

# Colonna vertebrale: utilità delle nuove tecnologie per la valutazione

Claudia Fusco Fabio Zaina Stefano Negrini

**L**a teleradiografia rappresenta a tutt'oggi l'unico metodo universalmente riconosciuto e standardizzato per la valutazione delle deformità della colonna. Tuttavia essa presenta limiti come la bidimensionalità, la poca accuratezza nel quantificare i parametri, l'impossibilità di studiare la dinamica (se non con campionamenti molto bassi e a costo di notevoli dosi di raggi X) e soprattutto la pericolosità che ne limita l'uso per un monitoraggio frequente e uno *screening* su larga scala. Queste considerazioni hanno spinto chi si interessa da vicino di patologie rachidee a cercare altre soluzioni, sviluppando numerose tecniche di indagine alternative non ionizzanti. In particolare, dagli anni Settanta con la diffusione della topografia di Moiré, è iniziata una fase di studio e sviluppo di tecniche di analisi tridimensionali (3D) per il rilievo della morfologia dorsale in giovani pazienti affetti da deformità della colonna vertebrale.

Intorno agli anni Ottanta vennero sviluppati strumenti di misura a principio meccanico che utilizzavano punti anatomici fissi (punti di reperi) o tecniche di rilevamento rapportate a segmenti di superficie. Questi sistemi presuppongono tuttavia la necessità di un contatto fisico, implicando la possibilità di errori soggettivi. Parallelamente vennero sviluppate la tomografia computerizzata e la risonanza magnetica nucleare, che non offrono tuttavia possibilità di indagine applicabili nell'immediato futuro, dato che presentavano il problema dell'esposizione alle radiazioni, costi elevati e la necessità di una grande competenza tecnica da parte del personale addetto alla ricostruzione tridimensionale della superficie dorsale o della morfologia del

rachide partendo dai dati misurati. Inoltre, questi esami possono inoltre essere eseguiti solo in clinostatismo, il che comporta una considerevole variazione della morfologia dorsale.

Alcune di queste tecniche si sono affermate nella pratica clinica nonostante la mancanza di dati certi sulla ripetibilità e la validità della metodica: non esistendo uno standard ideale con il quale confrontarsi, lo sviluppo di nuove strumentazioni dovrebbe essere supportato da una fase di sperimentazione estremamente accurata ed estesa.

Gli strumenti di indagine di superficie del rachide, oltre ad avere una dimostrata ripetibilità, accuratezza e validità, caratteristiche indispensabili per qualsiasi metodo di misura, dovrebbero rispondere anche a requisiti specifici: non invasività, tridimensionalità dei risultati, capacità di eseguire analisi dinamiche, non interferenza del metodo di misura con gli aspetti fisiologici della prova, semplicità di utilizzo, memorizzazione efficiente dei dati e velocità di esecuzione.

## UN'OVERVIEW SUI PRINCIPALI SISTEMI ESISTENTI

Tra gli strumenti che attualmente trovano più ampio utilizzo nella pratica clinica in Italia e per i quali esistono studi in letteratura sono: il Baces 3D, il Formetric, il GOALS, l'ISIS, l'Ortelius, il Quantec (questi ultimi due più utilizzati all'estero), e lo Spinal Mouse.

### *Baces 3D*

Il sistema BACES (braccio articolato computerizzato per l'esplorazione di superficie)

