

Sviluppo della classificazione 3-DEMO per la scoliosi

Negrini S^{1,2}, Negrini A^{1,2}, Atanasio S^{1,2}, Santambrogio GC^{2,3}
 1) ISICO (Istituto Scientifico Italiano Colonna vertebrale), Milano, Italia
 2) Fondazione Don Carlo Gnocchi IRCCS-ONLUS, Milano, Italia
 3) Dipartimento di Bioingegneria, Politecnico di Milano, Italia.

1 Introduzione

La terza dimensione è diventata un'entità reale nello studio clinico della scoliosi, ma oggi la valutazione della terza dimensione richiede sempre, insieme all'utilizzo di proiezioni radiografiche, un insieme di esperienza clinica e di notevoli capacità di astrazione per farsi un'idea di quello che potrebbe essere il reale comportamento tridimensionale del rachide patologico oggetto di esame. Lo sviluppo di nuove tecnologie ha ridotto i limiti menzionati poco sopra, specialmente nel campo della ricerca. Comunque, siamo ancora lontani dal raggiungimento di un quadro concreto e riproducibile, nonché di una utile comprensione della scoliosi in quanto fenomeno tridimensionale. Uno degli ostacoli principali, a causa della difficoltà di visualizzazione, è l'incapacità di ottenere una rappresentazione clinicamente utile della deformità. Un ulteriore problema, direttamente legato al primo, è che sia la comunicazione che la comprensione sono rese difficili dalla mancanza di una codificazione della terza dimensione (e quindi della capacità di descriverla). Fino a quando questi ostacoli non saranno rimossi, l'impiego della terza dimensione della scoliosi continuerà a essere confinato al campo della ricerca.

Dalla prima classificazione della scoliosi proposta da Schulthess, ne sono state proposte altre: King, Coonrad e Lenke hanno infatti presentato nuove classificazioni principalmente da punti di vista terapeutici (chirurgici), avvicinandosi comunque progressivamente e approssimativamente al concetto della tridimensionalità, comprendente il profilo sagittale insieme al classico profilo frontale. Dalla nostra prima presentazione di questa classificazione nel 1996, il gruppo di Poncet ha proposto per la prima volta una possibile classificazione tridimensionale nel 1998 e l'ha successivamente pubblicata nel 2001 sulla rivista Spine, proprio come Duong, che ha recentemente proposto il "Fuzzy Clustering" come metodo per ottenerla: entrambe queste proposte sono di difficile comprensione e visualizzazione, e sono derivate da studi di bioingegneria più che da valutazioni cliniche dei risultati tridimensionali.

2 Quasi-tridimensionale

Stokes e lo Scoliosis Research Society Working Group on 3D Terminology of Spinal Deformity (gruppo di studio sulla terminologia tridimensionale relativa alle deformità vertebrali) hanno fatto la seguente affermazione: "La visualizzazione di qualsiasi elemento tridimensionale è una notevole sfida. L'approccio che abbiamo adottato cerca di porre rimedio a questo limite umano facendo ampio ricorso ai piani "ausiliari" sui quali il rachide viene proiettato. Tali misure non sono realmente tridimensionali, ma questo approccio che prevede l'impiego di misure "quasi tridimensionali" rappresenta un compromesso ragionevole fra la purezza matematica e i limiti di tipo concettuale e pratico". Sulla base di queste osservazioni, per tentare di risolvere il problema costituito dall'osservare e dal classificare un oggetto tridimensionale come il rachide patologico, abbiamo deciso di concentrarci su un piano ausiliario "quasi tridimensionale" come la vista dall'alto ("top view"), cioè una combinazione delle due classiche proiezioni postero-anteriori e latero-laterali che consentono una visualizzazione nuova e differente, la quale sarà appunto presentata in questo studio. Con il classico esame radiografico, la vista dall'alto è possibile, ma non è utile per aiutare la comprensione del comportamento del rachide; in letteratura, la vista dall'alto è già stata descritta sulla base sia di una ricostruzione computerizzata derivata dalle informazioni contenute nelle radiografie planari convenzionali e nelle stereoradiografie, sia di esami effettuati per mezzo di un'analisi della superficie; comunque, per quanto è a nostra conoscenza, finora nessuno ha cercato di formulare una nuova classificazione delle deformità vertebrali su questa base.

