2019; Standring, 2015].

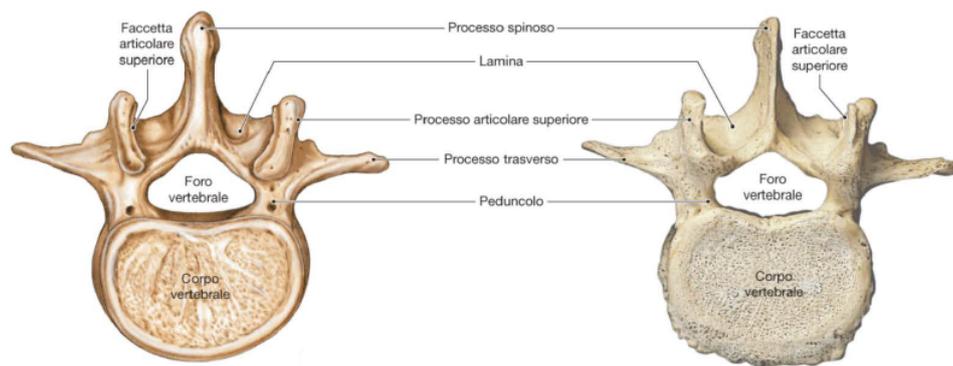


Figura 1.7: Vista superiore di una vertebra lombare. [Martini et al., 2019]

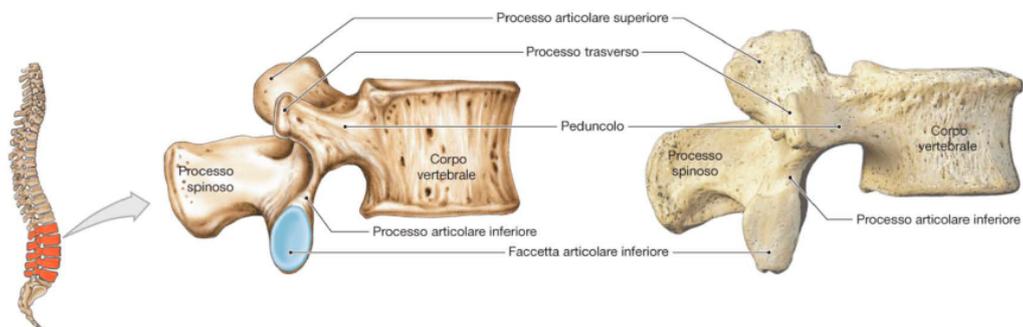


Figura 1.8: Vista laterale di una vertebra lombare. [Martini et al., 2019]

### 1.2.4 Osso sacro

Il sacro consiste nella fusione di 5 vertebre sacrali, fusione che avviene poco dopo la pubertà e si completa intorno ai 25/30 anni.

Il sacro protegge i sistemi riproduttivo, digestivo ed escretorio, e attraverso articolazioni collega lo scheletro assiale a quello appendicolare.

La parte superiore del sacro, chiamata base, è molto più sviluppata in quanto riceve il carico prima di trasmetterlo all'osso iliaco e si assottiglia fino al coccige (apice).

La faccia anteriore o pelvica è concava, levigata, liscia e presenta linee orizzontali o trasversali che derivano dalla fusione. Ai lati delle vertebre sacrali ci sono dei fori simmetrici (fori sacrali anteriori) e la fusione dei tutti i processi trasversi che nella parte superiore sono chiamati ali. È poi possibile individuare il promontorio sacrale che è il punto più sporgente e mediano della base del sacro.

La faccia posteriore, invece, è convessa ed accidentata. Su questa faccia è possibile vedere su S1 un foro che continua anche all'interno degli altri segmenti sacrali, dunque è un ingresso in un canale sacrale, completato posteriormente dalle lamine fuse. Anche i processi spinosi sono fusi e si trovano sotto forma di tubercoli; l'ultimo paio di lamine però non si salda, resta un'apertura chiamata *hiatus sacrale* e due tubercoli che e molto sporgenti sono chiamati *corni del sacro*.

A partire dal centro troviamo sulla linea mediana la cresta sacrale media data dai tubercoli, poi la cresta intermedia poco accentuata, seguono i fori sacrali posteriori e lateralmente le creste sacrali laterali che sono simmetriche e derivano dalla saldatura dei processi trasversi.

In sezione sagittale ci sono due ampie superfici articolari delle

superfici auricolari per l'articolazione con faccette analoghe sull'osso dell'anca per l'articolazione sacro-iliaca. Dietro a queste faccette si trova una zona molto rugosa e accidentata che darà aggancio a dei legamenti che partecipano all'articolazione ed è detta *tuberosità sacrale* [Figura 1.9] [Martini et al., 2019; Standring, 2015].

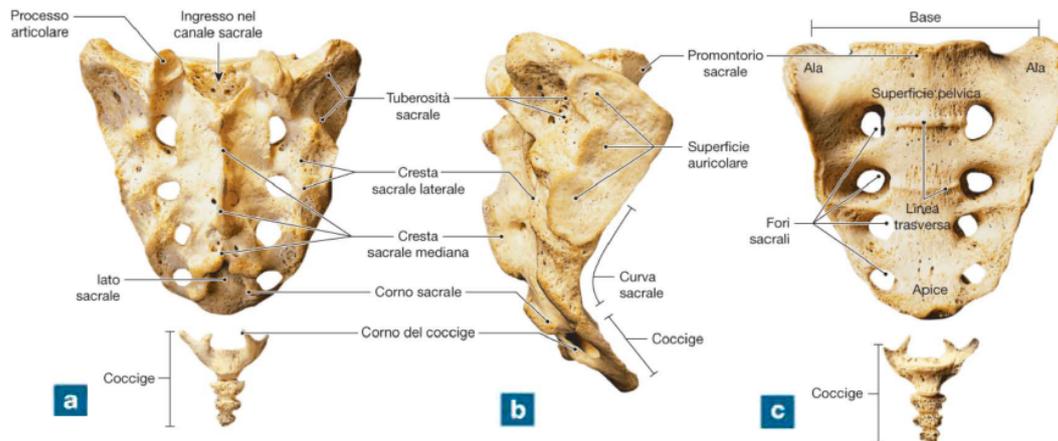


Figura 1.9: Vista posteriore (a), laterale (b) e frontale (c) dell'osso sacro. [Martini et al., 2019]

## 1.3 Assi e piani anatomici

I movimenti dei segmenti corporei nello spazio sono definiti rispetto agli assi e ai piani anatomici [Figura 1.10]. Gli assi anatomici sono:

- **Asse longitudinale** (verticale): nella posizione eretta, decorre in direzione craneo-caudale ed è perpendicolare alla base di appoggio quando il corpo è in posizione eretta.
- **Asse trasversale** (orizzontale): è diretto da sinistra a destra e viceversa, ed è perpendicolare all'asse longitudinale.
- **Asse sagittale** (antero-posteriore): decorre in direzione ventrale-dorsale dalla superficie posteriore alla superficie anteriore del corpo e viceversa. Questo asse è perpendicolare agli altri due.

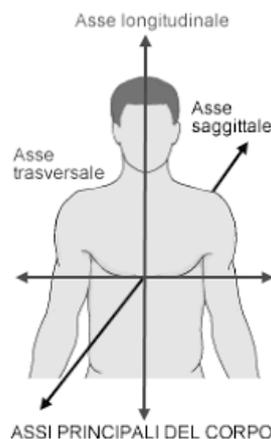


Figura 1.10: Assi anatomici. [Martini et al., 2019]

Per lo studio di una fetta di un oggetto tridimensionale è utile definire tre piani di sezione fondamentali [Figura 1.11] in modo da potersi orientare.

- **Piano frontale o coronale:** piano verticale disposto disposto parallelamente all'asse longitudinale del corpo; decorre

verticalmente da un lato all'altro del corpo dividendolo in parte anteriore o ventrale, ovvero ciò che si trova davanti al piano, e posteriore o dorsale, cioè ciò che si trova dietro al piano.

- **Piano sagittale:** piano parallelo all'asse longitudinale del corpo; divide il corpo in una sezione destra e una sinistra. Il piano sagittale genera una simmetria bilaterale ma si possono considerare altri piani parasagittali paralleli. Rispetto al piano sagittale individuamo qualcosa che è mediale e qualcosa che è laterale, considerando due strutture la posizione relativa rispetto all'asse mediano, è mediale quella più vicina all'asse e laterale quella più lontana.
- **Piano trasverso:** piano trasversale che, riferito alla posizione eretta, descrive una sezione orizzontale. Rispetto a questo piano individuamo qualcosa di superiore o craniale, ciò che si trova al di sopra del piano e inferiore o caudale, ciò che si trova al di sotto [Schünke et al., 2019].

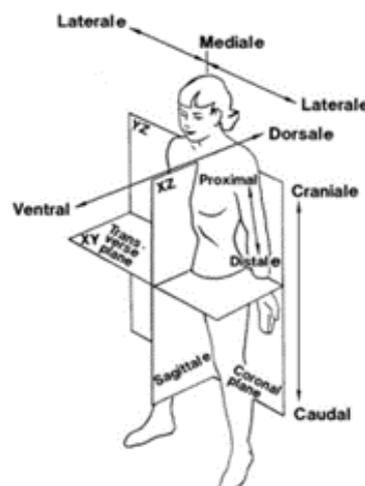


Figura 1.11: Piani anatomici di riferimento. [Schünke et al., 2019]

## 1.4 Patologie della colonna vertebrale: la scoliosi

Come precedentemente descritto, in condizioni anatomiche normali la colonna vertebrale è perfettamente dritta sul piano coronale e vista di lato presenta lievi curve fisiologiche alternate. Le patologie della colonna vertebrale possono provocare deformazioni della stessa. Può trattarsi di un'alterazione dell'assetto del rachide, che si presenta incurvato in senso latero-laterale sul piano frontale (scoliosi), di accentuazioni delle cifosi o delle lordosi fisiologiche o loro inversioni o combinazioni di queste. La curvatura nella scoliosi può essere su entrambi i lati ed è accompagnata da una rotazione del corpo vertebrale lontano dalla linea mediana ed è sempre patologica [Friedman, 2003; Greggi, 2009].

### 1.4.1 Angolo di Cobb

L'entità della deviazione scoliotica viene espressa in gradi. L'angolo di Cobb è il sistema di misurazione più usato per quantificare la gravità dell'anomalia, nonché la velocità di progressione di patologie come la scoliosi. Nel metodo di Cobb [Figura 1.12], si tracciano due linee passanti per il piatto superiore ed inferiore delle vertebre limitanti la curva e a queste le rispettive perpendicolari su una radiografia antero-posteriore della colonna vertebrale. L'angolo formato da queste linee è l'angolo di Cobb [Greggi, 2009].

### 1.4.2 La patologia

Nella tradizione ortopedica, la scoliosi [Figura 1.13] è stata sempre definita come una deviazione laterale della colonna maggiore di  $10^\circ$ ,

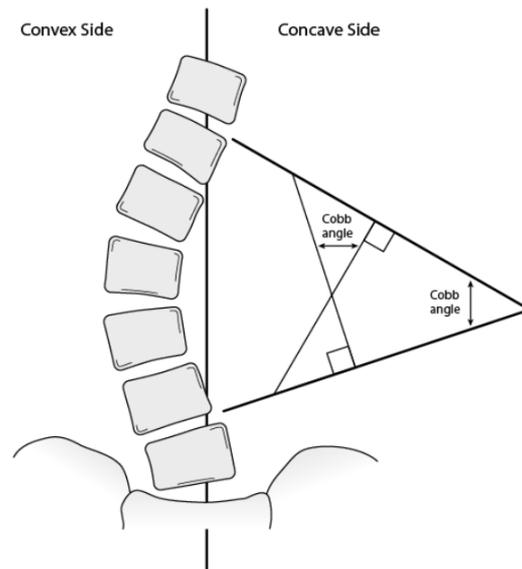


Figura 1.12: Metodo di calcolo dell'angolo di Cobb. [MSD, 2022]

misurata secondo il metodo di Cobb in una radiografia in ortostasi in proiezione antero-posteriore [Grassi et al., 2021; Friedman, 2003]. Di fatto, la scoliosi è caratterizzata da una rotazione di un segmento di colonna vertebrale che si sviluppa progressivamente nel corso della crescita, sulla base della deformità, anch'essa progressiva, delle singole vertebre.



Figura 1.13: Paziente presentante scoliosi. [Greggi, 2009].

Nella radiografia in proiezione antero-posteriore [Figura 1.14], l'immagine biplanare della scoliosi si manifesta con una deviazione laterale ma, se considerata nella prospettiva tridimensionale, la deformità si manifesta su tre piani: sagittale con lordosi del segmento scoliotico; frontale con inclinazione laterale; trasverso con rotazione vertebrale.



Figura 1.14: Radiografia di paziente affetto da scoliosi.

La scoliosi può essere sia posturale/compensatoria, quindi non strutturale, che strutturale. La prima deriva solitamente da una discrepanza di lunghezza degli arti, non è progressiva e spesso può essere corretta in modo conservativo (ad esempio, un rialzo delle scarpe). La tipologia di curva scoliotica strutturale più rappresentata è quella idiopatica che da sola costituisce circa il 70% di tutte le curve [Grassi et al., 2021; Friedman, 2003]. Per questa forma di sco-

liosi la causa non è definita anche se sono state formulate numerose ipotesi, tra le quali una disfunzione neurologica centrale, anomalia del tessuto connettivo e fattori genetici. A sua volta è suddivisa in diverse forme a seconda dell'età in cui viene diagnosticata:

- infantile, nei bambini di età inferiore ai 3 anni;
- giovanile, insorge tra i 3 e i 10 anni;
- dell'adolescente, insorge fra i 10 anni e il raggiungimento della maturità scheletrica e rappresenta la maggioranza delle curve che si presentano a una valutazione ortopedica (adolescent idiopathic scoliosis, AIS);
- dell'adulto, si manifesta dopo il raggiungimento della maturità scheletrica.

Le forme secondarie di scoliosi possono essere date da deformità congenite, da cause neuromuscolari, associate a neurofibromatosi, associate a patologie a carico del mesenchima, post-traumatiche o associate ad altre patologie.

La misurazione dell'entità della curva, effettuata con il metodo di Cobb, a causa della componente tridimensionale, sottostima l'entità della deformità soprattutto nelle scoliosi gravi [Grassi et al., 2021; Friedman, 2003].

### 1.4.3 La terapia

Per la terapia della scoliosi ci sono quattro diversi tipi di approccio [Grassi et al., 2021; Friedman, 2003]:

- osservazione, non si tratta la scoliosi ma ci si limita a effettuare controlli periodici ogni 4-6 mesi, è un atteggiamento giustificato per le piccole curve;
- terapia ortopedica che si basa sull'utilizzo di apparecchi gessati o busti ortopedici per curve di entità compresa tra i 25/30°

e i 45° e immaturità scheletrica, l'uso di busti è però controverso in quanto per essere efficace dovrebbe essere indossato per circa 16 ore giornaliere;

- terapia chirurgica per le curve superiori a 40° in persone scheletricamente immature e maggiori di 50° per gli altri. Le tecniche chirurgiche prevedono solitamente una strumentazione della colonna senza fusione spinale in casi di curva flessibile che può essere corretta adeguatamente o con fusione, i due approcci chirurgici prevalentemente utilizzati sono o posteriore per curve mobili o quello anteriore per curve più rigide;
- kinesiterapia solitamente complementare alle altre forme di terapia e si basa sull'adozione di protocolli riabilitativi.

## 1.5 Fissazione spinale

Il trattamento chirurgico della scoliosi ha come scopi principali: correggere la deformità scoliotica per riportare un buon assetto sul piano frontale e sagittale del tronco, garantire nel tempo la stabilità della correzione ottenuta. La correzione della deformità richiede dei gesti chirurgici molto aggressivi, una volta ottenuta può essere resa definitiva solo con una fusione delle vertebre mediante una fissazione posteriore o anteriore. È un intervento che lascia una diminuzione della mobilità globale del rachide e quindi va riservato alle scoliosi di una certa gravità [Greggi, 2009]. La fissazione spinale, infatti, è l'intervento d'elezione per il trattamento per curve >45° in adolescenti o in base al dolore per gli adulti, per ridurre l'entità della deformità nei tre piani anatomici, ripristinare una postura ben bilanciata e prevenire la progressione della curva [La Barbera et al., 2021c; Weinstein et al., 2008]. La fissazione vertebrale che avviene con viti e barre è chiamata fissazione strumentata ed è un interven-

to che ha come obiettivo la stabilizzazione della colonna vertebrale e la risoluzione delle compressioni delle strutture nervose, quando presenti. La tecnica originale è stata ideata dall'americano Hibbs all'inizio del ventesimo secolo e si basa sul gesto chirurgico della rimozione dei processi spinosi e nel loro impianto nello spazio interspinoso in modo da attivare un meccanismo riparativo finalizzato alla formazione della fusione. Questa tecnica è un esempio di fusione senza strumentazione, che in generale si basa sul prelievo di frammenti di osso o dal paziente stesso (autograft) o da donatore (allograft) da impiantare o in canali formati nel processo trasverso oppure nello spazio intervertebrale e può essere considerata precorritrice della moderna *posterolateral interbody fusion* (PLIF). Il cambiamento essenziale della moderna chirurgia vertebrale fu realizzato nei primi anni 70 da Roy-Camille [Roy-Camille et al., 1986] che descrisse l'utilizzo di viti orientate sagittalmente attraverso le faccette o i peduncoli e di placche che connettono le viti. Queste scoperte hanno spianato la strada per i costrutti viti-barre che sono ancora oggi la chiave di volta degli impianti di stabilizzazione [Figura 1.15].



Figura 1.15: Esempio di fissazione con viti e barre. [Scrofani et al., 2022]

In seguito per quanto riguarda la già menzionata PLIF, la *lateral lumbar interbody fusion* (LLIF) e la *transforaminal lumbar interbody fusion* (TLIF) vennero introdotte delle cage [Figura 1.16], dispositivi inseriti al posto del disco intervertebrale che promuovono comunque la crescita dell'osso e di conseguenza la fusione [Virk et al., 2020].

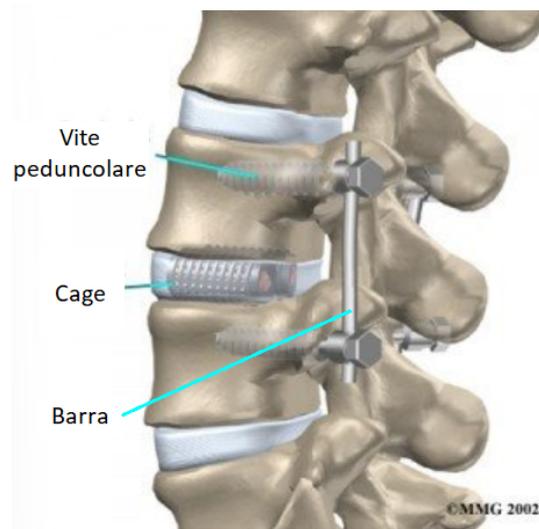


Figura 1.16: Fissazione con l'uso di viti, barre e cage. [Scrofani et al., 2022]

Questa operazione solitamente risolve il dolore causato dalla scoliosi e raddrizza la colonna vertebrale ma con la possibilità che rimangano lievi curvature non paragonabili alla condizione preoperatoria, questo aspetto è legato alla flessibilità del rachide prima dell'intervento. Le complicazioni in adulti possono comprendere pseudoartrosi, cifosi giunzionale prossimale e distale [Weinstein et al., 2008].