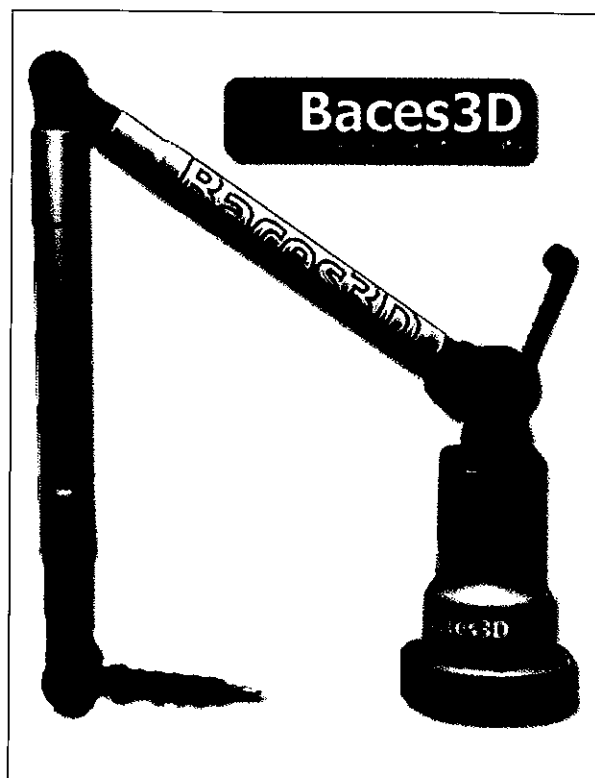


Figura 1  
Tastatore a contatto di misura Baces 3D 5/6 assi,  
un braccio di misura a movimento manuale  
dell'operatore (pgc Effebi).

è uno strumento costituito da un braccio di misura e di forma antropomorfa, che viene mosso da un operatore. Con questo strumento si possono acquisire punti, geometrie, superfici nello spazio tridimensionale del dorso del soggetto in esame senza contatto. Il braccio è fornito di cinque o sei assi di rotazione ed è composto da una base, due segmenti, puntale con pulsanti collegati tra loro da giunti e stilo di misura. Realizzato in alluminio aeronautico anodizzato e dotato di *encoder* ottici di precisione, garantisce un'ottima ripetibilità e il mantenimento nel tempo della calibrazione e quindi della precisione stessa di misura. I dati acquisiti vengono inviati a un computer che li analizza restituendo misurazioni circa la colonna del paziente (figura 1).

Sul braccio di misura Baces 3D può essere montato un accessorio, il sistema ScanFlex, che permette la scansione laser senza contatto di oggetti tridimensionali. L'elevata quantità di punti acquisita permette il rilievo di oggetti complessi molto più velocemente che con i tradizionali tastatori a contatto. A seguito della scansione è possibile importare la nuvola di punti ottenuta in un programma per la ricostruzione geometrica dell'oggetto campione oppure il controllo qualità attraverso il confronto con il modello CAD.

Esso consente un'accurata misurazione biplanare in ortostatismo, con la possibilità di calcolare l'ampiezza delle curve presenti sul piano sia frontale sia sagittale e soprattutto di quantificare le rotazioni a tutti i livelli vertebrali<sup>1</sup>. È inoltre possibile, con adattamenti del corsetto per permettere l'accesso del tastatore, stabilire se la correzione ortesica sia efficace, nonché verificare la correzione ottenuta con esercizi specifici per le deformità rachidee. D'Osualdo et al.<sup>2</sup> hanno pubblicato un articolo nel 2002 nel quale hanno messo in luce come questo sistema di analisi di superficie possa identificare con buona precisione l'entità della cifosi, della scoliosi e della rotazione dei corpi vertebrali, con

Figura 2  
Spinometria® Formetric per lo *screening*  
e lo studio della scoliosi nei bambini  
per evitarne i rischi connessi all'alto numero  
di esposizioni ai raggi X (pgc Hako-med).

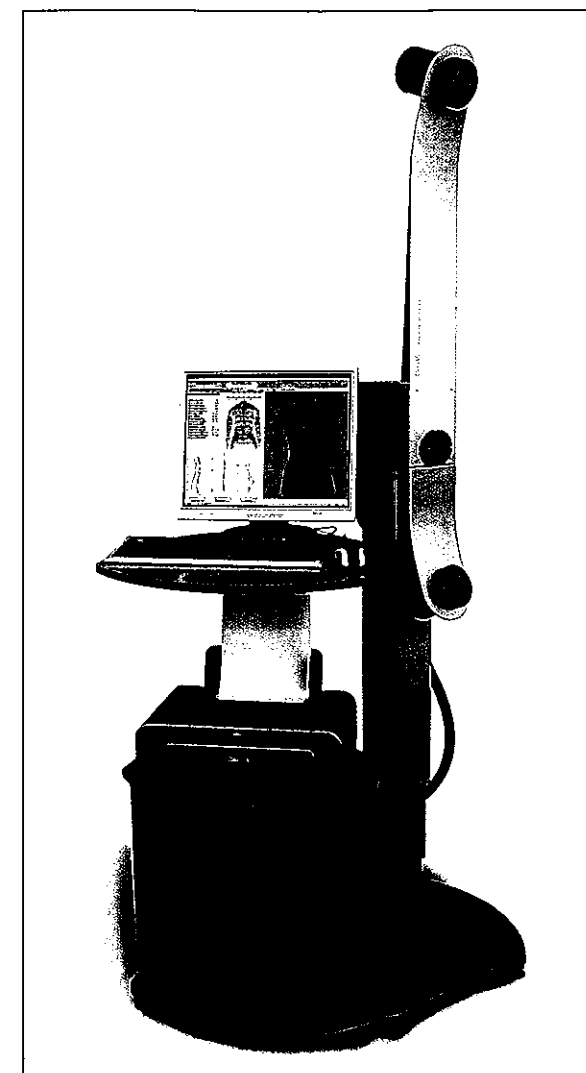
un errore di misura sotto i 3° Cobb per la cifosi e la scoliosi, mentre l'entità della lordosi mostrava maggiore variabilità; per la rotazione hanno riportato una minore variabilità, inferiore ai 2°.