Tabella 1.

	Curve principali (media ± S.D.)	Curva secondaria (media ± S.D.)
Curve doppie	37,9 ± 12,8	37,9 ± 11,6
Curve singole	37,9 ± 14	15,5 ± 21,7
Curve triple	24 ± 16,5	36,7 ± 18,5
	27,7 ± 10,3	
Ipercoliosi	26	
Chim: 85 ± 9,2		
Lordosi: 58,6 ± 10,7		

Dati radiografici relativi alla popolazione oggetto di studio.

3 Scopo dello studio

In questo studio, abbiamo deciso di sviluppare una codificazione tridimensionale delle deformità vertebrali sulla base della loro visualizzazione attraverso la vista dall'alto generata da una strumentazione computerizzata non invasiva. Abbiamo utilizzato una simile fonte di dati perché volevamo avere a disposizione un alto numero di curve tridimensionali descritte in modo totalmente matematico e già memorizzate in un ampio database con tutte le misure cliniche e radiografiche del caso, allo scopo di sviluppare e verificare la possibilità di definire una nuova classificazione. Nondimeno, il nostro obiettivo finale, volto a migliorare la comprensione della complessità della terza dimensione, è quello di sviluppare una classificazione tridimensionale accessibile ai medici e diversa dalle attuali proiezioni radiografiche. A questo scopo, il presente articolo e quelli immediatamente seguenti sono solo i primi passi verso la verifica della fattibilità di questa idea, ma l'obiettivo finale non ancora raggiunto è quello di ottenere questa classificazione mediante l'impiego di strumenti utilizzati quotidianamente, come le radiografie dirette e le misure cliniche.

4 Il sistema AUSCAN

Tutti i partecipanti sono stati sottoposti a un esame optoelettronico superficiale mediante il sistema AUSCAN (AUtomatic SColiosis ANALYSer). Si tratta di una strumentazione optoelettronica automatica ideata specificamente per l'analisi posturale e funzionale dei pazienti affetti da deformità vertebrali. Il sistema è in grado di calcolare in tempo reale, con una campionatura a 100 Hz, le coordinate tridimensionali di una serie di marcatori precedentemente posizionati sulla pelle del soggetto analizzato. Le componenti principali del sistema sono due coppie di telecamere CCD, un FPSR (Fast Processor for Shape Recognition) e un pacchetto software appositamente ideato per l'elaborazione dei dati. La procedura seguita include una fase nella quale si posizionano 27 marcatori cutanei passivi (di forma emisferica e del diametro di 1 cm) su punti di repere anatomici predeterminati: 19 sul lato posteriore del paziente e 8 su quello anteriore. La ricostruzione delle coordinate dei 10 marcatori, posizionati in modo alternato sui processi spinosi (identificati mediante palpazione) delle vertebre da C7 a S1, fornisce dati precisi sulla morfologia vertebrale. Il legame fra la posizione dei marcatori cutanei e i centri delle vertebre è già stato descritto in svariati studi. La precisione delle coordinate dei marcatori, calcolate dal sistema AUSCAN, è stata verificata mediante prove specifiche: il margine di errore sperimentale è inferiore a 1 mm. I dati vengono acquisiti facendo stare in piedi il paziente per 1 secondo: l'elaborazione si basa sulla posizione media dei marcatori durante l'acquisizione. Tutti i pazienti sono stati sottoposti a 3 acquisizioni.