### 1.5.1 Fissazione strumentata anteriore

La fissazione strumentata anteriore è usata principalmente per curve toracolombari e lombari isolate [Weinstein et al., 2008] e per la scoliosi è associata ai nomi di Dwyer e Zielke [Muschik et al., 2006; Dwyer, 1973; Zielke, 1982]. Questo tipo di fissazione utilizza un approccio frontale, attraverso la regione addominale, e include l'utilizzo del divaricatore per retrarre il sacco peritoneale, i grandi vasi sanguigni e gli intestini di modo che venga facilitato un adeguato accesso a tutta la superficie ventrale del disco intervertebrale esposto [Figura 1.17]. Questa tecnica è adatta per discopatie degenerative e revisioni di una fissazione per via posteriore non riuscita ed è stata poi utilizzata anche per le scoliosi toraciche per raggiungere migliori correzione nel piano sagittale e per ridurre il numero di livelli fusi.

I vantaggi legati a questo tipo di approccio comprendono una visione diretta dello spazio discale e un'ampia esposizione laterale dei corpi vertebrali e perciò una massimizzazione dell'efficacia dell'impianto; consente poi di risparmiare i muscoli spinali posteriori e i muscoli psoas, riducendo il dolore e la disabilità postoperatoria [Ialuna, 2020].

Gli svantaggi dell'approccio anteriore per toracotomia sono il tasso di rottura dell'impianto, la pseudoartrosi, la cicatrice chirurgica e l'effetto sfavorevole sulla funzione polmonare. Tale chirurgia comporta un rischio di invadere le strutture vitali adiacenti e problemi legati all'anestesia in un polmone [Graham et al., 2000; Sucato et al., 2004]. Pertanto, nonostante la sua utilità questo metodo non può essere utilizzato senza che siano chiaramente documentati i vantaggi rispetto alla più recente strumentazione posteriore con viti peduncolari toraciche [Weinstein et al., 2008].

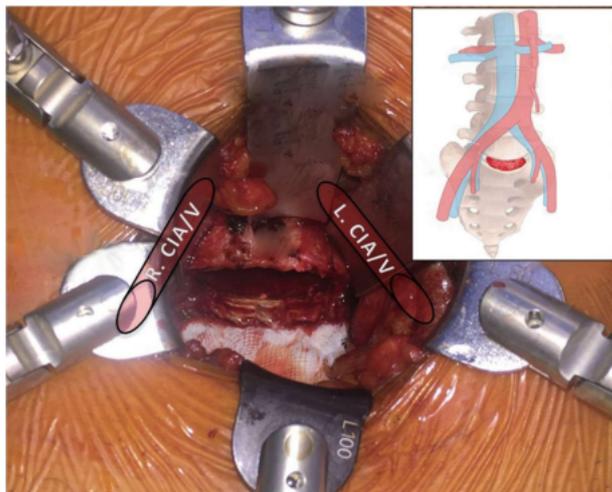


Figura 1.17: Approccio anteriore per eseguire l'intervento di fissazione strumentata anteriore. [Mobbs et al., 2015]

### 1.5.2 Fissazione strumentata posteriore

Attualmente, la strumentazione e la fusione spinale con un approccio posteriore è diventato uno dei trattamenti operativi più comuni della scoliosi progressiva con un angolo di Cobb della curva primaria superiore a  $50^\circ$  [Cidambi et al., 2012]. Questa tecnica normalmente usa fili, ganci e viti peduncolari bilaterali ancorate ai corpi vertebrali [Figura 1.18], su diversi siti posteriori (la lamina, il peduncolo, i processi trasversi e i processi spinosi), alle quali vengono fissate delle barre sagomate [Figura 1.19] [Weinstein et al., 2008]. La fissazione consiste in diverse fasi:

- mettere a nudo la faccia posteriore degli archi vertebrali da cui si asportano frammenti ossei;
- applicare le viti di ancoraggio alle vertebre sulla curva scolio-tica;
- raccordare le barre metalliche;
- eseguire le manovre correttive sulle barre per correggere la curva e soprattutto per ricostruire correttamente la cifosi toracica e la lordosi lombare. Vengono esercitate gradualmen-

te sulle vertebre delle forze di distrazione, compressione e traslazione e momenti, per correggere.

Dopo si ricopre l'arco vertebrale cruentato, con abbondanti frammenti ossei prelevati dalla banca dell'osso o dall'ala iliaca dello stesso paziente.

La deformità deve essere corretta con gradualità e controllo intraoperatorio dell'integrità funzionale del midollo e delle radici nervose [Greggi, 2009].



Figura 1.18: Fotografia di viti e barre. [Ialuna, 2020]



Figura 1.19: Radiografie di un'adolescente con AIS toracica destra progressiva trattata con strumentazione posteriore (A)preoperazione vista laterale; (B) preoperazione vista frontale; (C) postoperazione vista laterale; (D) postoperazione vista frontale. [Weinstein et al., 2008]

### 1.5.3 Scelta del metodo di strumentazione

Gli obiettivi della correzione sono raggiunti attraverso un'appropriata selezione delle vertebre da fondere e del numero di viti peduncolari da utilizzare sulle vertebre usando diversi tipi di viti, ganci o fili attaccati alle barre laterali [Majdouline et al., 2009].

Le strategie e i parametri per la correzione delle deformità sono però molte e i chirurghi spesso non concordano sulla migliore strategia di strumentazione per il singolo caso, questo a causa della quantità di obiettivi, definiti come la scelta di agire su uno o più parametri specifici della deformità spinale su diversi piani anatomici, su cui la correzione deve operare [La Barbera et al., 2021b].

Per questo motivo sono state proposte molte linee guida e sono stati fatti molti studi prospettici e/o retrospettivi per investigare l'effetto di specifici parametri o di manovre correttive sui risultati. Tuttavia, questi studi sono basati su serie di casi che sono difficili da confrontare e per ovvie ragioni non è possibile confrontare i risultati di due strumentazioni diverse sullo stesso paziente quindi i risultati di questi studi sono influenzati dalla variabilità di caratteristiche dei pazienti, così come dalla strategia adottata dai chirurghi [Aubin et al., 2007; La Barbera et al., 2021c]. Infatti, la chirurgia di deformità spinale è ancora spesso vista come un'“arte” nella quale i principi non possono essere formulati in modo chiaro e l'esperienza personale del chirurgo gioca ancora un ruolo vitale [Galbusera et al., 2015].

Simulazioni chirurgiche e biomeccaniche *computer-based* e *patient-specific* sono un prezioso strumento per testare virtualmente, e quindi in modo non invasivo, l'impatto di una varietà di configurazioni su un unico in un ambiente finemente controllato che esclude fattori confondenti [La Barbera et al., 2021a; Majdouline et al., 2009].

### 1.5.4 Fallimento

La chirurgia per la correzione delle deformità spinali nei pazienti adulti è stata oggetto di numerosi progressi negli ultimi anni, che hanno portato a un miglioramento dei risultati e a una maggiore soddisfazione dei pazienti. Tuttavia, queste lunghe procedure continuano a essere associate a numerose complicanze perioperatorie, tra cui danni al tessuto nervoso, ematomi in situ, perdite di liquido cerebrospinale, infezioni del sito chirurgico (SSI), trombosi venosa profonda ed embolia polmonare [Fanous et al., 2019]. L'intervento potrebbe fallire nel sito di attacco alla colonna o in una giunzione tra due parti della strumentazione, la cui rottura accade solitamente come il risultato di uno stress ciclico di flessione, estensione e flessione laterale, quindi a fatica [Slone et al., 1993]. Da quanto espresso da Charosky et al., 2012 il 24% dei pazienti della loro coorte è andato incontro a fallimento meccanico (mobilizzazione o rottura della strumentazione) o aggravamento della deformità.

La fissazione con viti peduncolari non solo migliora la stabilità della colonna vertebrale, ma corregge anche la deformità spinale. Pochi casi di viti rotte hanno mostrato una cifosi progressiva o un forte dolore alla schiena che ha richiesto una revisione. Tuttavia, la fissazione del peduncolo ha provocato una concentrazione di stress all'interfaccia di fissazione della vite. La concentrazione di stress è stata sospettata di essere la causa principale della rottura della vite. In letteratura le percentuali di rottura delle viti sono tra il 3 e il 7.1% [Chen et al., 2005; Niu et al., 1996; Cotler et al., 1990; Matsuzaki et al., 1990; Dickman et al., 1992].

La rottura delle barre (RB), invece, si verifica circa nel 22% dei pazienti a cui è stato praticata un'osteotomia di sottrazione peduncolare (PSO) e nel 9% dei pazienti con deformità spinale dell'adulto

con un minimo di un anno di follow-up [Luca et al., 2017; Smith et al., 2014]. Le RB possono essere divise in due sottogruppi: rotture di barre clinicamente significative (RBCS o sintomatiche) e non sintomatiche (non-RBCS). Le RBCS possono essere individuate da sintomi che spingono alla valutazione (ad esempio, dolore, sintomi neurologici) e alla diagnosi di rottura delle barre tramite imaging radiografico. Le RBCS sono spesso accompagnate da segni radiografici di pseudartrosi, da nuovi sintomi come dolore o radicolopatia o dalla perdita della correzione, mentre le non-RBCS per definizione non sono associate a sintomi del paziente o alla perdita della correzione [Barton et al., 2015].

La rottura sintomatica delle barre secondo Smith et al., 2012 si verifica nel 6,8% dei casi di deformità spinale dell'adulto e nel 15,8% dei pazienti con PSO.

È stato dimostrato che molteplici fattori di rischio influenzano l'incidenza della RB e possono essere suddivisi in tre categorie principali [Luca et al., 2017; Berjano et al., 2013]:

- Fattori legati al paziente, come l'età, l'indice di massa corporea (BMI) e lo squilibrio sagittale preoperatorio;
- Fattori legati alla tecnica, come l'estensione della fissazione, la fusione del sacro, la fissazione pelvica, l'insufficiente supporto della colonna anteriore, l'insufficiente fusione distale, l'insufficiente correzione dell'allineamento spinale sul piano sagittale, il tipo di procedura correttiva (ad esempio, PSO), l'uso di connettori dominanti e/o paralleli, la flessione e la sagomatura delle barre;
- Fattori intrinseci legati all'impianto: tipo di materiale (acciaio inossidabile, titanio e leghe di cobalto-cromo) e diametro della barra.

Secondo lo studio di Barton et al., 2015, caratteristiche demo-

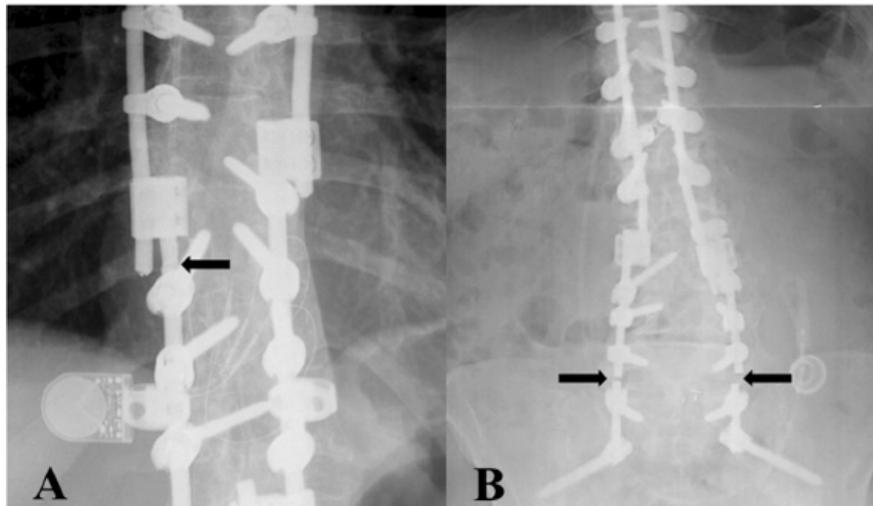


Figura 1.20: Esempi di radiografie rappresentanti una rottura di barre. [Barton et al., 2015]

grafiche come: età, sesso, etnia, BMI, precedenti operazioni alla colonna, o l'essere fumatore, non hanno mostrato associazioni con il rischio di rottura delle barre, così come le comorbidità, mentre la costruzione di una fusione che interessa due diverse regioni spinali (ad esempio toracolombare e lombosacrale) è risultata essere un fattore di rischio per la RB, così come la sagomatura della barra con un angolo superiore a  $60^\circ$  e la presenza di connettori di barre (come quelli presenti nella Figura 1.20.A).

Le complicazioni legate alle viti iliache, come la mobilizzazione della vite iliaca e la rottura delle barre tra le viti S1 e iliache, si verificano spesso dopo l'intervento chirurgico a causa della concentrazione del lungo braccio di leva dei segmenti fusi.

La mobilizzazione delle viti iliache si sviluppa dal 28% al 49% dei pazienti sottoposti a chirurgia di deformità spinale dell'adulto entro 2 anni; tuttavia, l'esito a lungo termine della fissazione pelvica mediante viti iliache per questi pazienti e l'effetto delle complicanze legate alle viti iliache sull'allineamento globale e sugli esiti clinici rimangono poco chiari [Banno et al., 2022].

Dallo studio di Daubs et al., 2007 è risultato che nei pazienti sopra i 60 anni che si sottopongono a un'operazione di correzione di deformità spinale la possibilità di complicazioni è del 37% e che i pazienti di età superiore ai 69 anni hanno una probabilità 9 volte maggiore di avere una complicanza maggiore.

### 1.5.5 Patologia giunzionale

La fusione spinale aumenta lo stress sulle vertebre adiacenti non strumentate e, a lungo termine, i pazienti sono a rischio di sviluppare una complicanza comune chiamata patologia giunzionale (PG). PG è un termine molto ampio che si riferisce alle complicazioni degenerative e meccaniche osservate nei tratti adiacenti alle vertebre fissate. [Virk et al., 2014; Scemama et al., 2016; Chou et al., 2012; Chu et al., 2022]. La PG comprende la PG radiografica e la PG sintomatologica. La PG radiografica è stata definita come cambiamenti radiografici osservati nei livelli adiacenti della fusione spinale che non sono necessariamente correlati con alcun risultato clinico; mentre la PG sintomatologica si riferisce allo sviluppo di nuovi sintomi clinici che corrispondono a cambiamenti radiografici adiacenti alla precedente fusione spinale. La PG radiografica si svilupperà fino alla PG sintomatologica che porterà a dolore, disfunzione o necessità di un ulteriore intervento chirurgico alla colonna vertebrale [Xia et al., 2013].

La patologia giunzionale può verificarsi nella parte prossimale della regione fissata o in quella distale distinguendosi così in patologia giunzionale prossimale (PJP) e patologia giunzionale distale (PJD). La PJP ha un'incidenza maggiore della PJD ma quest'ultima ha una percentuale maggiore di revisioni chirurgiche necessarie al suo trattamento [Ghasemi et al., 2017].

In particolare queste patologie si presentano solitamente come cifosi: cifosi giunzionale prossimale (PJK) che è stata definita come un angolo di  $15^\circ$  o più tra la prima vertebra strumentata e la seconda vertebra immediatamente sopra e cifosi giunzionale distale (DJK) se si verifica nel tratto immediatamente sotto alla regione strumentata.

Infine, non è raro osservare una combinazione di problemi giunzionali nello stesso paziente [Arlet et al., 2013].

### 1.5.6 Patologia giunzionale prossimale

La patologia giunzionale prossimale (*proximal junctional pathology*, PJP) può manifestarsi in molti modi diversi sia clinicamente che radiograficamente. La cifosi giunzionale prossimale (*proximal junctional kyphosis*, PJK) è una forma specifica di PJP, originariamente descritta radiograficamente come una cifosi superiore a  $10^\circ$  tra la prima vertebra strumentata e il corpo vertebrale 2 livelli sopra, la PJK nei casi più gravi può portare al fallimento dell'impianto e alla necessità di un intervento di revisione. Da quando è stata descritta per la prima volta, numerosi studi hanno cercato di chiarire i fattori di rischio associati al suo sviluppo; tuttavia, nessuno studio è stato in grado di identificare definitivamente una singola variabile associata allo sviluppo della PJK, per cui la sua eziologia è probabilmente multifattoriale. I fattori di rischio identificati includono l'approccio chirurgico combinato anteroposteriore, il tipo di strumentazione, l'entità della correzione e la correzione dello squilibrio sagittale, l'inclusione della fissazione pelvica, l'osteoporosi e l'integrità del complesso legamentoso posteriore e del livello vertebrale strumentato prossimalmente.

Oltre all'insorgenza di PJK, la patologia giunzionale prossimale si verifica in caso di:

- progressiva deformità al di sopra della strumentazione;
- stiramento del legamento posteriore con o senza la sua lesione;
- frattura della prima vertebra strumentata o della vertebra immediatamente sopra, spesso in combinazione con distruzione del legamento posteriore;
- mobilizzazione delle viti peduncolari nella prima vertebra strumentata;
- discopatia degenerativa nel disco intervertebrale immediatamente sopra alla regione fissata con possibili complicazioni neurologiche.

### 1.5.7 Patologia giunzionale distale

La patologia giunzionale distale (*distal junctional pathology*, DJP) è descritta come una possibile complicazione di un intervento di fissazione eseguito in caso di scoliosi adolescenziale idiopatica, cifosi di Scheuermann e di deformità spinali dell'adulto, a causa di un aumento di stress meccanico sul segmento adiacente distale e può essere una fonte di dolore e squilibrio [Berjano et al., 2020]. Analogamente al caso prossimale, la cifosi giunzionale distale (*distal junctional kyphosis*, DJK) è stata definita come un angolo giunzionale distale maggiore o uguale di  $10^\circ$  e minimo  $10^\circ$  maggiore del valore preoperatorio; l'angolo giunzionale distale è definito come l'angolo di Cobb tra la superficie caudale dell'ultima vertebra strumentata (*lower instrumented vertebra*, LIV) e la superficie inferiore della vertebra immediatamente sottostante alla LIV [Lowe et al., 2006b; Denis et al., 2009; Ghasemi et al., 2017]

La patologia giunzionale distale si può verificare in diversi modi come:

- la progressiva perdita della curvatura fisiologica;
- la discopatia degenerativa del disco intervertebrale immediatamente sotto al tratto strumentato;
- la frattura della vertebra strumentata più distale o della vertebra immediatamente sotto alla regione strumentata;
- mobilizzazione o rottura delle viti peduncolari nell'ultima vertebra strumentata;
- rottura delle barre.

Per quanto riguarda il trattamento della DJP i casi asintomatici sono spesso trattati non chirurgicamente mentre quelli sintomatici spesso necessitano di chirurgia, in generale il trattamento ha come fine il ripristino dell'allineamento e la scelta di un segmento stabile come estremità caudale della fissazione [Berjano et al., 2020].