### Formetric

La spinometria® Formetric è un sistema di indagine di superficie basato sul principio della rasterstereografia e permette la veloce acquisizione di informazioni posturali. Il fondamento metodologico dell'analisi morfologica dorsale è rappresentato dalla stereofotogrammetria, che a sua volta si basa sul principio della triangolazione<sup>3</sup>. Una caratteristica vincente della rasterstereografia rispetto ai procedimenti alternativi è la possibilità di ricostruire la reale morfologia ossea del rachide e di definire automaticamente un rapporto di tipo spaziale tra morfologia dorsale e scheletro osseo.

Praticamente una fotocamera o una videocamera riprendono da un'angolazione matematicamente prestabilita un *pattern* luminoso proiettato sulla superficie dorsale del soggetto esaminato e le trasmettono a un computer che analizza, nel giro di qualche secondo, le differenze tra l'immagine proiettata e quella registrata, ricostruendo la morfologia dorsale con resa tridimensionale ed effettuando un'analisi matematica di tale morfologia sulla base delle irregolarità superficiali rilevate. I dati così ottenuti consentono di identificare strutture anatomiche da assumere come punti di repere per il calcolo della morfologia del rachide.

In definitiva il sistema permette di ottenere la ricostruzione tridimensionale del bacino, il modello e i valori della colonna al momento della rilevazione nella postura momentanea, i principali parametri di postura. I valori ottenuti permettono un calcolo dei parametri della colonna con una precisione media di 3° per la rotazione di corpi vertebrali,  $\pm 2$  mm per il dislocamento laterale dal centro della vertebra,



$\pm 2,5$  mm per la determinazione dei punti fissi anatomici.

Le informazioni ottenibili dal Formetric sono l'inclinazione, la rotazione, la torsione del bacino, la rotazione, la deviazione laterale della colonna, parametri posturali come l'angolo della cifosi e lordosi, l'inclinazione anteroposteriore, l'inclinazione delle spalle nonché la mobilità cervico-craniale.

Il Formetric permette quindi di valutare l'impronta della superficie del dorso, i punti anatomici fissi, il modello della colonna, la veduta frontale, sagittale e il percorso rotatorio, posizione, torsione e rotazione del bacino, la mobilità della colonna, mentre non permette di valutare la morfologia della colonna (figura 2).

Per verificare la precisione del metodo è stato eseguito uno studio su un campione di 77 pazienti affetti da deformità del rachide di grado