5 La vista dall'alto attraverso il sistema AUSCAN

Abbiamo calcolato la vista dall'alto utilizzando due diversi sistemi di riferimento: globale: il rachide viene proiettato sul piano orizzontale, in posizione ortogonale rispetto a un asse verticale di riferimento che corrisponde alla linea di gravità; vertebrale: il rachide viene proiettato sul piano orizzontale, in posizione ortogonale rispetto a una linea vertebrale verticale che abbiamo identificato nel nostro studio come la linea che unisce i punti di repere dei processi spinosi di C7 e S1 (Stokes suggerisce D1 come possibile alternativa a C7).

La figura 1 mette a confronto le viste dall'alto vertebrale e globale, calcolate per lo stesso soggetto. Le viste dall'alto sono state ottenute utilizzando la procedura descritta qui di seguito. La curva del rachide viene ricostruita interpolando i 10 marcatori posti sulle apofisi vertebrali. L'interpolazione viene eseguita calcolando le spline cubiche per ogni gruppo di tre marcatori consecutivi sul piano frontale (B spline: $y_i=f(x_i)$, $i=1..8$) e sagittale (B spline: $y_i=f(z_i)$, $i=1..8$). Le curve vengono campionate estraendo 100 punti equidistanti rispetto alla coordinata verticale nel sistema di riferimento (x,y) , $i=1..100$; (z,y) , $i=1..100$. Proiettando i punti sul piano, in posizione ortogonale rispetto all'asse verticale adottato, si ottengono i 100 punti che formano la vista dall'alto (x,z) , $i=1..100$. La campionatura della curva proiettata sul piano, in posizione perpendicolare rispetto all'asse verticale del sistema di riferimento prescelto, viene quindi eseguita in relazione alla coordinata verticale: questo giustifica la definizione di curva "quasi tridimensionale". La curva finale viene formata mediante un'interpolazione lineare delle coppie di punti consecutivi. Se si adotta il sistema di riferimento vertebrale, la prima azione da intraprendere è la rotazione del rachide fino a quando gli assi verticali (globale e vertebrale (C7-S1) coincidono (Figura 1).