## 1.6 Parametri spinopelvici

I parametri spinopelvici sono parametri che caratterizzano morfologicamente e funzionalmente la colonna vertebrale attraverso angoli o distanze tra landmark anatomici, misurabili su radiografie. Si parla di parametri spino pelvici sagittali se sono misurati su radiografie del paziente in piedi in vista sagittale, mentre si parla di parametri spinopelvici coronali se misurati su radiografie frontali. La rilevazione di questi parametri ha reso possibile un'indicizzazione da cui è stata possibile la definizione di un range di normalità per alcuni di questi parametri.

### 1.6.1 Parametri spinopelvici coronali

In letteratura, i parametri coronali più menzionati sono l'angolo di Cobb, la deviazione della vertebra apicale della curva e l'equilibrio globale coronale che rappresentano l'allineamento della colonna vertebrale.

La misurazione dell'angolo di Cobb è stata precedentemente descritta [sottosezione 1.4.1].

Per descrivere l'equilibrio globale coronale [Figura 1.21 e Figura 1.22] si misura la distanza tra la *central sacral vertical line* (CSVL) ovvero la linea verticale che passa per il centro del sacro e la *mid-C7 vertebra plumb line* (C7PL), linea verticale che passa per il centro di C7. Uno scompenso coronale è definito in letteratura come una differenza maggiore di 3 cm tra la CSVL e la C7PL [Karami et al., 2016; Jiang et al., 2018].

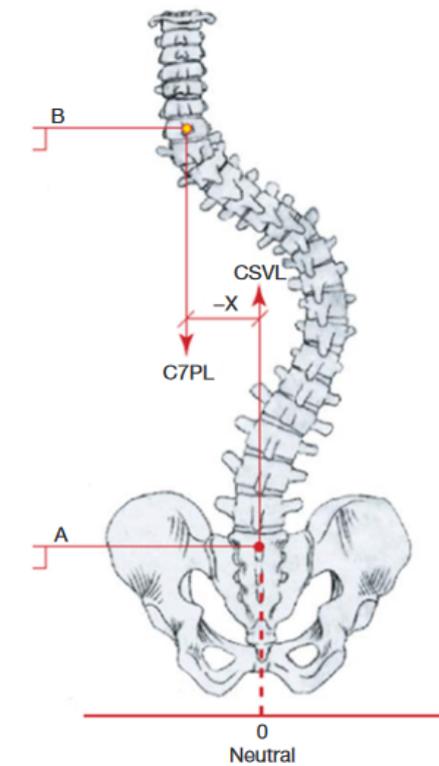


Figura 1.21: Equilibrio globale coronale. [Kubat et al., 2020]

La traslazione della vertebra apicale della curva scoliotica è misurata come la distanza del centro della vertebra o del disco apice della curva e la CSVL [Jiang et al., 2018].

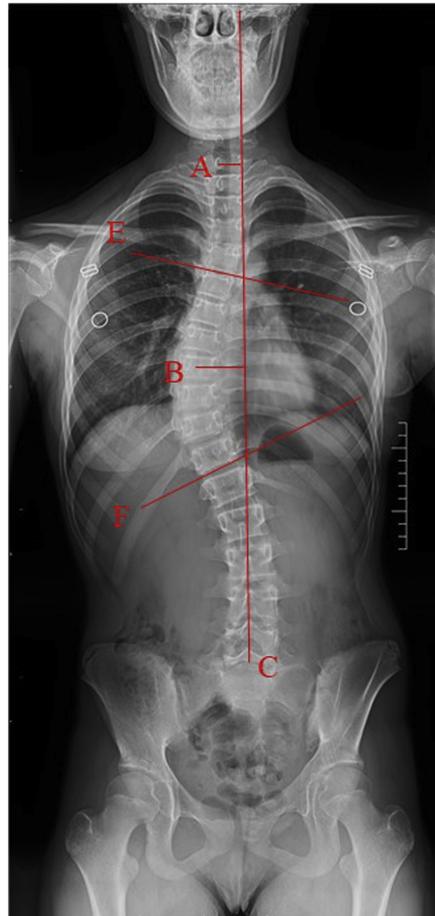


Figura 1.22: Valutazione dell'equilibrio coronale. La linea A rappresenta l'equilibrio globale coronale, ovvero la distanza tra la CSVL (linea C) e C7PL. La linea B rappresenta la traslazione apicale della curva maggiore, misurata come la distanza tra il centro della vertebra apicale della curva maggiore e la CSVL. L'angolo compreso tra la linea E e la linea F rappresenta l'angolo di Cobb. [Ma et al., 2020]

Un altro parametro indicatore dell'equilibrio globale è il *lateral pelvic tilt* o *Pelvic Obliquity* che è misurato come l'angolo tra il più alto di entrambe le creste iliache e l'orizzontale [Figura 1.23]. Questo parametro indica quanto un lato del bacino appare più alto o più

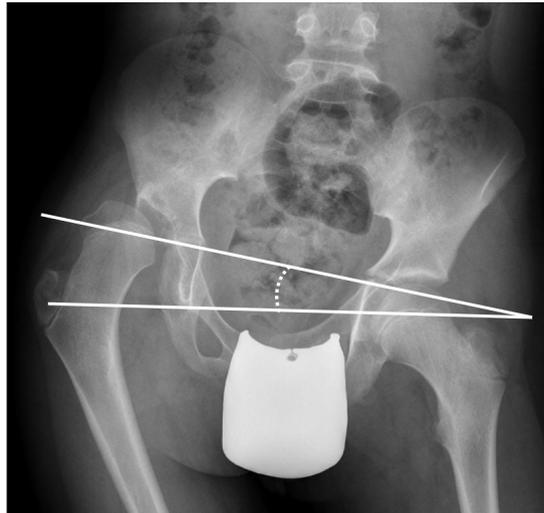


Figura 1.23: Misurazione del parametro *Pelvic Obliquity*. [Hägglund, 2020]

basso rispetto alla normale posizione [Ma et al., 2020], dando anche informazioni sull'estetica della scoliosi così come l'allineamento delle spalle [Karami et al., 2016] espresso come *Clavicle Angle* che appunto misura l'angolo che si crea tra la linea che congiunge le clavicole e l'orizzontale [Figura 1.24]. Infine, un altro parametro utilizzato per descrivere l'equilibrio delle spalle è il *T1 Tilt* [Ono et al., 2012], definito come l'angolo che il piatto superiore della vertebra T1 forma con l'orizzontale [Figura 1.25].

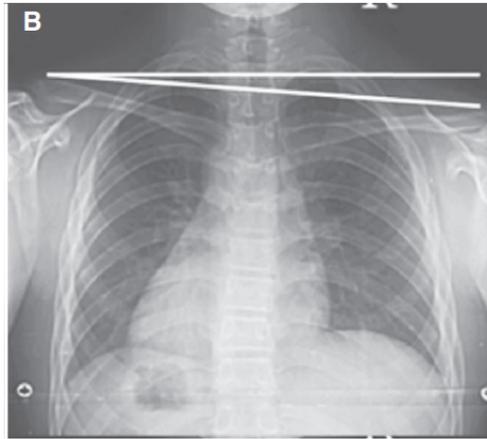


Figura 1.24: Misurazione del parametro *Clavicle Angle*. [Menezes et al., 2019]

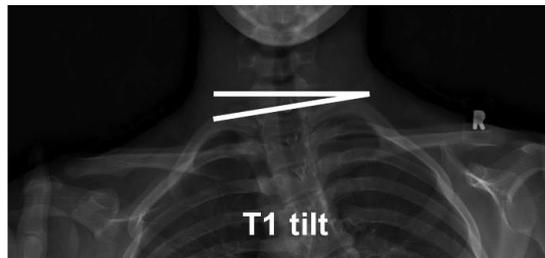


Figura 1.25: Misurazione di *T1 Tilt*. [Ono et al., 2012]

### **1.6.2 Software per la misurazione dei parametri spinopelvici**

Surgimap è un software sviluppato da Nemaris Inc. il cui scopo è quello di fornire una soluzione completa per chi ha a che fare con immagini mediche. Surgimap permette la misura di angoli e parametri spinopelvici e la pianificazione preoperatoria. Le misurazioni possono essere effettuate attraverso strumenti generici o strumenti di default specifici per il campo ortopedico o relativi alla colonna vertebrale in particolare [Lafage, 2020].

## **1.7 Scopo**

Lo scopo di questo studio è stato quello di analizzare e investigare l'esistenza di possibili correlazioni tra i parametri spinopelvici sul piano coronale e l'incidenza della patologia giunzionale distale nella regione lombare in pazienti affetti da scoliosi.



## Capitolo 2

# Materiali e metodi

In questa analisi retrospettiva sono stati analizzati i casi di pazienti affetti da scoliosi sottoposti a fissazione spinale all'Istituto Ortopedico Rizzoli (IOR) di Bologna negli anni 2017 e 2018.

Sono stati presi in considerazione tutti gli interventi di chirurgia vertebrale eseguiti per la correzione di scoliosi e sono stati estratti soltanto quelli di fissazione strumentata posteriore. In particolare sono stati esclusi i pazienti

- che presentavano fissazione anteriore;
- la cui fissazione non faceva uso di viti e barre;
- la cui fissazione faceva uso di uncini o viti magnetiche allungabili;
- la cui fissazione non comprendeva almeno una vertebra lombare.

Attraverso l'analisi della storia dei pazienti nel database degli interventi di chirurgia vertebrale dello IOR, sono stati creati due gruppi: il gruppo di controllo (GC) e il gruppo di pazienti che ha subito un intervento di revisione della fissazione spinale a causa della patologia giunzionale distale lombare (GPGD). Sono stati esclusi dal gruppo di controllo i pazienti la cui fissazione è fallita dopo gli

anni considerati o che hanno subito altri interventi alla colonna vertebrale.

In questo studio sono stati presi in considerazione quattro casi di fallimento [Figura 2.1] che facessero rientrare il paziente nel GPGD:

- mobilizzazione delle viti peduncolari nell'ultima vertebra strumentata;
- frattura dell'ultima vertebra strumentata o della prima non strumentata;
- discopatia degenerativa tra l'ultima vertebra strumentata e prima non strumentata;
- rottura delle barre.

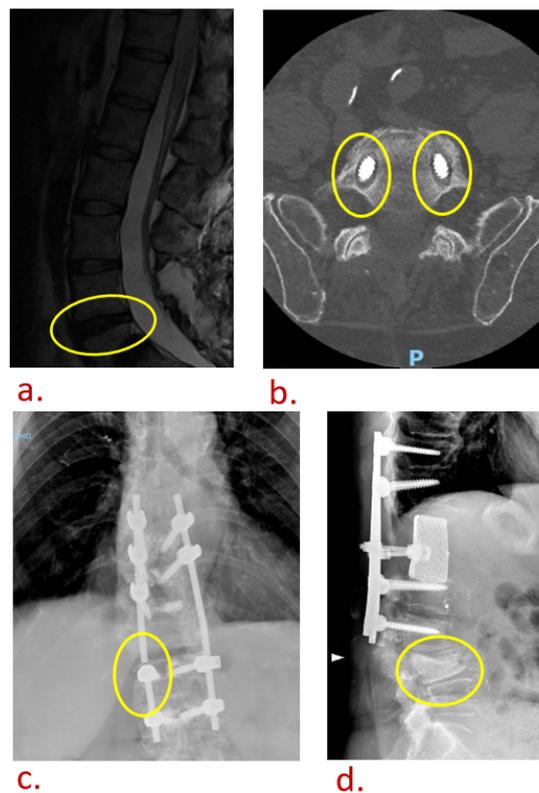


Figura 2.1: *a.* Risonanza magnetica nella quale è evidenziata una discopatia degenerativa *b.* TAC nella quale è evidenziata la mobilizzazione di due viti peduncolari *c.* Radiografia nella quale è evidenziata una rottura delle barre *d.* Radiografia nella quale è evidenziata una frattura vertebrale.

Di ogni paziente sono stati raccolti i seguenti dati demografici e clinici: età, sesso, BMI. Sono stati anche riportati eventuali interventi precedenti o successivi al periodo considerato, le vertebre strumentate e il numero di cage utilizzate. Per i pazienti del GPGD sono stati estratti gli stessi dati anche dall'intervento di fissazione precedente alla revisione, l'intervallo di tempo intercorso tra l'intervento di fissazione e di revisione e il motivo del fallimento.

## 2.1 Software utilizzato per l'estrazione dei parametri spinopelvici

I parametri spinopelvici sono stati misurati da radiografie attraverso il software Surgimap™ (Surgimap Spine Software, Nemaris Inc., New York, USA), che mette a disposizione dell'utente un set di strumenti [Figura 2.2] manuali o automatici per svolgere misurazioni.

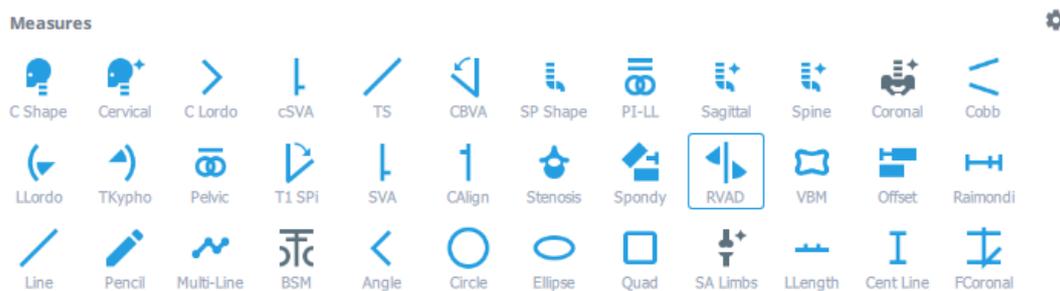


Figura 2.2: Palette di strumenti di misura di Surgimap. [Lafage, 2020]

Tutte le misurazioni effettuate da questi strumenti sono fornite nel sistema metrico quindi millimetri per le distanze, millimetri quadri per le aree e gradi per gli angoli, con i limiti di accuratezza [Lafage, 2020] riportati nella Tabella 2.1.

Tipo di misura	Unità	Errore medio	Deviazione standard	Precision estimator
Distanza	mm	-0.3	0.8	$\pm 1.6$
Angolo	gradi	0.0	0.2	$\pm 0.4$

Tabella 2.1: Limiti di accuratezza di Surgimap. [Lafage, 2020]

Per questa analisi è stato usato lo strumento di default *Coronal Wizard*, che permette all'utente di fare una completa valutazione del piano coronale seguendo un procedimento guidato dall'Help passo a passo. Per l'utilizzo di questo strumento è necessario individuare dei *landmarks* anatomici su S1 e L1 e se l'immagine la contiene anche su T1. Infatti, il primo step dopo aver selezionato lo strumento Coronal è quello di delineare la superficie superiore di S1 e di seguito quella di L1 e se presente T1, dopodiché il sistema compilerà e farà apparire in automatico sull'immagine un segmento per ogni superficie inferiore e superiore di ogni vertebra compresa tra T1 e S1 [Figura 2.3] e una tabella con la lista di tutti i parametri calcolati. Ogni misurazione viene applicata a ciascuna delle tre curve (indicate come *Main curve* MC, *Secondary curve* SC, *Tertiary curve* TC) che è possibile individuare nell'immagine (possono anche venirne identificate meno). Gli estremi di tutti i segmenti, sia quelli definiti dall'utente che quelli generati automaticamente possono essere modificati dall'utente in modo tale che identifichino con la miglior precisione possibile ogni vertebra e descrivano al meglio l'andamento della colonna vertebrale analizzata.

Facendo poi clic con il tasto destro è possibile aggiungere *landmarks* facoltativi come le creste iliache, le teste femorali o le clavicole, in modo che vengano calcolati altri parametri.

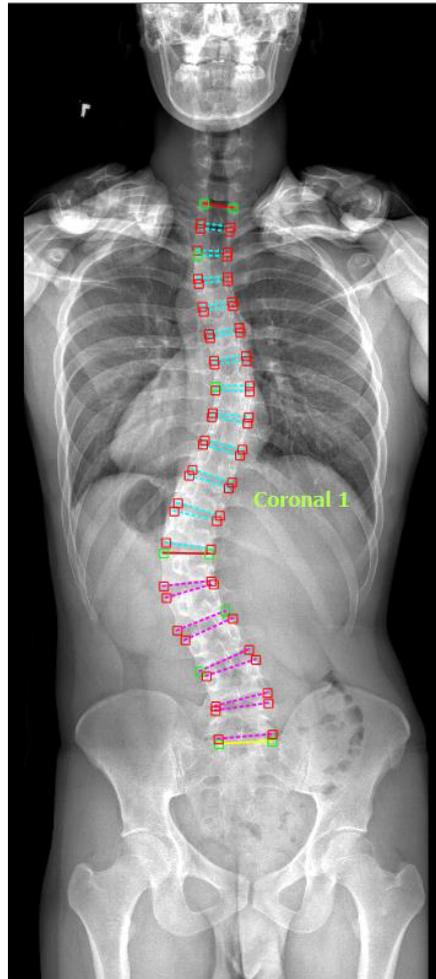


Figura 2.3: Esempio di colonna vertebrale individuata dal comando *Coronal Wizard*. [Lafage, 2020]

## 2.2 Estrazione dei parametri spinopelvici

Per entrambi i gruppi di pazienti, i parametri spinopelvici sono stati estratti da radiografie in vista coronale presentanti il paziente in posizione eretta precedentemente e successivamente all'intervento di fissazione spinale; per il GPGD sono stati estratti parametri anche da radiografie in vista coronale con il paziente in posizione eretta ottenute prima dell'intervento di revisione.

I parametri estratti dal *Coronal wizard* sono:

- **Type:** la tipologia di curva scoliotica:
  - MT (*main thoracic*): toracica
  - L (*lumbar*): lombare
  - TLL (*thoraco-lumbar/lumbar*): toraco-lombare/lombare
  - PT (*proximal thoracic*): toracica prossimale;
- **C7PL** (C7 plumb line): che misura la distanza tra la linea che passa per il centro di C7 (C7PL) e quella a questa parallela ovvero CSVL (*central sacral vertical line*) che passa per il centro di S1;
- **Pelvic Obliquity:** angolo tra l'orizzontale e la linea che congiunge le creste iliache individuate dall'operatore (calcolato solo quando vengono aggiunte le creste iliache);
- **Clavicle Angle:** angolo tra l'orizzontale e la linea che collega l'estremità esterna di ciascuna clavicola individuate dall'operatore (calcolato soltanto se le clavicole sono visibili).
- **Sacral Obliquity:** angolo tra la linea che congiunge i centri delle due teste femorali (individuate dall'operatore) e la perpendicolare alla superficie superiore di S1 (calcolato solo quando vengono aggiunte le teste femorali);
- **T1 Tilt:** angolo tra l'orizzontale e la superficie superiore di T1 (presente solo quando è possibile individuare T1 nell'immagine);
- **Upper/lower:** vertebre inferiore e superiore di ciascuna delle tre curve riconosciute;
- **Cobb:** gli angoli di Cobb di ciascuna delle tre curve misurati tra la vertebra *upper* e quella *lower*;

- **Apex:** apice della curva quindi vertebra che ha la maggior deviazione dalla linea di riferimento (C7PL per curve di tipo MT o PT, e CSVL per curve di tipo L);
- **Apex deviation:** deviazione dell'apice dalla linea di riferimento (C7PL per le curve di tipo MT o PT e CSVL per le curve di tipo L);

Il processo di estrazione dei parametri ha inizio con l'analisi della radiografia preoperatoria tramite Surgimap. In particolare, dopo aver definito l'orientamento coronale dell'immagine, si procede con l'utilizzo dello strumento *Coronal Wizard*: come descritto nel paragrafo precedente, dopo aver individuato le vertebre S1, L1 e T1 e aver modificato manualmente l'identificazione automatica di ogni vertebra, il software calcola la distanza della C7PL dalla CSVL, il T1 tilt e individua le curve scoliotiche, ognuna delle quali descritte dall'angolo di Cobb, dalle vertebre che la limitano (*upper* e *lower*), dal tipo di curva (*type*), dalla vertebra apice (*apex*) e della deviazione della stessa dalla CSVL (*apex deviation*), con il segno positivo se si trova alla sinistra della linea, negativo, invece, se si trova a destra. Successivamente se sono visibili, si identificano le teste femorali, le clavicole e le creste iliache in modo che il sistema calcoli *Pelvic Obliquity*, *Clavicle Angle* e *Sacral Obliquity*.