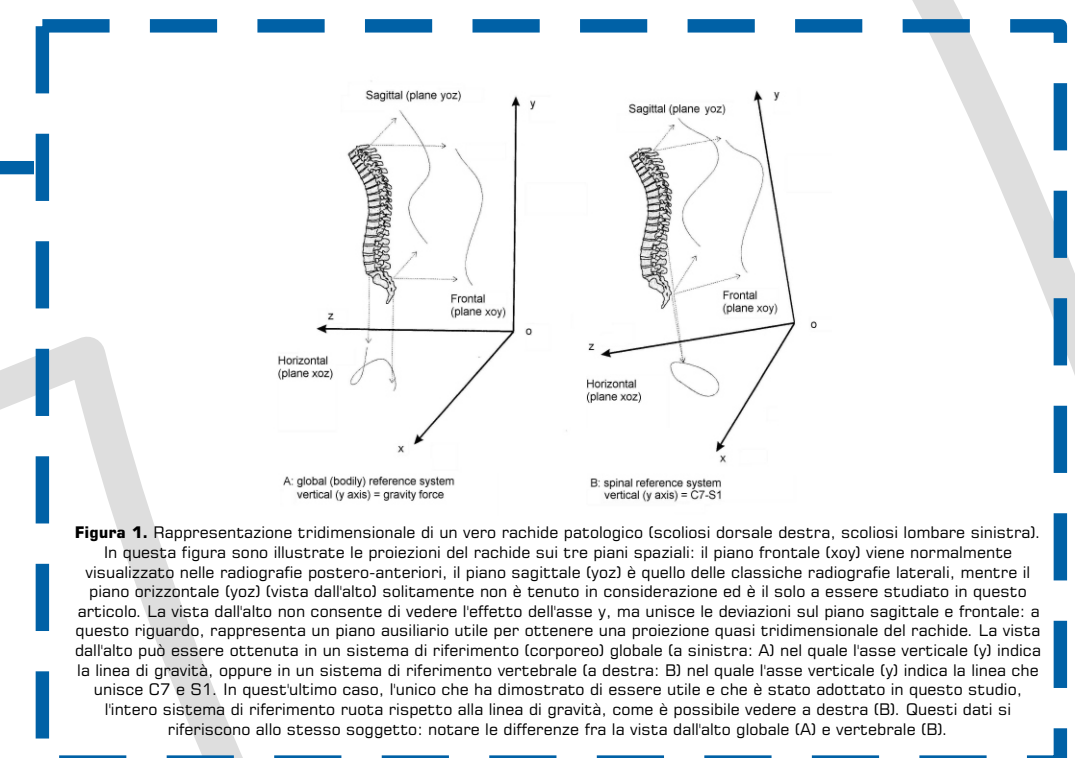


Figura 1. Rappresentazione tridimensionale di un vero rachide patologico (scelto come destra, scoliosi lombare sinistra). In questa figura sono illustrate le proiezioni del rachide sui tre piani spaziali: il piano frontale (vedi come normalmente visualizzato nelle radiografie postero-anteriori), il piano sagittale (vedi in quello delle classiche radiografie laterali), mentre il piano orizzontale (vedi sotto) illustra l'aspetto non e stereocentrico ed è a tutto e essere studiato in questo articolo. La vista dall'alto non consente di vedere l'effetto dell'eliosse, ma unisce le deviazioni sul piano sagittale e frontale; a questo riguardo, rappresenta un piano ausiliario utile per ottenere una proiezione quasi tridimensionale del rachide. La vista dall'alto può essere ottenuta in un sistema di riferimento globale (a sinistra, A) nel quale l'asse verticale (y) indica la linea di gravità, oppure in un sistema di riferimento vertebrale (a destra, B) nel quale l'asse verticale (y) indica la linea che unisce C7 e S1. In quest'ultimo caso, l'unico che ha dimostrato di essere utile e che è stato adottato in questo studio. Il nostro sistema di riferimento ruota rispetto alla linea di gravità, come è possibile vedere a destra (B). Questi due sistemi di riferimento allo stesso soggetto, notate la differenza fra la vista dall'alto globale (A) e vertebrale (B).

6 Metodologia per la classificazione

Sulla base delle tracce fornite dalla vista dall'alto di tutti i pazienti nell'ambito dei sistemi di riferimento globale e vertebrale, i criteri di classificazione sono stati sviluppati da uno degli autori (SN), un medico esperto posto in cieco rispetto ai dati clinici-radiografici dei pazienti. L'obiettivo era l'identificazione dell'esistenza di qualsiasi caratteristica morfologica tipica che potesse consentire il raggruppamento e il confronto delle curve. La vista dall'alto globale (Figura 1A) non ha consentito di raggruppare le curve in modo ragionevole sulla base della loro morfologia ed è stata eliminata da qualsiasi ulteriore calcolo. Quindi, da questo punto in poi, il termine "vista dall'alto" si riferirà esclusivamente alla vista dall'alto vertebrale (Figura 1B). I risultati ottenuti sono stati successivamente analizzati da un altro autore (AN) senza alcuna formazione clinica. In seguito, è stata eseguita una valutazione congiunta. Nel corso di questo procedimento, è stata posta una particolare attenzione a eliminare qualsiasi informazione ritenuta ridondante, specialmente quelle deducibili dalle proiezioni classiche sul piano frontale e sagittale. La fase successiva ha visto l'identificazione dell'espressione matematica delle caratteristiche morfologiche riconosciute, al fine di rendere possibile il calcolo di tutti i parametri considerati. In questo articolo presentiamo una percentuale, relativa alla distribuzione nella nostra popolazione delle opzioni classificatorie identificate, che è stata definita basandosi sui dati normativi ottenuti. Successivamente, come documentato nella seconda parte di questo studio, abbiamo verificato la ripetibilità delle informazioni ottenute. Le ultime due fasi di questo studio, che saranno descritte nella terza e nella quarta parte, si concentrano sul confronto con le tradizionali classificazioni radiografiche (Ponseti, King, Lenke) e con la classificazione tridimensionale esistente elaborata da Poncet. La classificazione è stata chiamata 3-DEMO, acronimo di "Three-Dimensional, Easy, MOρφological classification", per riassumere le sue caratteristiche. Infatti, sebbene in questo articolo tale classificazione sia stata necessariamente derivata mediante una complessa apparecchiatura optoelettronica, l'obiettivo era quello di rilevare parametri morfologici tridimensionali che fossero di facile comprensione da parte dei medici. Questo richiedeva l'impiego di reali ricostruzioni tridimensionali del rachide. Le fasi successive vedranno lo sviluppo dei metodi attraverso i quali ottenere (e successivamente utilizzare) questa classificazione nella pratica clinica quotidiana.