Nella radiografia post intervento si ripete lo stesso procedimento con lo strumento *Coronal Wizard*. Successivamente, tramite gli strumenti di Surgimap per misurare l'angolo di Cobb e le distanze, si calcolano angolo di Cobb e deviazione dell'apice delle curve individuate nell'analisi della radiografia preoperatoria. Perciò riferendosi ai dati ottenuti dall'analisi della radiografia preoperatoria si calcola l'angolo di Cobb tra il piatto superiore della vertebra definita *upper* e quello inferiore della vertebra *lower* e la deviazione

dell'apice, in modo da poter confrontare le stesse curve nel pre e nel post operatorio.

Questo procedimento è stato seguito per l'estrazione dei parametri dalle radiografie di entrambi i gruppi. Per il GPGD è stata, inoltre, analizzata la radiografia precedente all'intervento revisione e, quando presente, del post revisione nello stesso modo del post intervento.

## 2.3 Analisi dati

Sono state calcolate la media e la deviazione standard delle età di entrambi i gruppi e calcolate le percentuali di minorenni, giovani (tra 19 e 40 anni), adulti (tra 41 e 65 anni) e anziani (maggiori di 65 anni). Lo stesso procedimento è stato applicato per i BMI per i quali la suddivisione è stata effettuata nel seguente modo [OMS, 2022]:

- BMI  $<16 \text{ kg/m}^2$ : grave magrezza;
- $16\text{-}18.49 \text{ kg/m}^2$ : sottopeso;
- $18.5\text{-}24.99 \text{ kg/m}^2$ : normopeso;
- $25\text{-}29.99 \text{ kg/m}^2$ : sovrappeso;
- $>30 \text{ kg/m}^2$ : obesità.

Per il GPGD è stato inoltre calcolato l'intervallo di tempo tra l'intervento di fissazione e la successiva revisione. Sono state poi calcolate il numero medio e la deviazione standard di vertebre strumentate e di cage utilizzate per ogni gruppo.

Per ogni parametro spinopelvico analizzato sono state calcolate media e deviazione standard, inoltre, sono state calcolate le differenze di ogni parametro tra il preoperatorio e il postoperatorio e la media e la deviazione standard di quest'ultima. Le differenze sono state calcolate utilizzando i valori assoluti dei dati, così come le me-

die e le deviazioni standard. Per il GPGD, inoltre, è stata calcolata la differenza dei parametri tra il preoperatorio e il prerevisione e le relative medie e deviazione standard.

Inoltre, i valori dei parametri *C7PL* e *Pelvic Obliquity* sono stati confrontati con i valori di riferimento presenti in letteratura.

## 2.4 Analisi statistica

Sono state svolte analisi statistiche su tutti i dati estratti. In particolare, per ogni parametro è stato svolto un *unpaired t test* per un confronto tra i due gruppi; per i confronti temporali all'interno di uno stesso gruppo è stato utilizzato un *paired t test* per il GC e un *ANOVA test* per il GPGD, seguito in caso di significatività, da *test post hoc* per identificare le differenze tra i gruppi di dati.

Tutti i test sono stati considerati statisticamente significativi con il *p-value* minore di 0.05.



# Capitolo 3

## Risultati

### 3.1 Dati demografici

Dall'analisi di tutti gli interventi, 66 pazienti affetti da scoliosi che hanno subito un intervento di fissazione spinale sono stati inseriti nel gruppo di controllo; tra questi, per 55 erano disponibili le radiografie pre e postoperatorie da cui sono stati estratti i parametri spinopelvici. Nel GDGP sono stati inclusi 31 pazienti di cui 16 con le radiografie pre e postoperatorie e prerevisione.

Il tasso di fallimento degli interventi di fissazione spinale in pazienti affetti da scoliosi a causa di patologia giunzionale distale lombare è stato del 32%.

Il GC è composto da 53 (80.3%) femmine e da 13 (19.7%) uomini, mentre il GPGD è formato da 24 (77.4%) pazienti di sesso femminile e da 7 (22.6%) di sesso maschile.

L'età media al momento dell'intervento era di 31 anni per il GC e di 60 anni per il GPGD, dall'analisi statistica è risultata una differenza statisticamente significativa tra questi valori (*unpaired t test*,  $P < 0.0001$ ) [Grafico 3.1].

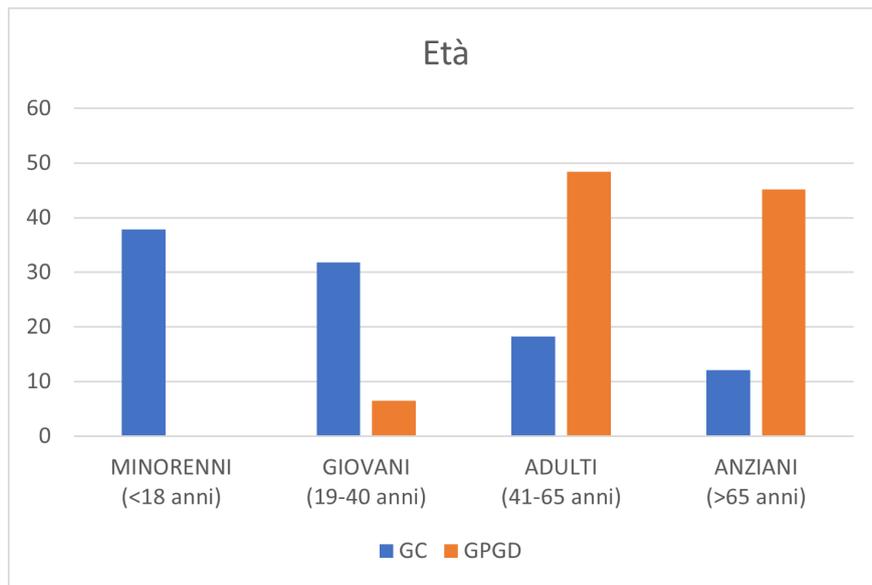


Grafico 3.1: Confronto dell'età dei pazienti nei due gruppi.

Il BMI medio per il gruppo di controllo era di  $20.4 \text{ kg/m}^2$  (normopeso) mentre per il GPGD di  $25.8 \text{ kg/m}^2$  (sovrappeso), anche in questo caso esiste una differenza statisticamente significativa tra queste serie di dati (*unpaired t test*,  $P < 0.0001$ ) [Grafico 3.2]. La distribuzione dell'età e del BMI dei pazienti di entrambi i gruppi è mostrata nella Tabella 3.1.

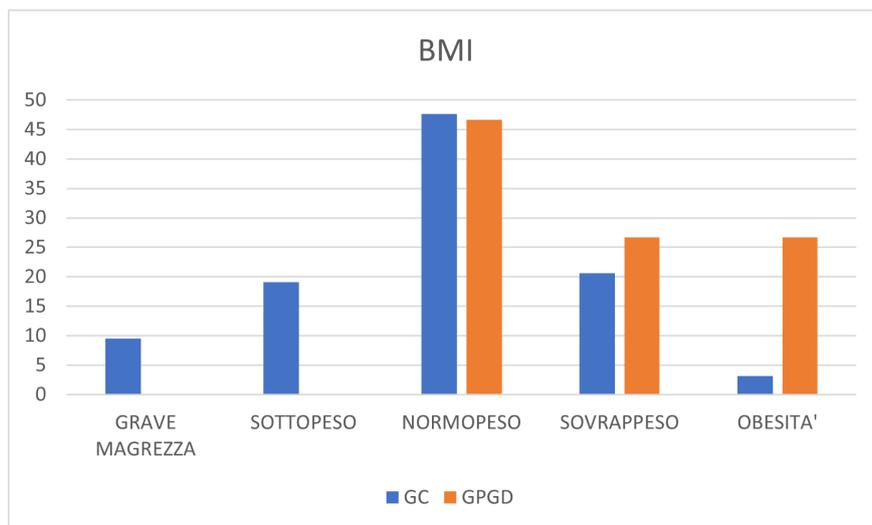


Grafico 3.2: Confronto del BMI dei pazienti nei due gruppi.

	CG		GPGD	
Età	Media $\pm$ Dev.Std. 31 $\pm$ 20		Media $\pm$ Dev.Std. 60 $\pm$ 12	
	N°Pz.	Percentuale	N°Pz.	Percentuale
Minorenni	25	37.9%	0	0.00%
Giovani	21	31.8%	2	6.5%
Adulti	12	18.2%	15	48.4%
Anziani	8	12.1%	14	45.2%
BMI	Media $\pm$ Dev.Std. 20.4 $\pm$ 4.3		Media $\pm$ Dev.Std. 25.8 $\pm$ 8.8	
	N°Pz.	Percentuale	N°Pz.	Percentuale
Grave magrezza	6	9.5%	0	0.0%
Sottopeso	12	19.1%	0	0.0%
Normopeso	30	47.6%	14	46.7%
Sovrappeso	13	20.6%	8	26.7%
Obesità	2	3.2%	8	26.7%

Tabella 3.1: Suddivisione dei pazienti in base all'età e al BMI.

La differenza del numero di vertebre strumentate tra i due gruppi non è risultato statisticamente significativo (*unpaired t test*,  $P=0.082$ ) infatti, per il GC erano in media 11 le vertebre strumentate mentre per il GPGD, 13. Al contrario, il numero di CAGE utilizzate durante l'intervento, 1 di media nel GC e 2 nel GPGD è risultata una differenza statisticamente significativa tra i due gruppi (*unpaired t test*,  $P<0.0001$ ).

L'intervallo di tempo trascorso tra l'intervento di fissazione e la revisione nel GPGD è stato, in media, di 31 mesi, valore che presenta grande variabilità all'interno del gruppo. Il motivo del fallimento dell'intervento è stato nel 50% dei casi la rottura della strumentazione, nel 40% la mobilizzazione delle viti, nel 5% la frattura dell'ultima vertebra strumentata e nel restante 5% una discopatia [Grafico 3.3]. Per 11 pazienti il fallimento è stato causato da due motivi contemporaneamente, in particolare, 9 per contemporanea rottura delle barre e mobilizzazione delle viti e i restanti 2 a causa della frattura dell'ultima vertebra strumentata e di una concomitante mobilizzazione delle viti.

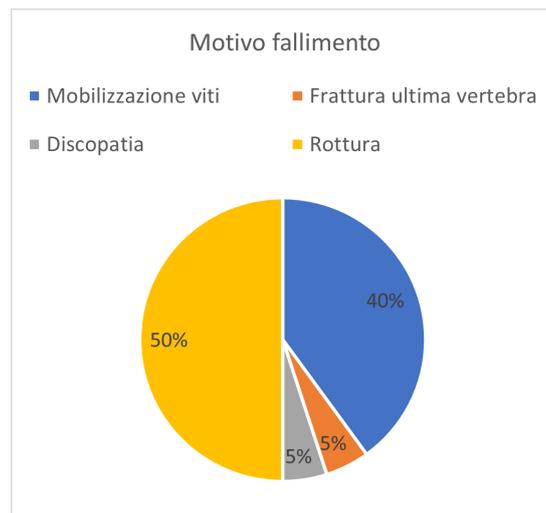


Grafico 3.3: Cause del fallimento dell'intervento di fissazione nei pazienti del GPGD.

## 3.2 Parametri coronali

I parametri spinopelvici estratti dalle radiografie pre e postintervento nel GC sono riportati nella Tabella 3.2. Inoltre, per ogni parametro è riportata anche la differenza tra il pre e il postintervento (correzione).

GC	Preint.	Postint.	Correzione
C7PL (mm)	23.3 ± 23.2	20.0 ± 15.1	22.3 ± 21.4
Pelvic Obliquity (°)	2.9 ± 5.5	1.9 ± 1.5	2.0 ± 4.8
Clavicle Angle (°)	2.0 ± 2.1	2.2 ± 1.5	3.6 ± 2.8
Sacral Obliquity (°)	3.1 ± 3.4	3.4 ± 3.3	2.8 ± 2.3
T1 Tilt (°)	5.1 ± 4.7	5.6 ± 7.3	5.0 ± 6.6
Angolo di Cobb Main Curve (°)	53.6 ± 20.3	16.7 ± 10.3	37.0 ± 17.4
Angolo di Cobb Second Curve (°)	38.6 ± 16.2	14.4 ± 9.4	25.4 ± 12.6
Angolo di Cobb Third Curve (°)	21.5 ± 10.8	8.2 ± 6.7	13.8 ± 9.2
Apex Deviation Main Curve (mm)	49.2 ± 24.7	18.6 ± 12.1	34.2 ± 20.1
Apex Deviation Second Curve (mm)	20.7 ± 22.0	13.7 ± 11.0	17.2 ± 21.7
Apex Deviation Third Curve (mm)	12.0 ± 12.7	12.0 ± 13.4	12.2 ± 13.0

Tabella 3.2: Parametri spinopelvici (media ± deviazione standard) estratti dalle radiografie dei pazienti del GC.

Le curve principali (*main curves*) che sono state corrette nel gruppo di controllo erano per il 49.1% lombari, per il 43.6% toraciche e per il restante 7.3% toraco-lombari. Il 50.9% delle curve secondarie (*second curves*) erano lombari, il 35.9% toraciche, il 9.4% toraciche prossimali e il 3.8% toraco-lombari. Per quanto riguarda le curve terziarie *third curves*, per il 46.2% si trattava di curve to-

raciche prossimali, per il 40.4% di lombari, per il 9.6% di toraciche e per il 3.8% di toraco-lombari.

I parametri estratti dalle radiografie pre, postintervento e pre-revisione nel GPGD sono riportati nella Tabella 3.3.

GPGD	Preint.	Postint.	Prerev.
C7PL (mm)	$34.1 \pm 21.3$	$18.2 \pm 19.1$	$25.7 \pm 26.6$
Pelvic Obliquity ( $^{\circ}$ )	$1.9 \pm 2.1$	$2.4 \pm 1.8$	$1.5 \pm 1.8$
Clavicle Angle ( $^{\circ}$ )	$1.2 \pm 1.6$	$1.7 \pm 1.9$	$1.0 \pm 1.3$
Sacral Obliquity ( $^{\circ}$ )	$3.8 \pm 4.7$	$3.3 \pm 4.4$	$2.4 \pm 3.7$
T1 Tilt ( $^{\circ}$ )	$4.3 \pm 3.2$	$4.4 \pm 3.2$	$3.1 \pm 3.8$
Angolo di Cobb Main Curve ( $^{\circ}$ )	$30.9 \pm 17.3$	$16.1 \pm 10.5$	$15.0 \pm 12.9$
Angolo di Cobb Second Curve ( $^{\circ}$ )	$21.1 \pm 12.7$	$11.2 \pm 7.3$	$11.1 \pm 8.4$
Angolo di Cobb Third Curve ( $^{\circ}$ )	$11.1 \pm 11.1$	$4.8 \pm 5.8$	$3.8 \pm 6.1$
Apex Deviation Main Curve (mm)	$34.6 \pm 20.3$	$20.1 \pm 18.2$	$17.2 \pm 14.2$
Apex Deviation Second Curve (mm)	$17.7 \pm 16.7$	$9.5 \pm 11.8$	$8.9 \pm 14.0$
Apex Deviation Third Curve (mm)	$8.0 \pm 17.6$	$3.5 \pm 6.9$	$6.1 \pm 12.9$

Tabella 3.3: Parametri spinopelvici (media  $\pm$  deviazione standard) estratti dalle radiografie dei pazienti del GPGD.

Nella Tabella 3.4 sono riportati i valori della differenza tra pre e postintervento (correzione), della differenza tra preintervento e prerevisione e della differenza tra postintervento e prerevisione.

	Correzione	Differenza preint.-prerev.	Differenza postint.-prerev
C7PL (mm)	$26.2 \pm 20.0$	$23.1 \pm 20.5$	$20.4 \pm 18.2$
Pelvic Obliquity ( $^{\circ}$ )	$1.3 \pm 1.0$	$0.9 \pm 0.7$	$1.1 \pm 0.7$
Clavicle Angle ( $^{\circ}$ )	$1.5 \pm 1.5$	$2.4 \pm 1.7$	$2.3 \pm 1.6$
Sacral Obliquity ( $^{\circ}$ )	$3.6 \pm 3.2$	$1.9 \pm 3.1$	$2.3 \pm 2.1$
T1 Tilt ( $^{\circ}$ )	$2.3 \pm 2.6$	$3.4 \pm 2.9$	$2.9 \pm 2.1$
Angolo di Cobb Main Curve ( $^{\circ}$ )	$15.6 \pm 12.7$	$15.4 \pm 12.8$	$4.9 \pm 3.5$
Angolo di Cobb Second Curve ( $^{\circ}$ )	$11.4 \pm 8.7$	$12.2 \pm 9.4$	$6.1 \pm 4.7$
Angolo di Cobb Third Curve ( $^{\circ}$ )	$6.9 \pm 6.9$	$6.2 \pm 6.7$	$2.0 \pm 2.8$
Apex Deviation Main Curve (mm)	$17.4 \pm 14.4$	$18.2 \pm 14.9$	$13.6 \pm 10.0$
Apex Deviation Second Curve (mm)	$14.9 \pm 14.9$	$9.0 \pm 8.8$	$8.7 \pm 11.4$
Apex Deviation Third Curve (mm)	$11.0 \pm 15.7$	$17.6 \pm 18.7$	$4.7 \pm 10.5$

Tabella 3.4: Correzione (differenza tra preintervento e postintervento), differenza preintervento-prerevisione e differenza postintervento-prerevisione (media  $\pm$  deviazione standard) dei parametri spinopelvici estratte dalle radiografie nei pazienti del GPGD.

Le curve principali corrette con l'intervento di fissazione nel GPGD erano principalmente lombari (68.8%), così come quelle terziarie (63.6%), mentre quelle secondarie erano prevalentemente toraciche (66.7%). Le curve corrette durante la revisione hanno mantenuto le stesse tipologie com'è possibile notare dalla Tabella 3.5.

		Preintervento	Prerevisione
MC	Toracica	18.8%	7.7%
	Lombare	68.8%	76.9%
	Toraco-lombare	12.5%	7.7%
	Toracica prossimale	0%	7.7%
SC	Toracica	66.7%	60.0%
	Lombare	26.7%	20.0%
	Toraco-lombare	0%	20.0%
	Toracica prossimale	6.667%	0%
TC	Toracica	18.2%	16.7%
	Lombare	63.6%	50.0%
	Toraco-lombare	0%	0%
	Toracica prossimale	18.2%	33.3%

Tabella 3.5: Tipologie delle curve scoliotiche del GPGD.

### 3.2.1 C7PL

L'analisi della C7PL ha dimostrato che lo sbilanciamento iniziale era maggiore nel GPGD così come la correzione che è stata effettuata, ottenendo così una media postintervento maggiore nel GC [Grafico 3.4]. Riferendosi ai range di letteratura per cui un valore di  $C7PL > 30\text{mm}$  equivale a uno sbilanciamento coronale [Lowe et al., 2006a; Bao et al., 2016; Zhang et al., 2022], nel GC, il 22.6% dei pazienti è risultato sbilanciato nel preintervento, il 27.0% nel postintervento. Il GPGD, invece, nel preintervento ha presentato una percentuale maggiore di pazienti sbilanciati (50.0%), e una minore dopo l'intervento (25.0%) che è tornata a salire (38.5%) prima della revisione.

Il confronto tra i valori di C7PL nei due gruppi nel pre e postintervento non è risultato statisticamente significativo (*unpaired t test*,  $P=0.10$  e  $P=0.69$  rispettivamente), così come il confronto dei valori pre e postoperatori all'interno del GC (*paired t test*,  $P=0.32$ ), mentre sono risultati statisticamente differenti (*ANO-*

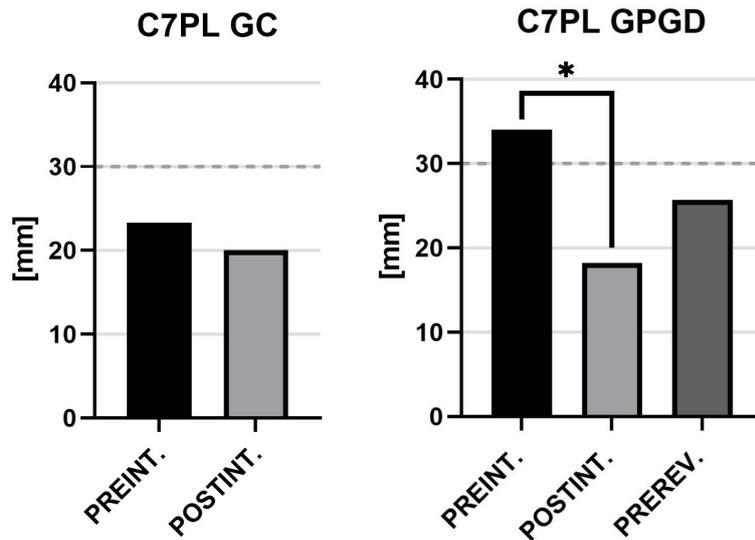


Grafico 3.4: *Sinistra*: valori medi di C7PL prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi di C7PL prima e dopo l'intervento e prima dell'intervento di revisione nel GPGD.

L'asterisco indica una significatività statistica con  $P < 0.05$ .

*VA test*,  $P=0.0280$ ) i valori del pre e postintervento all'interno del GPGD.

### 3.2.2 Pelvic Obliquity

L'angolo di *Pelvic Obliquity* (PO) preintervento nel GC è risultato maggiore rispetto a quello del GPGD [Grafico 3.5], il gruppo di controllo, è stato anche sottoposto a una correzione maggiore ma non sono risultati statisticamente significativi i valori pre e postintervento (*paired t test*,  $P=0.1230$ ). Per quanto riguarda il GPGD, l'intervento ha portato ad un aumento non significativo (*ANOVA test*,  $P=0.4270$ ) del valore di PO da  $1.9^\circ$  a  $2.4^\circ$ . Anche il confronto tra il pre (*unpaired t test*,  $P=0.6306$ ) e postintervento (*unpaired t test*,  $P=0.1460$ ) tra i due gruppi non è risultato statisticamente significativo.

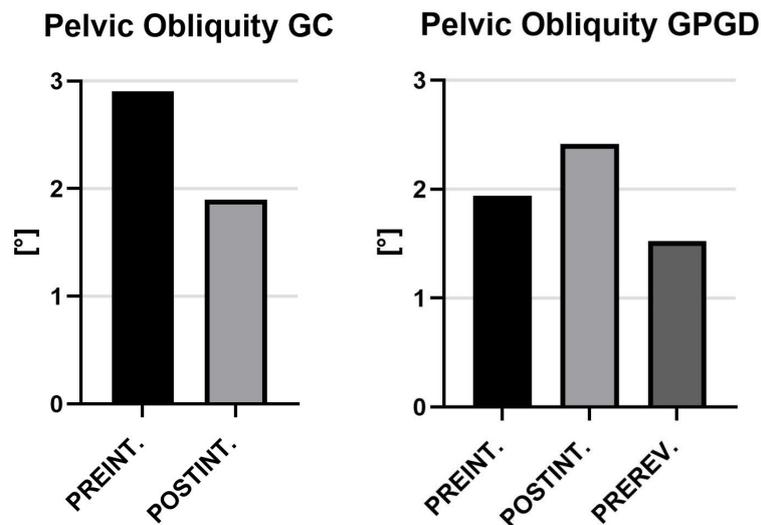


Grafico 3.5: *Sinistra*: valori medi di *Pelvic Obliquity* prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi di *Pelvic Obliquity* prima e dopo l'intervento, e prima dell'intervento di revisione nel GPGD. L'asterisco indica una significatività statistica con  $P < 0.05$ . Tutte le medie risultano inferiore alla soglia descritta in letteratura.

Nel GC, il 9.3% dei pazienti prima dell'intervento presentava un angolo di PO maggiore di  $5^\circ$ , valore che in letteratura [Hägglund, 2020] indica lo sbilanciamento, per arrivare al 3.6% successivamente all'intervento. Nel GPGD un solo paziente presentava un angolo maggiore di  $5^\circ$ , angolo che si è mantenuto fuori soglia in tutte le sue radiografie analizzate.

### 3.2.3 Clavicle Angle

Analizzando il *Clavicle Angle* (CA), è stato possibile notare un aumento della media in entrambi i gruppi tra il pre e il postintervento [Grafico 3.6], in entrambi i casi questo aumento non risulta statisticamente significativo (GC: *paired t test*,  $P=0.9469$ , GPGD: *ANOVA test*  $P=0.4478$ ). La correzione conseguente all'operazione

è stata maggiore nel GC ( $3.5^\circ$ ) rispetto all'altro gruppo ( $1.5^\circ$ ). Anche confrontando i dati tra i due gruppi non sono risultate differenze significative.

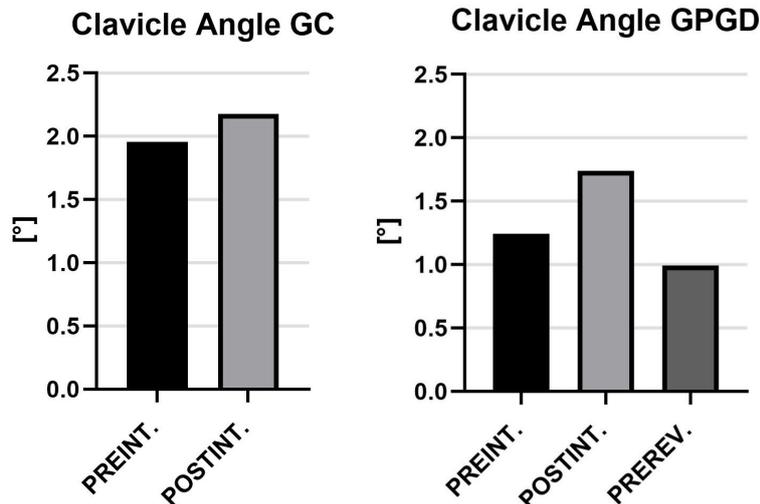


Grafico 3.6: *Sinistra*: valori medi di *Clavicle Angle* prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi di *Clavicle Angle* prima e dopo l'intervento, e prima dell'intervento di revisione nel GPGD. L'asterisco indica una significatività statistica con  $P < 0.05$ .

### 3.2.4 Sacral Obliquity

Il valore medio dell'angolo di *Sacral Obliquity* preintervento è risultato essere minore nel GC ( $3.1^\circ$ ) rispetto al GPGD ( $3.8^\circ$ ) [Grafico 3.7], ma in quest'ultimo caso si è registrato un aumento nel postoperatorio ( $3.4^\circ$ ), cosa che non è accaduta nell'altro gruppo. L'analisi statistica non ha riportato significatività in nessun confronto riguardante questo parametro.

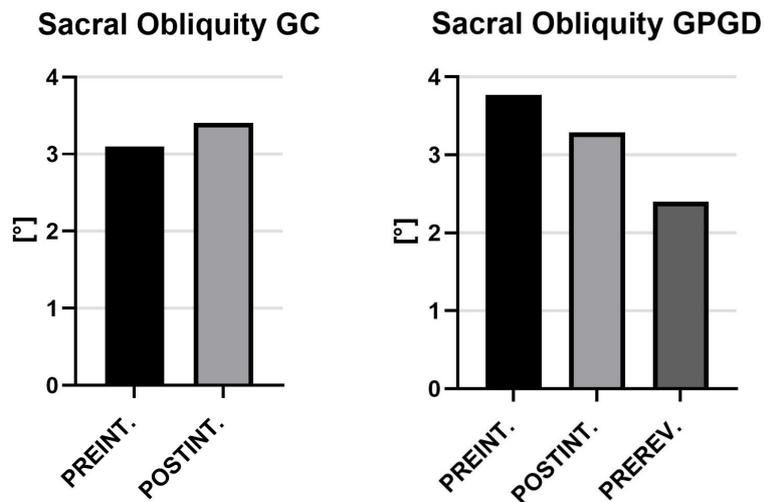


Grafico 3.7: *Sinistra*: valori medi di *Sacral Obliquity* prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi di *Sacral Obliquity* prima e dopo l'intervento, e prima dell'intervento di revisione nel GPGD.

### 3.2.5 T1 Tilt

Per quanto riguarda il *T1 Tilt*, è stato possibile notare che i valori del GC sono risultati maggiori rispetto al GPGD sia prima che dopo l'intervento di fissazione [Grafico 3.8] così come la correzione effettuata con l'intervento. Anche in questo caso non sono state osservate differenze statisticamente significative, né all'interno dei due gruppi né tra i due gruppi.

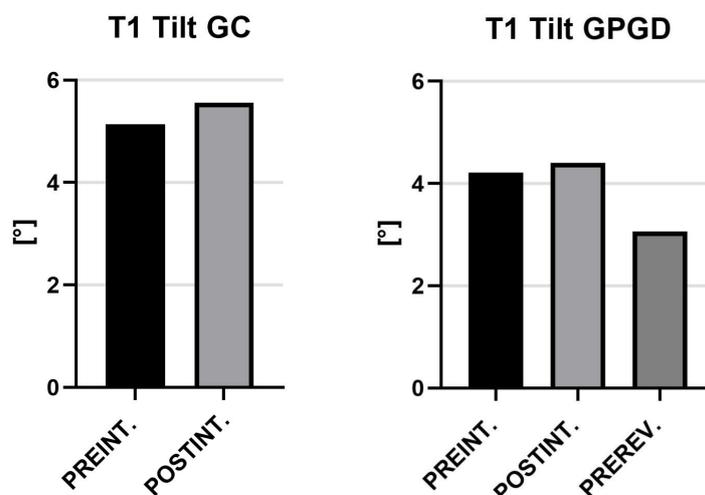


Grafico 3.8: *Sinistra*: valori medi di *T1 Tilt* prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi di *T1 Tilt* prima e dopo l'intervento, e prima dell'intervento di revisione nel GPGD.

### 3.2.6 Angoli di Cobb

È stato possibile osservare un andamento comune dell'angolo di Cobb nelle tre curvature: tutte hanno mostrato valori maggiori nel GC, rispetto al GPGD, nel preoperatorio. Il GC ha subito una maggiore correzione, con conseguente diminuzione del valore degli angoli, che ha portato i due gruppi ad avere valori simili nel post operatorio [Grafico 3.9, Grafico 3.10, Grafico 3.11]. È risultato statisticamente significativo all'interno del GC, il confronto tra il pre e il postintervento [Tabella 3.6], così come nel GPGD al cui interno è risultata statisticamente significativa anche la differenza tra il preintervento e prerevisione [Tabella 3.7]. Inoltre sono risultati statisticamente significativi anche i confronti dei valori preintervento tra i due gruppi [Tabella 3.8] e i confronti delle correzioni effettuate durante l'intervento alla curva principale e alla secondaria (*unpaired t test*,  $P < 0.0001$ ).

GC	MC	SC	TC
Preint.-Postint.	P<0.0001	P<0.0001	P<0.0001

Tabella 3.6: Risultati analisi statistica (*unpaired t test*) sugli angoli di Cobb di MC, SC, TC all'interno del GC.

GPGD	ANOVA	Test Post Hoc		
		Preint.-Postint.	Preint.-Prerev.	Postint.-Prerev.
MC	P<0.0001	P=0.0003	P=0.0003	ns
SC	P=0.0009	P=0.0008	P=0.017	ns
TC	P<0.0001	P=0.0002	P=0.0002	

Tabella 3.7: Risultati analisi statistica (*ANOVA test* e *test post hoc*) sugli angoli di Cobb di MC, SC, TC all'interno del GPGD. Ns significa  $P>0.05$ .

		GPGD	
		Preint.	Postint.
GC	Preint.	MC P=0.0002 SC P=0.0007 TC P=0.0298	-
	Postint.	-	MC ns SC ns TC ns

Tabella 3.8: Risultati analisi statistica (*unpaired t test*) sugli angoli di Cobb in MC, SC e TC tra i due gruppi nel pre e postoperatorio. Ns significa  $P>0.05$

Grazie al segno dell'angolo di Cobb è possibile capire l'orientamento della curva scoliotica, come è possibile osservare dalla Tabella 3.9, non c'è stato un orientamento prevalente nei due gruppi e la percentuale è rimasta circa costante prima e dopo l'intervento.

La curva terziaria era presente ed è stata riconosciuta e analizzata in 51 pazienti del GC e in 10 pazienti del GPGD.

		GC		GPGD		
		Preint.	Postint.	Preint.	Postint.	Prerev.
MC	SX	64%	65%	38%	38%	46%
	DX	36%	35%	62%	62%	54%
SC	SX	37%	39%	67%	60%	58%
	DX	63%	61%	33%	40%	42%
TC	SX	23%	22%	37%	45%	44%
	DX	77%	78%	64%	55%	56%

Tabella 3.9: Orientamento delle curve scoliotiche.

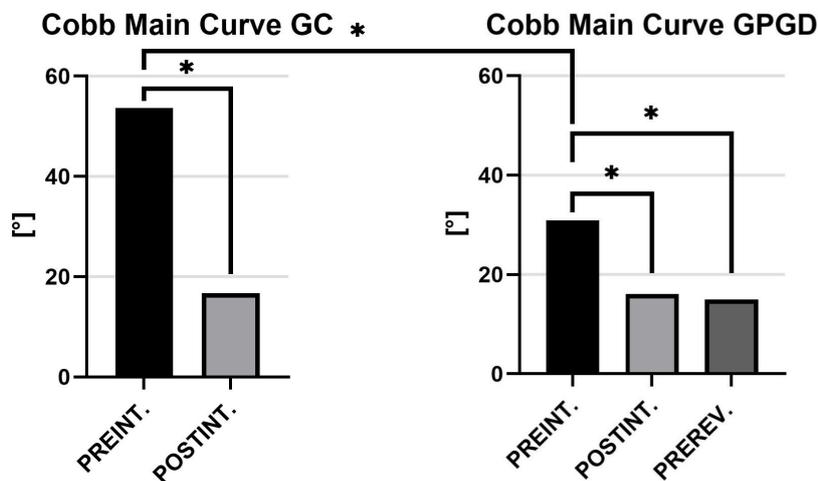


Grafico 3.9: *Sinistra*: valori medi dell'angolo di Cobb della curva primaria prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi dell'angolo di Cobb della curva primaria prima e dopo l'intervento e prima dell'intervento di revisione nel GPGD.

L'asterisco indica una significatività statistica con  $P < 0.05$ .

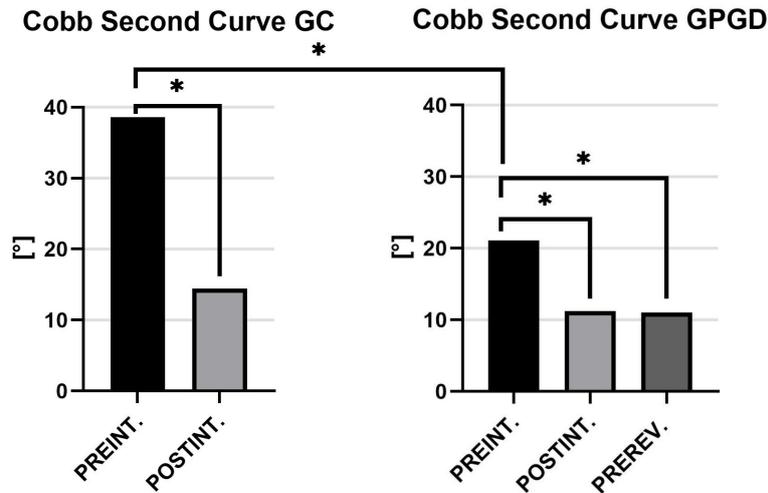


Grafico 3.10: *Sinistra*: valori medi dell'angolo di Cobb della curva secondaria prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi dell'angolo di Cobb della curva secondaria prima e dopo l'intervento e prima dell'intervento di revisione nel GPGD.

L'asterisco indica una significatività statistica con  $P < 0.05$ .

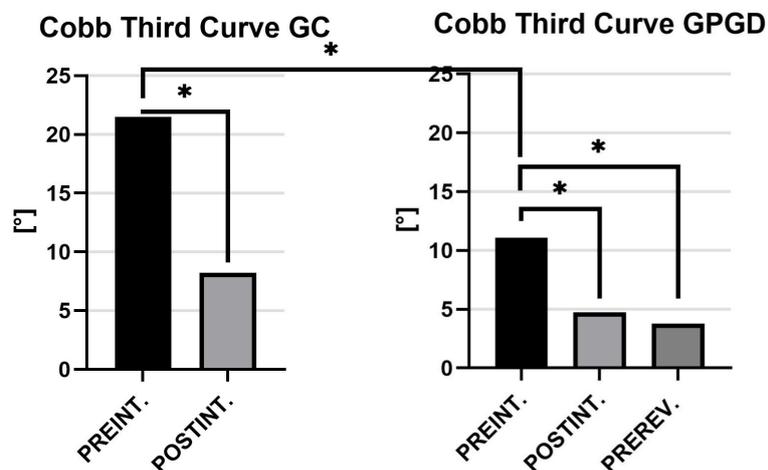


Grafico 3.11: *Sinistra*: valori medi dell'angolo di Cobb della curva terziaria prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi dell'angolo di Cobb della curva terziaria prima e dopo l'intervento e prima dell'intervento di revisione nel GPGD.

L'asterisco indica una significatività statistica con  $P < 0.05$ .