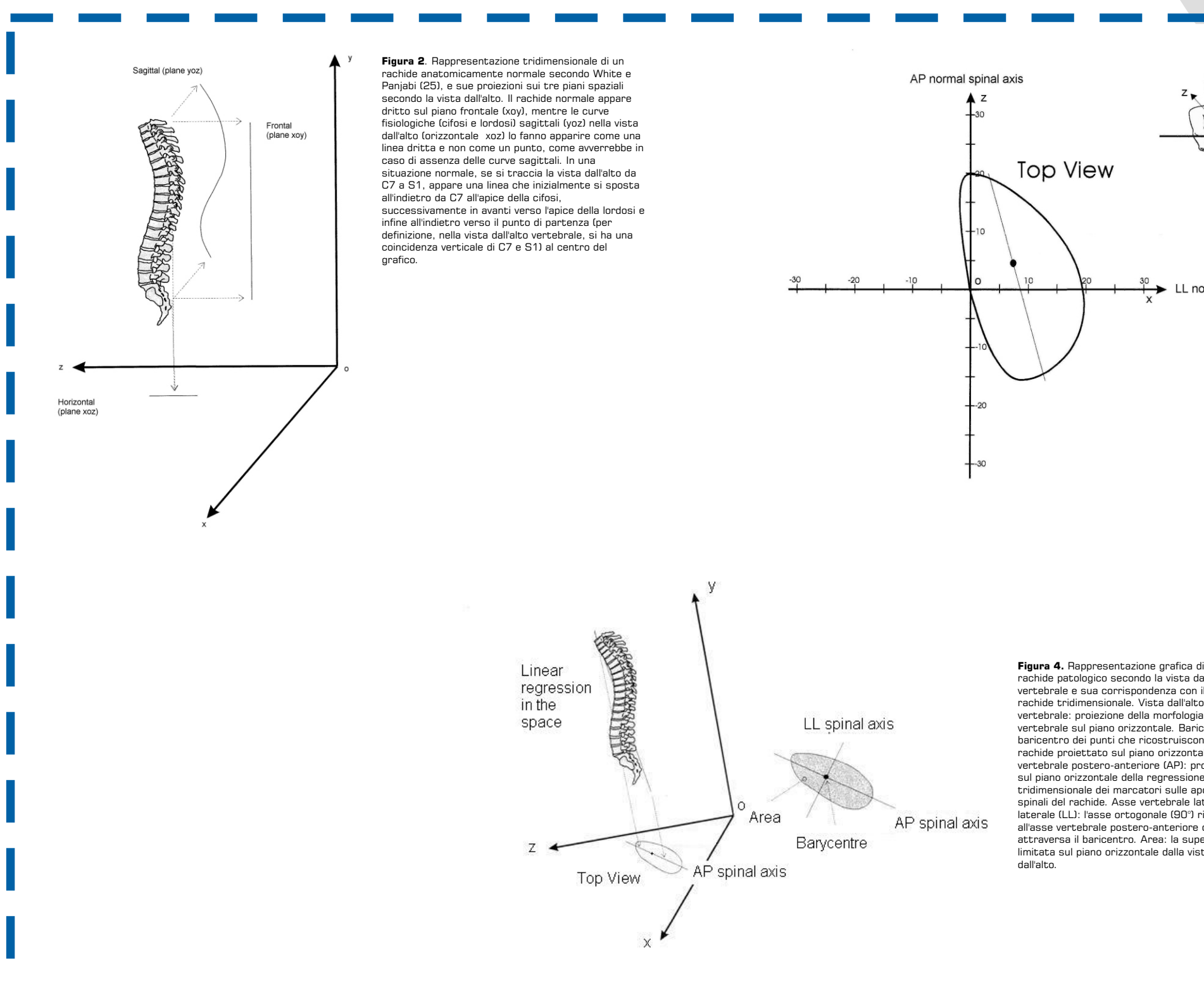


Figura 2. Vista dall'alto vertebrale di un rachide patologico, con indicazione degli assi di riferimento cartesiani. La rappresentazione grafica riguarda la parte superiore-posteriore del soggetto esaminato, in modo tale che le parti destra e sinistra del grafico corrispondono alle reali parti destra e frontale. Il centro degli assi cartesiani è la rappresentazione della linea che unisce C7-S1, cioè l'asse verticale di riferimento sul piano orizzontale. Il grafico illustra la proiezione della vista dall'alto. L'ordinata (z) rappresenta l'asse vertebrale postero-anteriore (AP), proiezione sul piano orizzontale della proiezione tridimensionale dei marcatori sulle apofisi spinose del rachide. L'ascissa (x) rappresenta l'asse latero-laterale (LL). L'asse ortogonale (90°) rispetto all'asse vertebrale postero-anteriore che attraversa S1 (z), questa linea corrisponde agli assi postero-anteriori del corpo e del bacino, così come l'asse del rachide nel modello teorico illustrato nella Figura 2.

7 Rappresentazione grafica della vista dall'alto vertebrale

Il sistema di riferimento cartesiano (Figura 1-2), sul quale viene proiettata la rappresentazione grafica del rachide di ogni soggetto, è ottenuto ruotando il sistema di riferimento globale al fine di renderlo un sistema di riferimento vertebrale. Questo accade quando gli assi verticale e vertebrale (C7-S1) coincidono e il centro del sistema di riferimento coincide con S1. Le misure sono espresse in millimetri. In