### 3.2.7 Apex deviation

I pazienti appartenenti al GC hanno presentato deviazioni dell'apice (*apex deviation*, DA) maggiori di quelli appartenenti al GPGD (MC: GC DA=49.2mm GPGD DA=34.6mm, SC: GC DA=20.7mm GPGD DA=17.7mm, TC: GC DA=12.0mm GPGD DA=8.0mm). La deviazione dell'apice è risultata statisticamente significativa tra i due gruppi prima dell'intervento di fissazione solamente nella curva principale (*unpaired t test*,  $P=0.036$ ).

Il valore medio della deviazione dell'apice è diminuita dopo l'intervento per entrambi i gruppi e in tutte le curve, pur rimanendo minore nel GPGD (MC: GC DA=18.6mm GPGD DA=20.1 mm, SC: GC DA=13.7mm GPGD DA=9.5mm, TC: GC DA=12.0 mm GPGD DA=3.4mm) [Grafico 3.12, Grafico 3.13, Grafico 3.14]. Nonostante ciò nel GC si registra una correzione maggiore (MC: GC correzione=34.2mm GPGD correzione=17.4mm, SC: GC correzione=17.2 mm GPGD correzione=14.9mm, TC: GC correzione=12.2 mm GPGD correzione=11.0mm).

Confrontando i valori relativi alle variazioni della deviazione dell'apice nel tempo nel GC usando il *paired T-test* sono stati ottenuti valori statisticamente significativi nella curva primaria ( $P<0.0001$ ) e nella curva secondaria ( $P=0.0089$ ).

I dati del GPGD sono stati analizzati con l'*ANOVA test* e sono state trovate differenze statisticamente significative nella curva primaria ( $P=0.0035$ ) e secondaria ( $P=0.017$ ), in particolare, con l'analisi *post hoc* sono state osservate differenze statisticamente significative nella curva primaria tra pre e postintervento ( $P=0.004$ ) e preintervento e prerevisione ( $P=0.029$ ) e nella curva secondaria tra pre e postintervento ( $P=0.022$ ).

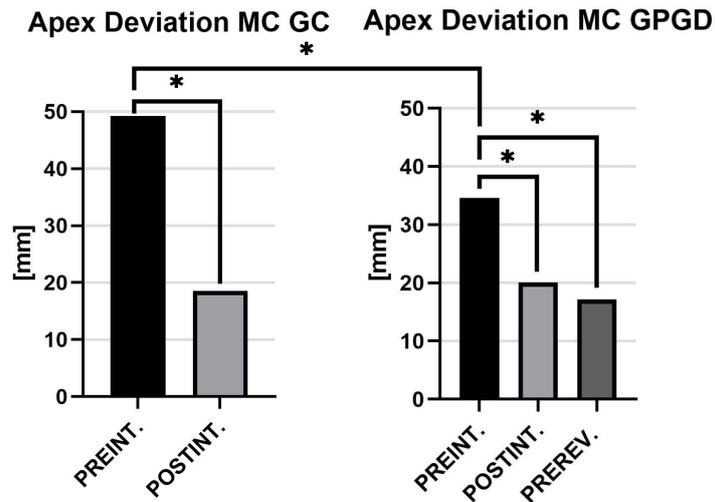


Grafico 3.12: *Sinistra*: valori medi della deviazione dell'apice della curva primaria prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi della deviazione dell'apice della curva primaria prima e dopo l'intervento e prima dell'intervento di revisione nel GPGD. L'asterisco indica una significatività statistica con  $P < 0.05$ .

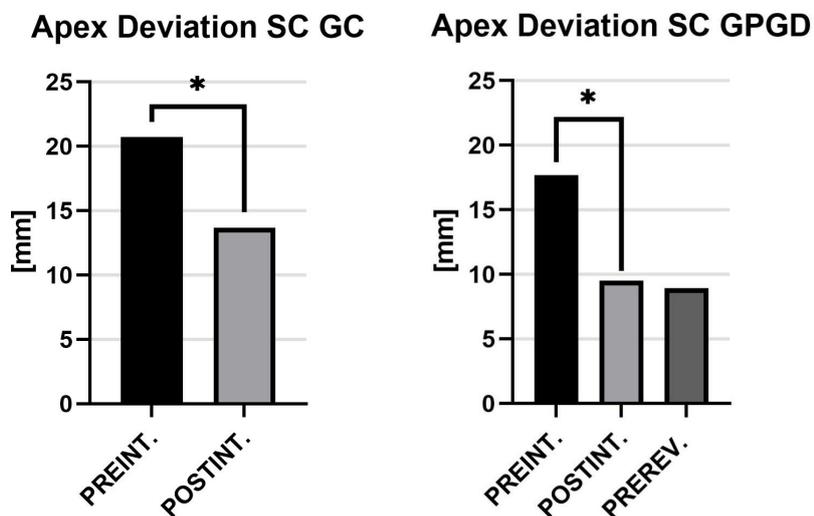


Grafico 3.13: *Sinistra*: valori medi della deviazione dell'apice della curva secondaria prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi della deviazione dell'apice della curva secondaria prima e dopo l'intervento e prima dell'intervento di revisione nel GPGD. L'asterisco indica una significatività statistica con  $P < 0.05$ .

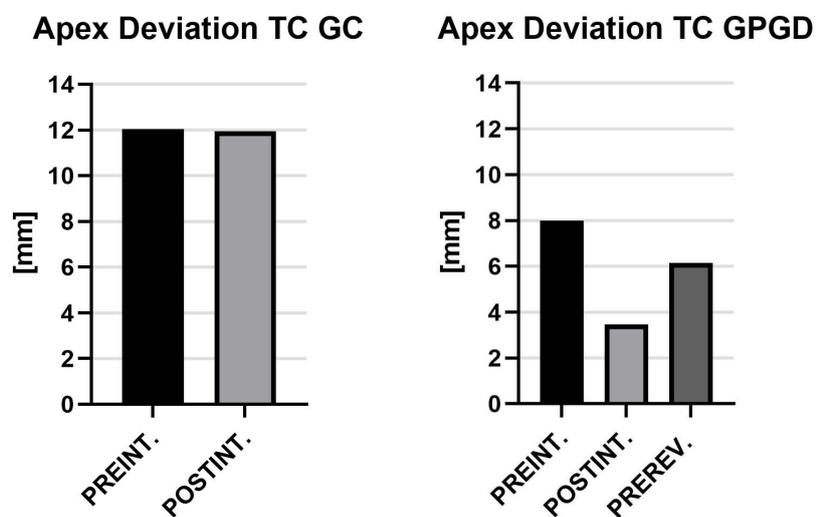


Grafico 3.14: *Sinistra*: valori medi della deviazione dell'apice della curva terziaria prima e dopo l'intervento nel GC. *Destra*: valori medi della deviazione dell'apice della curva terziaria prima e dopo l'intervento e prima dell'intervento di revisione nel GPGD.



## Capitolo 4

# Discussione

I risultati presentati hanno mostrato, in primo luogo, l'importanza dell'età del paziente al momento dell'intervento di fissazione. In particolare, sembra che un minorenne o un giovane affetto da scoliosi e sottoposto a un intervento di fissazione abbia minori probabilità di andare incontro a un fallimento rispetto a un adulto o un anziano, in quanto, lo 0% dei minorenni e l'8.7% dei giovani presenti in questo studio è andato incontro a fallimento, mentre sono falliti il 55.6% degli adulti e il 63.6% del totale degli anziani. In letteratura il trattamento chirurgico della scoliosi è associato ad un'alta incidenza di complicazioni, ma i vari studi sono incentrati su diversi tipi di complicazioni e l'eterogeneità delle eziologie e delle coorti dei pazienti rende difficile trarre conclusioni definitive. Lo studio di Daubs et al., 2007 (che ha ottenuto un tasso di fallimento del 39% su 46 pazienti di età superiore a 60 anni) indicherebbe un'età superiore a 69 anni come indice predittore di complicazioni, valori che sono in accordo con quanto trovato in questo studio. Altri studi, al contrario, presentano coorti di pazienti con un'età media minore e un tasso di fallimento maggiore: Simmons et al., 1993, hanno studiato una serie di 49 pazienti con età media di 44 anni e una

percentuale di fallimento del 41%; Swank et al., 1981, hanno valutato un'ampia serie di 222 pazienti con scoliosi trovando un tasso di complicanze del 53% con un'età media di 31 anni e infine, lo studio di Charosky et al., 2012, ha riportato una percentuale di fallimento del 39% in pazienti con un'età media di 63 anni. In questo studio, il tasso di fallimento degli interventi di fissazione spinale in pazienti affetti da scoliosi a causa di patologia giunzionale distale lombare è stato del 32%. Risulta in ogni caso complesso fare confronti tra le percentuali di fallimento dei diversi studi in quanto ognuno assume come fallimento cause differenti [Weiss et al., 2008], in particolare non siamo a conoscenza di studi su fallimento a causa dello sviluppo della patologia giunzionale distale. Sono però presenti in letteratura studi che si focalizzano sulla cifosi giunzionale distale e nei quali l'incidenza della patologia è inferiore a quella riportata in questo studio (il 15% dei pazienti dello studio di Ghasemi et al., 2017 e il 14.7% per quello di Lowe et al., 2006b).

Il sesso, al contrario, sembra non essere un indicatore di fallimento in quanto il sesso femminile è risultato essere prevalente in entrambi i gruppi, indice solo del fatto che le donne sono più propense ad essere affette da una scoliosi che necessita di un intervento.

Analizzando il BMI dei due gruppi, è risultato che appartenevano prevalentemente a due fasce differenti: in particolare, il BMI dei pazienti del GC rientrava nella fascia del normopeso e quello dei pazienti del GPGD a quella del sovrappeso. Questo sembrerebbe quindi indicare che i pazienti in sovrappeso potrebbero avere una propensione verso il fallimento. La letteratura si divide in merito all'incidenza del BMI anche se la maggior parte degli studi di concentra sui pazienti patologicamente obesi. Ramos et al., 2017, e Joseph et al., 2019, per esempio, affermano che, in base ai loro

---

risultati, il BMI potrebbe essere significativamente associato con gli esiti a lungo e breve termine di interventi di fusione spinale di lunghi segmenti. Al contrario, Fu et al., 2014 concludono che il BMI non incide sulla correzione della deformità e non aumenta il tasso di complicazioni postoperatorie. Anche Seicean et al., 2014, sostengono che il BMI potrebbe impattare l'esito di un intervento spinale solo se associato ad altre comorbidità.

Gli interventi presi in considerazione in questo studio hanno fatto uso di una strumentazione mediamente molto lunga, sia nel GC che nel GPGD. La letteratura concorda che il rischio di complicazioni sia direttamente proporzionale con la lunghezza della strumentazione [Charosky et al., 2012; Mok et al., 2009; Raffo et al., 2006].

Inoltre, anche il numero di cage inserite durante l'intervento pare possa essere associato a un successivo fallimento, ma in letteratura l'argomento è fortemente discusso.

L'analisi dei risultati del parametro C7PL potrebbe suggerire che uno sbilanciamento (il paziente si considera sbilanciato quando il valore assoluto del parametro risulta maggiore di 30mm [Lowe et al., 2006a; Bao et al., 2016; Zhang et al., 2022]) preoperatorio possa essere indice di una maggiore probabilità di fallimento, nonostante il fatto che durante l'intervento sia stato ripristinato l'equilibrio sul piano coronale, portando, nel postoperatorio la media di questo parametro all'interno del range di equilibrio. Lo sbilanciamento segue poi un trend di crescita fino al momento della revisione.

Il *Pelvic Obliquity* è considerato un parametro importante in termini di pianificazione preoperatoria, processo decisionale intraoperatorio e valutazione post-operatoria del successo chirurgico [Chan et al., 2019; Karkenny et al., 2021]. In questo studio, però, questo parametro non è sembrato avere un ruolo predittore, anche se

è stato possibile notare che presentava andamenti opposti nei due gruppi: nel GC è diminuito dopo l'intervento, mentre nel GPGD è aumentato dopo l'intervento per poi diminuire nuovamente prima della revisione. Questo potrebbe essere spiegato dallo studio di Radcliff et al., 2013, che afferma che il PO potrebbe descrivere un meccanismo compensatorio della scoliosi o che viceversa la scoliosi sia un meccanismo compensatorio del PO.

Il *Clavicle Angle* è uno degli indicatori per l'equilibrio delle spalle, ma in letteratura è spesso correlato ad altri parametri [Ono et al., 2012; Liu et al., 2017; Menezes et al., 2019]. In questo studio, questo parametro non è risultato correlato al rischio di fallimento, quanto in entrambi i gruppi hanno mostrato lo stesso trend crescente dopo l'intervento e la variazione media è stata in entrambi i gruppi molto piccola.

Allo stesso modo dei due precedenti parametri, anche i dati raccolti riguardo al *Sacral Obliquity* non hanno mostrato differenze significative: pare, perciò, che anch'esso non abbia un ruolo predittore del fallimento della fusione spinale. Questo parametro non è analizzato negli studi precedenti in letteratura.

Il *T1 tilt* è un altro indicatore dell'equilibrio delle spalle ma con un'influenza maggiore sulla curva toracica prossimale rispetto al CA [Matsumoto et al., 2014]. In questo studio risulta poco significativo rispetto al fallimento della fissazione spinale.

Analizzando il trend di questi parametri nei due gruppi, e in particolare facendo riferimento ai valori maggiori che in media sono stati trovati nel GC si potrebbe ipotizzare che questi parametri possano riflettere dei meccanismi compensatori messi in atto dal paziente per sopperire al mancato equilibrio e che vanno a proteggere la stabilità anche dopo l'intervento, contribuendo alla riuscita dell'intervento.

L'analisi dei risultati degli angoli di Cobb, di tutte e tre le curve, ha evidenziato una differenza significativa tra i due gruppi nel pre-intervento: in particolare, la media dell'angolo di Cobb delle curve dei pazienti del GC è risultata sempre maggiore rispetto a quella del GPGD. In letteratura viene consigliato l'intervento di fusione spinale come terapia per la scoliosi per curve con un angolo di Cobb maggiori di  $40^\circ$  in pazienti scheletricamente immaturi e di  $50^\circ$  per gli altri [Grassi et al., 2021; Friedman, 2003] o, in generale, angoli maggiori di  $45/50^\circ$  [Maruyama et al., 2008]. Questo potrebbe spiegare perché le fusioni del GC, la cui media dell'angolo di Cobb della *main curve* preintervento apparteneva all'intervallo consigliato per l'intervento, non sono fallite, al contrario di quelle del GPGD, la cui media era minore di  $40^\circ$ . Non è invece risultata nessuna differenza significativa tra i due gruppi nel postintervento, indice di un'ininfluenza dell'angolo che si raggiunge in seguito all'operazione di fusione. In entrambi i gruppi la correzione, nonostante sia risultata significativa, non è stata sufficiente a riportare la curva sotto la soglia descritta in letteratura per la scoliosi, ovvero  $10^\circ$  [Grassi et al., 2021; Friedman, 2003].

Anche nel caso della *secondary curve*, la media dei valori dell'angolo di Cobb precedenti all'intervento nel GC è risultata significativamente maggiore di quella dell'altro gruppo. Osservando la Tabella 3.9, è possibile notare che la curva secondaria presentava orientamento opposto alla primaria, indicando così una sorta di compensazione. Dai risultati ottenuti, potrebbe quindi sembrare che la combinazione di curva primaria e secondaria con angolo di Cobb elevato e orientamento opposto tra loro possano avere un impatto migliore sull'intervento.

I valori che sono risultati dall'analisi della deviazione dell'apice sembrano confermare quanto detto per gli angoli di Cobb, infatti il

valore del preintervento della deviazione dell'apice della *main curve* del GC anche in questo caso è significativamente maggiore rispetto a quello del GPGD. In letteratura non è stato studiato l'effetto della deviazione dell'apice della curva scoliotica sulla fusione spinale.

# Capitolo 5

## Conclusioni

Lo scopo di questo studio era quello di individuare una possibile correlazione tra l'incidenza della patologia giunzionale distale nella regione lombare in pazienti affetti da scoliosi e i parametri spinopelvici sul piano coronale. Tra gli interventi di fissazione spinale eseguiti all'Istituto Ortopedico Rizzoli nel 2017 e 2018, sono stati analizzati 66 pazienti che, ad oggi, non hanno presentato complicazioni (GC) e 31 pazienti che hanno sviluppato patologia giunzionale distale (GPGD).

L'analisi dei dati demografici ha evidenziato una differenza significativa tra l'età e il BMI nei due differenti gruppi. In base ai risultati ottenuti, infatti, sembrerebbe che all'aumentare di questi dati, aumenti anche la probabilità di fallimento dell'intervento.

Dall'analisi dei parametri spinopelvici estratti, è stato riscontrato che i valori di *Pelvic Obliquity*, *Clavicle Angle*, *Sacral Obliquity* e *T1 Tilt* non variano in maniera significativa tra i due gruppi di pazienti. Questi parametri, quindi, sembrano non avere influenza sul possibile fallimento della fissazione spinale in caso di scoliosi.

Al contrario, lo sbilanciamento sul piano coronale, identificato dai valori di C7PL maggiori di 30mm, sembra essere in grado di

predire il futuro fallimento della fissazione spinale. Sono risultati rilevanti anche gli angoli di Cobb delle varie curve e la relativa deviazione dell'apice: in particolare, dall'analisi di questi parametri pare che, maggiori siano gli angoli di Cobb delle curve scoliotiche del paziente e la conseguente deviazione dell'apice, maggiore sia la probabilità che non si presenti patologia giunzionale distale lombare. Complessivamente quindi, minori angoli di Cobb delle *main* e *secondary curve* associati allo sbilanciamento sul piano coronale prima dell'intervento di fissazione, sembrano avere un ruolo predittivo nel possibile fallimento dell'intervento di fissazione, al contrario del caso di angoli di Cobb maggiori, che però portano il paziente ad essere in equilibrio sul piano coronale.

La principale limitazione di questo studio è l'analisi di tipo retrospettivo che è stata eseguita. A causa di questo tipo di analisi, infatti, non è stato possibile analizzare alcuni dati che non sono stati raccolti al momento dell'intervento, così come non è stato possibile estrarre i parametri spinopelvici dai pazienti a cui non era stata eseguita una radiografia in piedi sul piano coronale. Un'opzione per ottenere risultati più consistenti potrebbe essere quella di ampliare il campione analizzato e cercando di ottenere per tutti i pazienti radiografie pre e postintervento complete, in cui siano visibili per intero T1, le creste iliache, le clavicole e le teste femorali del paziente, in modo da poter estrarre tutti i parametri spinopelvici.

Questo studio, inoltre, è stato incentrato sull'analisi di parametri spinopelvici senza tenere in conto le comorbidità e la presenza di altre patologie che potrebbero influire sul possibile fallimento dell'intervento, a causa delle cartelle cliniche operatorie spesso non complete.

In letteratura, alcuni parametri analizzati in questo studio sono posti in relazione con C7PL, come ad esempio, l'inclinazione delle

spalle, descritta da *Clavicle Angle* e *T1 Tilt* nello studio Matsumoto et al., 2014, oppure l'orientamento della curva scoliotica nello studio Bao et al., 2016. Potrebbe quindi essere interessante, dopo aver ampliato il GPGD analizzare come ciascuna di queste relazioni influisce sull'insorgere della patologia giunzionale distale creando ulteriori sottogruppi all'interno GPGD.

Dai risultati ottenuti in questo studio è emerso che i parametri che sembrano avere una possibile influenza sul fallimento della fissazione spinale, e sui potrebbe essere importante concentrarsi prima di un intervento sono l'età, l'indice di massa corporea (BMI), il C7PL preoperatorio e l'ampiezza delle curve scoliotiche. Il proseguimento dello studio, apportando le modifiche proposte, è necessario poiché la risoluzione del problema dell'insorgenza della patologia giunzionale distale in seguito a trattamento chirurgico nelle scoliosi determinerebbe un elevato miglioramento della qualità di vita dei pazienti affetti da patologie del rachide gravi evitando stress fisici ulteriori e riducendo inoltre il numero di interventi di revisione.



# Bibliografia

- Arlet, V. e M. Aebi (mar. 2013). «Junctional spinal disorders in operated adult spinal deformities: present understanding and future perspectives». en. In: *European Spine Journal* 22.S2, pp. 276–295. ISSN: 0940-6719, 1432-0932. DOI: 10.1007/s00586-013-2676-x. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s00586-013-2676-x>.
- Aubin, Carl-Eric, Hubert Labelle e Oana C. Ciolofan (gen. 2007). «Variability of spinal instrumentation configurations in adolescent idiopathic scoliosis». en. In: *European Spine Journal* 16.1, pp. 57–64. ISSN: 1432-0932. DOI: 10.1007/s00586-006-0063-6. URL: <https://doi.org/10.1007/s00586-006-0063-6>.
- Banno, Tomohiro et al. (apr. 2022). «The Incidence of Iliac Screw-Related Complications After Long Fusion Surgery in Patients with Adult Spinal Deformity». en-US. In: *Spine* 47.7, pp. 539–547. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0000000000004276. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2022/04010/The\\_Incidence\\_of\\_Iliac\\_Screw\\_Related\\_Complications.4.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2022/04010/The_Incidence_of_Iliac_Screw_Related_Complications.4.aspx).
- Bao, H. et al. (set. 2016). «Coronal imbalance in degenerative lumbar scoliosis». In: *The Bone & Joint Journal* 98-B.9. Publisher: The British Editorial Society of Bone & Joint Surgery, pp. 1227–1233. ISSN: 2049-4394. DOI: 10.1302/0301-620X.98B9.37273.

URL: <https://online.boneandjoint.org.uk/doi/full/10.1302/0301-620X.98B9.37273>.

Baroncini, Alice et al. (nov. 2021). «Correlation between age, coronal and sagittal parameters and spine flexibility in patients with adolescent idiopathic scoliosis». en. In: *Spine Deformity* 9.6, pp. 1525–1531. ISSN: 2212-1358. DOI: 10.1007/s43390-021-00373-9. URL: <https://doi.org/10.1007/s43390-021-00373-9>.

Barton, Cameron et al. (nov. 2015). «Risk factors for rod fracture after posterior correction of adult spinal deformity with osteotomy: a retrospective case-series». In: *Scoliosis* 10.1, p. 30. ISSN: 1748-7161. DOI: 10.1186/s13013-015-0056-5. URL: <https://doi.org/10.1186/s13013-015-0056-5>.

Berjano, P. et al. (nov. 2013). «Failures and revisions in surgery for sagittal imbalance: analysis of factors influencing failure». en. In: *European Spine Journal* 22.6, pp. 853–858. ISSN: 1432-0932. DOI: 10.1007/s00586-013-3024-x. URL: <https://doi.org/10.1007/s00586-013-3024-x>.

Berjano, Pedro et al. (feb. 2020). «Revision surgery in distal junctional kyphosis». en. In: *European Spine Journal* 29.S1, pp. 86–102. ISSN: 0940-6719, 1432-0932. DOI: 10.1007/s00586-020-06304-y. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s00586-020-06304-y>.

Chan, Chris Yin Wei et al. (mag. 2019). «Pelvic obliquity in adolescent idiopathic scoliosis planned for posterior spinal fusion: A preoperative analysis of 311 lower limb axis films». en. In: *Journal of Orthopaedic Surgery* 27.2. Publisher: SAGE Publications Ltd STM, p. 2309499019857250. ISSN: 1022-5536. DOI: 10.1177/2309499019857250. URL: <https://doi.org/10.1177/2309499019857250>.

- Charosky, Sebastien et al. (apr. 2012). «Complications and Risk Factors of Primary Adult Scoliosis Surgery: A Multicenter Study of 306 Patients». en-US. In: *Spine* 37.8, pp. 693–700. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31822ff5c1. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2012/04150/Complications\\_and\\_Risk\\_Factors\\_of\\_Primary\\_Adult.11.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2012/04150/Complications_and_Risk_Factors_of_Primary_Adult.11.aspx).
- Chen, Chen-Sheng et al. (lug. 2005). «Failure analysis of broken pedicle screws on spinal instrumentation». en. In: *Medical Engineering & Physics* 27.6, pp. 487–496. ISSN: 1350-4533. DOI: 10.1016/j.medengphy.2004.12.007. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135045330500010X>.
- Cho, Kyu-Jung et al. (apr. 2009). «Selection of the Optimal Distal Fusion Level in Posterior Instrumentation and Fusion for Thoracic Hyperkyphosis: The Sagittal Stable Vertebra Concept». en-US. In: *Spine* 34.8, pp. 765–770. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31819e28ed. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2009/04150/Selection\\_of\\_the\\_Optimal\\_Distal\\_Fusion\\_Level\\_in.4.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2009/04150/Selection_of_the_Optimal_Distal_Fusion_Level_in.4.aspx).
- Chou, Dean et al. (ott. 2012). «The Treatment of Lumbar Adjacent Segment Pathology After a Previous Lumbar Surgery: A Systematic Review». en-US. In: *Spine* 37, S180. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31826d613d. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2012/10151/The\\_Treatment\\_of\\_Lumbar\\_Adjacent\\_Segment\\_Pathology.17.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2012/10151/The_Treatment_of_Lumbar_Adjacent_Segment_Pathology.17.aspx).
- Chu, Eric C. P. e Linda Y. K. Lee (feb. 2022). «Adjacent segment pathology of the cervical spine: A case report». en-US. In: *Journal of Family Medicine and Primary Care* 11.2, pp. 787–789. ISSN: 2249-4863. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc\_1380\_21. URL:

[https://journals.lww.com/jfmpc/Fulltext/2022/02000/Adjacent\\_segment\\_pathology\\_of\\_the\\_cervical\\_spine\\_.63.aspx](https://journals.lww.com/jfmpc/Fulltext/2022/02000/Adjacent_segment_pathology_of_the_cervical_spine_.63.aspx) (visitato il 19/08/2022).

Cidambi, Krishna R. et al. (ago. 2012). «Postoperative Changes in Spinal Rod Contour in Adolescent Idiopathic Scoliosis: An: In Vivo Deformation Study». en-US. In: *Spine* 37.18. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318252ccbe. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2012/08150/Postoperative\\_Changes\\_in\\_Spinal\\_Rod\\_Contour\\_in.6.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2012/08150/Postoperative_Changes_in_Spinal_Rod_Contour_in.6.aspx).

Cotler, Jerome M. e Andrew M. Star (1990). «Complications of Spinal Fusions». en. In: *Spinal Fusion: Science and Technique*. A cura di Jerome M. Cotler e Howard B. Cotler. New York, NY: Springer, pp. 361–387. ISBN: 978-1-4612-3272-8. DOI: 10.1007/978-1-4612-3272-8\_17. URL: [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3272-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3272-8_17).

Daubs, Michael D. et al. (set. 2007). «Adult Spinal Deformity Surgery: Complications and Outcomes in Patients Over Age 60». en-US. In: *Spine* 32.20. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31814cf24a. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2007/09150/Adult\\_Spinal\\_Deformity\\_Surgery\\_Complications\\_and.15.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2007/09150/Adult_Spinal_Deformity_Surgery_Complications_and.15.aspx).

Daubs, Michael D. et al. (mar. 2013). «Does Correction of Preoperative Coronal Imbalance Make a Difference in Outcomes of Adult Patients With Deformity?» en-US. In: *Spine* 38.6, pp. 476–483. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182846eb3. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2013/03150/Does\\_Correction\\_of\\_Preoperative\\_Coronal\\_Imbalance.5.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2013/03150/Does_Correction_of_Preoperative_Coronal_Imbalance.5.aspx).

- Denis, Francis, Edward C. Sun e Robert B. Winter (set. 2009). «Incidence and Risk Factors for Proximal and Distal Junctional Kyphosis Following Surgical Treatment for Scheuermann Kyphosis: Minimum Five-Year Follow-up». en-US. In: *Spine* 34.20, E729. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181ae2ab2. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2009/09150/Incidence\\_and\\_Risk\\_Factors\\_for\\_Proximal\\_and\\_Distal.4.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2009/09150/Incidence_and_Risk_Factors_for_Proximal_and_Distal.4.aspx).
- Dickman, Curtis A. et al. (dic. 1992). «Transpedicular screw-rod fixation of the lumbar spine: operative technique and outcome in 104 cases». en-US. In: *Journal of Neurosurgery* 77.6. Publisher: Journal of Neurosurgery Publishing Group Section: Journal of Neurosurgery, pp. 860–870. DOI: 10.3171/jns.1992.77.6.0860. URL: <https://thejns.org/view/journals/j-neurosurg/77/6/article-p860.xml>.
- Diebo, Bassel G. et al. (dic. 2015). «Sagittal alignment of the spine: What do you need to know?» en. In: *Clinical Neurology and Neurosurgery* 139, pp. 295–301. ISSN: 03038467. DOI: 10.1016/j.clineuro.2015.10.024. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030384671530055X>.
- Dwyer, A. F. (giu. 1973). «Experience of anterior correction of scoliosis». eng. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research* 93, pp. 191–206. ISSN: 0009-921X. DOI: 10.1097/00003086-197306000-00019.
- Fanous, Andrew A. et al. (dic. 2019). «Surgical Site Infection as a Risk Factor for Long-Term Instrumentation Failure in Patients with Spinal Deformity: A Retrospective Cohort Study». en. In: *World Neurosurgery* 132, e514–e519. ISSN: 1878-8750. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.08.088. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878875019322442>.

- Friedman, Neil (gen. 2003). «Scoliosis». en. In: *Encyclopedia of the Neurological Sciences*. A cura di Michael J. Aminoff e Robert B. Daroff. New York: Academic Press, pp. 220–222. ISBN: 978-0-12-226870-0. DOI: 10.1016/B0-12-226870-9/00830-3. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122268709008303>.
- Fu, Lingjie et al. (nov. 2014). «Does Obesity Affect Surgical Outcomes in Degenerative Scoliosis?» en-US. In: *Spine* 39.24, pp. 2049–2055. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000600. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2014/11150/Does\\_Obesity\\_Affect\\_Surgical\\_Outcomes\\_in.11.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2014/11150/Does_Obesity_Affect_Surgical_Outcomes_in.11.aspx).
- Galbusera, Fabio et al. (2015). «Planning the Surgical Correction of Spinal Deformities: Toward the Identification of the Biomechanical Principles by Means of Numerical Simulation». In: *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 3. ISSN: 2296-4185. URL: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fbioe.2015.00178>.
- Ghasemi, Amir et al. (mar. 2017). «Distal junctional kyphosis in patients with Scheuermann's disease: a retrospective radiographic analysis». en. In: *European Spine Journal* 26.3, pp. 913–920. ISSN: 1432-0932. DOI: 10.1007/s00586-016-4924-3. URL: <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4924-3>.
- Graham, E. et al. (set. 2000). «Prospective Pulmonary Function Evaluation Following Open Thoracotomy for Anterior Spinal Fusion in Adolescent Idiopathic Scoliosis.» In: *Spine* 25, pp. 319–2325.
- Grassi, F.A. et al. (2021). *Manuale di ortopedia e traumatologia: Terza edizione*. Edra. ISBN: 9788821453489. URL: <https://books.google.it/books?id=D-c3EAAAQBAJ>.

- Greggi, Tiziana (dic. 2009). *La Scoliosi. Aspetti clinici e trattamento*. URL: <https://www.ior.it/sites/default/files/La\%20Scoliosi.\%20Aspetti\%20clinici\%20e\%20trattamento.pdf>.
- Hägglund, Gunnar (lug. 2020). «Association between pelvic obliquity and scoliosis, hip displacement and asymmetric hip abduction in children with cerebral palsy: a cross-sectional registry study». In: *BMC Musculoskeletal Disorders* 21.1, p. 464. ISSN: 1471-2474. DOI: 10.1186/s12891-020-03484-y. URL: <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03484-y>.
- Ialuna, Marco (2020). «La chirurgia di correzione nella scoliosi degenerativa dell'adulto: osteotomie e cages intersomatiche anteriori. Metanalisi della recente letteratura.» Revisione.
- Jiang, Heng et al. (dic. 2018). «Coronal Imbalance after Selective Posterior Thoracic Fusion in Patients with Lenke 1 and 2 Adolescent Idiopathic Scoliosis». In: *BioMed Research International* 2018, p. 3476425. ISSN: 2314-6133. DOI: 10.1155/2018/3476425. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6304582/>.
- Joseph, Jacob R. et al. (feb. 2019). «Thoracolumbar Fusion in Extreme Obesity: Complications and Patient-Reported Outcomes». In: *International Journal of Spine Surgery* 13.1, pp. 24–27. ISSN: 2211-4599. DOI: 10.14444/6003. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6383459/>.
- Karami, Mohsen, Arash Maleki e Keyvan Mazda (ott. 2016). «Assessment of Coronal Radiographic Parameters of the Spine in the Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis». In: *Archives of Bone and Joint Surgery* 4.4, pp. 376–380. ISSN: 2345-4644. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5100456/>.

- Karkenny, Alexa J. et al. (mar. 2021). «The Variability of Pelvic Obliquity Measurements in Patients with Neuromuscular Scoliosis». en-US. In: *JBJS Open Access* 6.1, e20.00143. ISSN: 2472-7245. DOI: 10.2106/JBJS.OA.20.00143. URL: [https://journals.lww.com/jbjsoa/Fulltext/2021/03000/The\\_Variability\\_of\\_Pelvic\\_Obliquity\\_Measurements.13.aspx](https://journals.lww.com/jbjsoa/Fulltext/2021/03000/The_Variability_of_Pelvic_Obliquity_Measurements.13.aspx).
- Kubat, Ozren e Dror Ovadia (gen. 2020). «Frontal and sagittal imbalance in patients with adolescent idiopathic deformity». In: *Annals of Translational Medicine* 8.2, p. 29. ISSN: 2305-5839. DOI: 10.21037/atm.2019.10.49. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6995921/>.
- La Barbera, Luigi, A. Noelle Larson e Carl-Eric Aubin (mag. 2021a). «Correction objectives have higher impact than screw pattern and density on the optimal 3D correction of thoracic AIS: a biomechanical study». en. In: *Spine Deformity* 9.3, pp. 655–664. ISSN: 2212-1358. DOI: 10.1007/s43390-020-00275-2. URL: <https://doi.org/10.1007/s43390-020-00275-2>.
- (apr. 2021b). «How do spine instrumentation parameters influence the 3D correction of thoracic adolescent idiopathic scoliosis? A patient-specific biomechanical study». en. In: *Clinical Biomechanics* 84, p. 105346. ISSN: 0268-0033. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2021.105346. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268003321000760> (visitato il 17/05/2022).
- La Barbera, Luigi et al. (gen. 2021c). «In silico patient-specific optimization of correction strategies for thoracic adolescent idiopathic scoliosis». en. In: *Clinical Biomechanics* 81, p. 105200. ISSN: 0268-0033. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105200.

- URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268003320303193>.
- Lafage, Virginie (mar. 2020). *Surgimap User Guide Version 5.0*.  
URL: <https://www.surgimap.com/wp-content/uploads/2012/05/Surgimap-Getting-Started-Guide-Version-2.2.15.pdf>.
- Le Huec, J. C. et al. (set. 2019). «Sagittal balance of the spine». en. In: *European Spine Journal* 28.9, pp. 1889–1905. ISSN: 0940-6719, 1432-0932. DOI: 10.1007/s00586-019-06083-1. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s00586-019-06083-1>.
- Lenke, Lawrence G. et al. (ago. 1999). «Spontaneous Lumbar Curve Coronal Correction After Selective Anterior or Posterior Thoracic Fusion in Adolescent Idiopathic Scoliosis». en-US. In: *Spine* 24.16, p. 1663. ISSN: 0362-2436. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/fulltext/1999/08150/spontaneous\\_lumbar\\_curve\\_coronal\\_correction\\_after.7.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/fulltext/1999/08150/spontaneous_lumbar_curve_coronal_correction_after.7.aspx).
- Liu, Zhen et al. (2017). «Role of Clavicle Chest Cage Angle Difference in Predicting Postoperative Shoulder Balance in Lenke 5C Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients after Selective Posterior Fusion». en. In: *Orthopaedic Surgery* 9.1. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com> pp. 86–90. ISSN: 1757-7861. DOI: 10.1111/os.12305. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/os.12305>.
- Lowe, Thomas et al. (set. 2006a). «The SRS Classification for Adult Spinal Deformity: Building on the King/Moe and Lenke Classification Systems». en-US. In: *Spine* 31.19S, S119. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/01.brs.0000232709.48446.be. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2006/09011/The\\_SRS\\_Classification\\_for\\_Adult\\_Spinal\\_Deformity\\_3.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2006/09011/The_SRS_Classification_for_Adult_Spinal_Deformity_3.aspx).

- Lowe, Thomas G. et al. (feb. 2006b). «Distal Junctional Kyphosis of Adolescent Idiopathic Thoracic... : Spine». In: *Spine* 31, pp. 299–302. DOI: 10.1097/01.brs.0000197221.23109.fc. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2006/02010/Distal\\_Junctional\\_Kyphosis\\_of\\_Adolescent.8.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2006/02010/Distal_Junctional_Kyphosis_of_Adolescent.8.aspx).
- Luca, Andrea et al. (mar. 2017). «Instrumentation failure following pedicle subtraction osteotomy: the role of rod material, diameter, and multi-rod constructs». en. In: *European Spine Journal* 26.3, pp. 764–770. ISSN: 1432-0932. DOI: 10.1007/s00586-016-4859-8. URL: <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4859-8>.
- Ma, Qichao et al. (gen. 2020). «Correlation between spinal coronal balance and static baropodometry in children with adolescent idiopathic scoliosis». en. In: *Gait & Posture* 75, pp. 93–97. ISSN: 0966-6362. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.10.003. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636219300219>.
- Majdouline, Younes et al. (ago. 2009). «Computer simulation for the optimization of instrumentation strategies in adolescent idiopathic scoliosis». en. In: *Medical & Biological Engineering & Computing* 47.11, p. 1143. ISSN: 1741-0444. DOI: 10.1007/s11517-009-0509-1. URL: <https://doi.org/10.1007/s11517-009-0509-1>.
- Martini, F.H., R.B. Tallitsch e J.L. Nath (2017). *Human Anatomy*. Pearson Education. ISBN: 9780134424828. URL: <https://books.google.it/books?id=Kur0DQAAQBAJ>.
- Martini, F.H. et al. (2019). *Anatomia umana*. Edises. ISBN: 978-88-331-9025-9. URL: <https://books.google.it/books?id=EVcWwwEACAAJ>.