questo studio facciamo riferimento a un concetto di normalità vertebrale anatomica, derivato dal modello di colonna vertebrale proposto da White e Panjabi: per un soggetto normale (Figura 2), il sistema di riferimento cartesiano dovrebbe coincidere con quello di laboratorio. La rappresentazione riguarda la vista superiore-posteriore del soggetto esaminato, in modo tale che la veduta destra e frontale del grafico corrisponda alla reale parte destra e frontale (Figura 3). La rappresentazione grafica "quasi tridimensionale" del rachide, secondo la vista dall'alto vertebrale, include (Figura 3 e 4): gli assi vertebrali postero-anteriori (ascissa) e latero-laterali (ordinata) definiti normali secondo il modello di colonna vertebrale elaborato da White e Panjabi, che costituisce il sistema di riferimento cartesiano; l'intersezione di questi assi è la linea che unisce C7-S1, cioè l'asse verticale della rappresentazione tridimensionale in un sistema di riferimento vertebrale; gli assi vertebrali postero-anteriori e latero-laterali normali coincidono con gli assi del corpo; la vista dall'alto, cioè l'area risultante dalla proiezione del rachide sul piano orizzontale; il baricentro, cioè il baricentro (centro di gravità) della vista dall'alto; l'asse vertebrale postero-anteriore, cioè la linea di regressione della vista dall'alto; l'asse vertebrale latero-laterale, cioè l'asse ortogonale (90°) rispetto all'asse postero-anteriore che attraversa il baricentro; l'area, cioè la superficie della vista dall'alto.