- Maruyama, Toru e Katsushi Takeshita (apr. 2008). «Surgical treatment of scoliosis: a review of techniques currently applied». In: *Scoliosis* 3.1, p. 6. ISSN: 1748-7161. DOI: 10.1186/1748-7161-3-6. URL: <https://doi.org/10.1186/1748-7161-3-6>.
- Matsumoto, Morio et al. (nov. 2014). «Postoperative shoulder imbalance in Lenke Type 1A adolescent idiopathic scoliosis and related factors». In: *BMC Musculoskeletal Disorders* 15.1, p. 366. ISSN: 1471-2474. DOI: 10.1186/1471-2474-15-366. URL: <https://doi.org/10.1186/1471-2474-15-366>.
- Matsuzaki, H et al. (nov. 1990). «Problems and solutions of pedicle screw plate fixation of lumbar spine». eng. In: *Spine* 15.11, pp. 1159–1165. ISSN: 1528-1159. DOI: 10.1097/00007632-199011010-00014. URL: <https://doi.org/10.1097/00007632-199011010-00014> (visitato il 29/08/2022).
- McCance, Sean E. et al. (ott. 1998). «Coronal and Sagittal Balance in Surgically Treated Adolescent Idiopathic Scoliosis With the King II Curve Pattern: A Review of 67 Consecutive Cases Having Selective Thoracic Arthrodesis». en-US. In: *Spine* 23.19, pp. 2063–2073. ISSN: 0362-2436. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/1998/10010/Coronal\\_and\\_Sagittal\\_Balance\\_in\\_Surgically\\_Treated.5.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/1998/10010/Coronal_and_Sagittal_Balance_in_Surgically_Treated.5.aspx).
- Menezes, Cristiano Magalhães et al. (set. 2019). «THE IMPORTANCE OF CLAVICLE ANGLE AND HEIGHT OF THE CORACOID PROCESS IN IDIOPATHIC SCOLIOSIS». en. In: *Coluna/Columna* 18.3, pp. 196–199. ISSN: 2177-014X, 1808-1851. DOI: 10.1590/s1808-185120191803196866. URL: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1808-18512019000300196&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-18512019000300196&tlng=en).
- Mobbs, Ralph J. et al. (nov. 2015). «Lumbar interbody fusion: techniques, indications and comparison of interbody fusion op-

- tions including PLIF, TLIF, MI-TLIF, OLIF/ATP, LLIF and ALIF». en. In: *Journal of Spine Surgery* 1.1. Number: 1 Publisher: AME Publishing Company, pp. 2–18. ISSN: 2414-4630, 2414-469X. URL: <https://jss.amegroups.com/article/view/3512>.
- Mok, James M. et al. (apr. 2009). «Reoperation After Primary Fusion for Adult Spinal Deformity: Rate, Reason, and Timing». en-US. In: *Spine* 34.8, pp. 832–839. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31819f2080. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2009/04150/Reoperation\\_After\\_Primary\\_Fusion\\_for\\_Adult\\_Spinal.16.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2009/04150/Reoperation_After_Primary_Fusion_for_Adult_Spinal.16.aspx).
- MSD, Manuali (2022). *Figure: Angolo di Cobb*. it-IT. URL: <https://www.msmanuals.com/it-it/professionale/multimedia/figure/angolo-di-cobb>.
- Muschik, Michael Thomas, Holger Kimmich e Thomas Demmel (lug. 2006). «Comparison of anterior and posterior double-rod instrumentation for thoracic idiopathic scoliosis: results of 141 patients». en. In: *European Spine Journal* 15.7, pp. 1128–1138. ISSN: 1432-0932. DOI: 10.1007/s00586-005-0034-3. URL: <https://doi.org/10.1007/s00586-005-0034-3>.
- Niu, C C et al. (giu. 1996). «Reduction-fixation spinal system in spondylolisthesis». eng. In: *American journal of orthopedics (Belle Mead, N.J.)* 25.6, pp. 418–424. ISSN: 1934-3418.
- Obeid, Ibrahim et al. (gen. 2019). «Classification of coronal imbalance in adult scoliosis and spine deformity: a treatment-oriented guideline». en. In: *European Spine Journal* 28.1, pp. 94–113. ISSN: 1432-0932. DOI: 10.1007/s00586-018-5826-3. URL: <https://doi.org/10.1007/s00586-018-5826-3>.

- O'Brien, M.F. (2004). *Radiographic Measurement Manual*. Medtronic Sofamor Danek USA. URL: [https://books.google.it/books?id=If\\\_0swEACAAJ](https://books.google.it/books?id=If\_0swEACAAJ).
- OMS (2022). *Calcolo Indice massa corporea - IMC (BMI - Body mass index)*. IT. URL: <https://www.salute.gov.it/portale/nutrizione/dettaglioIMCNutrizione.jsp?lingua=italiano&id=5479&area=nutrizione&menu=vuoto>.
- Ono, Takashi, Tracey P. Bastrom e Peter O. Newton (nov. 2012). «Defining 2 Components of Shoulder Imbalance: Clavicle Tilt and Trapezial Prominence». en-US. In: *Spine* 37.24, E1511. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31826e2bbb. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2012/11150/Defining\\_2\\_Components\\_of\\_Shoulder\\_Imbalance\\_15.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2012/11150/Defining_2_Components_of_Shoulder_Imbalance_15.aspx) (visitato il 12/09/2022).
- Pieracci, Edoardo Maria (ott. 2014). «Artrodesi Lombare: indicazioni chirurgiche nella Spondilosi Degenerativa. Risultati e riflessioni.» Sperimentale. Università di Pisa.
- Plais, Nicolas et al. (feb. 2020). «The clinical impact of global coronal malalignment is underestimated in adult patients with thoracolumbar scoliosis». en. In: *Spine Deformity* 8.1, pp. 105–113. ISSN: 2212-1358. DOI: 10.1007/s43390-020-00046-z. URL: <https://doi.org/10.1007/s43390-020-00046-z>.
- Ponnusamy, Karthikeyan E. et al. (gen. 2011). «Instrumentation of the osteoporotic spine: biomechanical and clinical considerations». en. In: *The Spine Journal* 11.1, pp. 54–63. ISSN: 1529-9430. DOI: 10.1016/j.spinee.2010.09.024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1529943010012337>.
- Radcliff, Kristen E et al. (2013). «Is Pelvic Obliquity Related to Degenerative Scoliosis?» en. In: *Orthopaedic Surgery* 5.3. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/os.12055>, pp. 171–

176. ISSN: 1757-7861. DOI: 10.1111/os.12055. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/os.12055>.
- Raffo, Christopher S. e William C. Lauerma (gen. 2006). «Predicting Morbidity and Mortality of Lumbar Spine Arthrodesis in Patients in Their Ninth Decade». en-US. In: *Spine* 31.1, pp. 99–103. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/01.brs.0000192678.25586.e5. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2006/01010/Predicting\\_Morbidity\\_and\\_Mortality\\_of\\_Lumbar\\_Spine.22.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2006/01010/Predicting_Morbidity_and_Mortality_of_Lumbar_Spine.22.aspx).
- Ramos, Rafael De la Garza et al. (ott. 2017). «Effect of body mass index on surgical outcomes after posterior spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis». en-US. In: *Neurosurgical Focus* 43.4. Publisher: American Association of Neurological Surgeons Section: Neurosurgical Focus, E5. ISSN: 1092-0684. DOI: 10.3171/2017.7.FOCUS17342. URL: <https://thejns.org/focus/view/journals/neurosurg-focus/43/4/article-pE5.xml>.
- Roy-Camille, Raymond, Gérard Saillant e Christian Mazel (feb. 1986). «Internal Fixation of the Lumbar Spine with Pedicle Screw Plating». en-US. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research*® 203, pp. 7–17. ISSN: 0009-921X. URL: [https://journals.lww.com/clinorthop/Abstract/1986/02000/Internal\\_Fixation\\_of\\_the\\_Lumbar\\_Spine\\_with\\_Pedicle.3.aspx](https://journals.lww.com/clinorthop/Abstract/1986/02000/Internal_Fixation_of_the_Lumbar_Spine_with_Pedicle.3.aspx).
- Scemama, Caroline et al. (lug. 2016). «Risk of adjacent-segment disease requiring surgery after short lumbar fusion: results of the French Spine Surgery Society Series». en-US. In: *Journal of Neurosurgery: Spine* 25.1. Publisher: American Association of Neurological Surgeons Section: Journal of Neurosurgery: Spine, pp. 46–51. DOI: 10.3171/2015.11.SPINE15700. URL: [https://journals.lww.com/jns-spine/Abstract/2015/11000/Risk\\_of\\_Adjacent\\_Segment\\_Disease\\_Requiring\\_Surgery\\_After\\_Short\\_Lumbar\\_Fusion:\\_Results\\_of\\_the\\_French\\_Spine\\_Surgery\\_Society\\_Series.aspx](https://journals.lww.com/jns-spine/Abstract/2015/11000/Risk_of_Adjacent_Segment_Disease_Requiring_Surgery_After_Short_Lumbar_Fusion:_Results_of_the_French_Spine_Surgery_Society_Series.aspx).

//thejns.org/spine/view/journals/j-neurosurg-spine/25/1/article-p46.xml.

Schwender, James D. e Francis Denis (set. 2000). «Coronal Plane Imbalance in Adolescent Idiopathic Scoliosis With Left Lumbar Curves Exceeding 40°: The Role of the Lumbosacral Hemicurve». en-US. In: *Spine* 25.18, pp. 2358–2363. ISSN: 0362-2436. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2000/09150/Coronal\\_Plane\\_Imbalance\\_in\\_Adolescent\\_Idiopathic.15.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2000/09150/Coronal_Plane_Imbalance_in_Adolescent_Idiopathic.15.aspx).

Schünke, M. et al. (2019). *Prometheus. Testo atlante di anatomia. Anatomia generale e apparato locomotore*. Prometheus: testo atlante di anatomia. Edises. ISBN: 978-88-331-9056-3. URL: <https://books.google.it/books?id=UnvdygEACAAJ>.

Scrofani, Raffaele et al. (giu. 2022). «Magnetically controlled growing rods in the management of early onset scoliosis: a systematic review». In: *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 17.1, p. 309. ISSN: 1749-799X. DOI: 10.1186/s13018-022-03200-7. URL: <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03200-7> (visitato il 20/09/2022).

Seicean, Andreea et al. (ago. 2014). «Impact of Increased Body Mass Index on Outcomes of Elective Spinal Surgery». en-US. In: *Spine* 39.18, pp. 1520–1530. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000435. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2014/08150/Impact\\_of\\_Increased\\_Body\\_Mass\\_Index\\_on\\_Outcomes\\_of.20.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2014/08150/Impact_of_Increased_Body_Mass_Index_on_Outcomes_of.20.aspx).

Simmons, Edward D. Jr, Joseph M. Kowalski e Edward H. Simmons (mag. 1993). «The Results of Surgical Treatment for Adult Scoliosis». en-US. In: *Spine* 18.6, pp. 718–724. ISSN: 0362-2436. URL: <https://journals.lww.com/spinejournal/Abstract/>

1993/05000/The\_Results\_of\_Surgical\_Treatment\_for\_Adult.8.aspx.

Slone, R. M., M. MacMillan e W. J. Montgomery (lug. 1993). «Spinal fixation. Part 3. Complications of spinal instrumentation». eng. In: *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc* 13.4, pp. 797–816. ISSN: 0271-5333. DOI: 10.1148/radiographics.13.4.8356269.

Smith, Justin S. et al. (ott. 2012). «Assessment of Symptomatic Rod Fracture After Posterior Instrumented Fusion for Adult Spinal Deformity». en-US. In: *Neurosurgery* 71.4, pp. 862–868. ISSN: 0148-396X. DOI: 10.1227/NEU.0b013e3182672aab. URL: [https://journals.lww.com/neurosurgery/Abstract/2012/10000/Assessment\\_of\\_Symptomatic\\_Rod\\_Fracture\\_After.22.aspx](https://journals.lww.com/neurosurgery/Abstract/2012/10000/Assessment_of_Symptomatic_Rod_Fracture_After.22.aspx).

Smith, Justin S. et al. (2014). «Prospective multicenter assessment of risk factors for rod fracture following surgery for adult spinal deformity: Clinical article». In: *Journal of Neurosurgery: Spine SPI* 21.6, pp. 994–1003. DOI: 10.3171/2014.9.SPINE131176. URL: <https://thejns.org/spine/view/journals/j-neurosurg-spine/21/6/article-p994.xml>.

Standring, S. (2015). *Gray's Anatomy E-Book: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Gray's Anatomy. Elsevier Health Sciences. ISBN: 9780702068515. URL: <https://books.google.it/books?id=b7FVCgAAQBAJ>.

Sucato, Daniel J., Farid Kassab e Molly Dempsey (mar. 2004). «Analysis of Screw Placement Relative to the Aorta and Spinal Canal Following Anterior Instrumentation for Thoracic Idiopathic Scoliosis:» en. In: *Spine* 29.5, pp. 554–559. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/01.BRS.0000106495.91477.92. URL: <http://journals.lww.com/00007632-200403010-00014>.

- Swank, S. et al. (feb. 1981). «Surgical treatment of adult scoliosis. A review of two hundred and twenty-two cases.» en-US. In: *JBJS* 63.2, pp. 268–287. ISSN: 0021-9355. URL: [https://journals.lww.com/jbjsjournal/Abstract/1981/63020/Surgical\\_treatment\\_of\\_adult\\_scoliosis\\_\\_A\\_review\\_of.13.aspx](https://journals.lww.com/jbjsjournal/Abstract/1981/63020/Surgical_treatment_of_adult_scoliosis__A_review_of.13.aspx).
- Virk, Sohrab, Sheeraz Qureshi e Harvinder Sandhu (lug. 2020). «History of Spinal Fusion: Where We Came from and Where We Are Going». en. In: *HSS Journal* (®) 16.2, pp. 137–142. ISSN: 1556-3324. DOI: 10.1007/s11420-020-09747-7. URL: <https://doi.org/10.1007/s11420-020-09747-7>.
- Virk, Sohrab S. et al. (ago. 2014). «Adjacent Segment Disease». In: *Orthopedics* 37.8. Publisher: SLACK Incorporated, pp. 547–555. DOI: 10.3928/01477447-20140728-08. URL: <https://journals.healio.com/doi/10.3928/01477447-20140728-08>.
- Weinstein, Stuart L et al. (mag. 2008). «Adolescent idiopathic scoliosis». en. In: *The Lancet* 371.9623, pp. 1527–1537. ISSN: 0140-6736. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)60658-3. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673608606583>.
- Weiss, Hans-Rudolf e Deborah Goodall (ago. 2008). «Rate of complications in scoliosis surgery – a systematic review of the Pub Med literature». In: *Scoliosis* 3, p. 9. ISSN: 1748-7161. DOI: 10.1186/1748-7161-3-9. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2525632/> (visitato il 20/09/2022).
- Xia, Xiao-Peng, Hong-Lin Chen e Hong-Bin Cheng (apr. 2013). «Prevalence of Adjacent Segment Degeneration After Spine Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis». en-US. In: *Spine* 38.7, pp. 597–608. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318273a2ea. URL: <https://journals.lww.com/spinejournal/>

Fulltext/2013/04010/Prevalence\_of\_Adjacent\_Segment\_Degeneration\_After.11.aspx.

Yang, Xi et al. (dic. 2018). «Coronal and sagittal balance in Lenke 5 AIS patients following posterior fusion: important role of the lowest instrument vertebrae selection». en. In: *BMC Musculoskeletal Disorders* 19.1, p. 212. ISSN: 1471-2474. DOI: 10.1186/s12891-018-2135-2. URL: <https://bmcmusculoskeletdisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12891-018-2135-2>.

Zhang, Jiandang et al. (mar. 2021). «Directionality of Lumbosacral Fractional Curve Relative to C7 Plumb Line, A Novel Index Associated with Postoperative Coronal Imbalance in Patients with Degenerative Lumbar Scoliosis». en-US. In: *Spine* 46.6, pp. 366–373. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003776. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2021/03150/Directionality\\_of\\_Lumbosacral\\_Fractional\\_Curve.6.aspx](https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/2021/03150/Directionality_of_Lumbosacral_Fractional_Curve.6.aspx).

Zhang, Zifang et al. (apr. 2019). «Coronal Imbalance in Adult Spinal Deformity Following Posterior Spinal Fusion With Instrument: A Related Parameters Analysis». en-US. In: *Spine* 44.8, pp. 550–557. ISSN: 0362-2436. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002897. URL: [https://journals.lww.com/spinejournal/FullText/2019/04150/Coronal\\_Imbalance\\_in\\_Adult\\_Spinal\\_Deformity.9.aspx?casa\\_token=1xeQP01DarQAAAAA:5U49IFCmn7ZigFUfUyzzgN9ShWyvIpRhTQX0mvTQnkKwIwgPJ-N3ylceUnX5eepumY2H00Cb1MNA8D42m02LT2ex0zrNA](https://journals.lww.com/spinejournal/FullText/2019/04150/Coronal_Imbalance_in_Adult_Spinal_Deformity.9.aspx?casa_token=1xeQP01DarQAAAAA:5U49IFCmn7ZigFUfUyzzgN9ShWyvIpRhTQX0mvTQnkKwIwgPJ-N3ylceUnX5eepumY2H00Cb1MNA8D42m02LT2ex0zrNA) (visitato il 29/07/2022).

Zhang, Zifang et al. (2022). «Factors Related to Preoperative Coronal Malalignment in Degenerative Lumbar Scoliosis: An Analysis on Coronal Parameters». en. In: *Orthopaedic Surgery* 14.8. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/os.13379>,

pp. 1846–1852. ISSN: 1757-7861. DOI: 10.1111/os.13379. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/os.13379>.

Zielke, K. (mag. 1982). «Ventral derotation spondylodesis. Results of treatment of cases of idiopathic lumbar scoliosis (author's (author's transl)»». ger. In: *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 120.3, pp. 320–329. ISSN: 0044-3220. DOI: 10.1055/s-2008-1051620. URL: <https://doi.org/10.1055/s-2008-1051620>.



# Ringraziamenti

Il primo grazie va al Prof. Cristofolini, per la sua professionalità, la sua precisione e la disponibilità che mi ha dimostrato.

Ringrazio la mia correlatrice Sara Montanari, per la pazienza, la gentilezza e la costanza con cui mi ha seguito in questi mesi.

Un grazie va agli amici e ai compagni di università che con me hanno condiviso questo percorso, arricchendolo e rendendo questi anni speciali; in particolare ad Alice, Federico, Luca e Matilde, con me dal primo giorno. Vorrei dedicare un ulteriore grazie ad Alice, capace di capirmi e sostenermi sempre.

Un grazie a Cesena, per avermi accolto facendomi sentire a casa e per aver regalato a me e ai miei amici tanti momenti, serate e tramonti felici.

Grazie ai miei amici di Reggio e alle mie compagne di squadra, per essere una presenza costante nella mia vita, sui quali posso sempre contare.

Un ringraziamento particolare va ad Alda e Elena, complici sulle quali so di poter sempre fare affidamento.

Un ultimo ringraziamento, sicuramente non per importanza, ai miei genitori, alla mia nonna e alla mia famiglia per l'amore con cui mi stanno vicini, condividendo i miei successi come se fossero i propri.