## L'ANALISI DI SUPERFICIE DEL TRONCO È UTILE AL CLINICO?

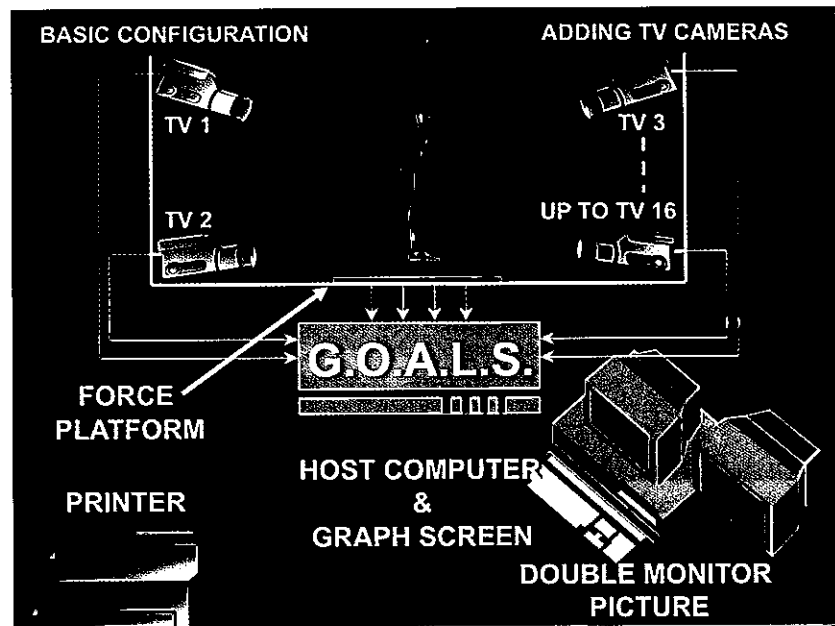
Molti di questi strumenti esistono da più di vent'anni e i promotori sostengono a spada tratta la loro utilità, ma la penetrazione nel mondo clinico è stata veramente scarsa. Spesso chi ne ha fatto uso è stato più interessato agli aspetti bioingegneristici, o a quelli di ricerca, o ancora a quelli degli approfondimenti teorici che queste strumentazioni consentivano. Ma il problema del clinico è che ha a disposizione poco tempo, che il paziente (almeno da un punto di vista etico, che è quello comunque prevalente in chi non è "drogato" di tecnologia) non può disperdere il proprio denaro in esami non utili per modificare o la diagnosi o la terapia, o che per lo meno consentano di monitorare il trattamento in modo migliore e/o meno invasivo. Questo sembra proprio l'esame di maturità con cui si stanno definitivamente scontrando tutte queste tecnologie.

Noi abbiamo dato le nostre risposte e usiamo alcune di queste tecnologie nella quotidianità, ma al prossimo Congresso ISICO del 20 marzo 2010 vogliamo radunare a Milano altri esperti clinici (e non bioingegneri) per avere anche le loro indicazioni e suggerimenti e per offrire alla platea dei partecipanti al R&R 2010 tutte le risposte che cercano.

Insomma: servono o no? E se sì, a che cosa nello specifico?

Figura 3

Il sistema optoelettronico GOALS (*Global optoelectronic approach for locomotion and spine*) è stato pensato per effettuare l'analisi della postura dell'intero scheletro e della morfologia tridimensionale della colonna vertebrale (pgc Bioengineering & biomedicine company).



elevato e già sottoposti a intervento chirurgico<sup>4-5</sup>. L'indagine è stata svolta mediante confronto tra i risultati delle misurazioni eseguite con la tecnica della rasterstereografia e le immagini radiografiche digitalizzate riguardanti i medesimi pazienti.

L'approssimazione della rasterstereografia nel caso di scoliosi idiopatiche tra 46 e 88° si è rivelata di 6,2 mm per la deviazione vertebrale laterale e di 4,6° per la rotazione vertebrale; il grado di precisione è leggermente ridotto nelle scoliosi importanti rispetto a quelle con angolo di Cobb fino a 50°. In quest'ultimo caso i valori si sono attestati rispettivamente a 4 e 3 mm.

Un ulteriore sviluppo del Formetric è il 4D che permette non solo valutazioni statiche ma anche funzionali come misurazioni di postura (per esempio, durante test di Romberg e Trendelenburg), misurazioni dinamiche sullo *stepper* o sul *tapis roulant*, misurazione della mobilità della colonna cervicale (flessione, estensione, flessione laterale e rotazione).

### *Global optoelectronic approach for locomotion and spine*

Il sistema optoelettronico *Global optoelectronic approach for locomotion and spine* (GOALS) è stato pensato per effettuare l'analisi della postura dell'intero scheletro e della morfologia tridimensionale della colonna vertebrale. Ta-

le sistema, che può essere considerato come un'evoluzione dell'Auscan, permette tramite l'uso di riprese televisive di opportune telecamere, di ottenere misure tridimensionali della morfologia della colonna vertebrale e della postura di tutto il corpo del soggetto o meglio del suo scheletro.

Per l'acquisizione delle immagini vengono contrassegnati come nel caso precedente gli stessi 27 punti mediante alcuni *marker* cutanei fissati con nastro biadesivo. Il paziente viene invitato semplicemente a mantenere la sua naturale stazione eretta. Si possono acquisire immagini anche in flessione laterale, ma secondo i casi anche in stazione eretta con uso di plantari, rialzi, su piani instabili o durante l'esecuzione di particolari esercizi particolari, con l'utilizzo di opportuni plantari e/o rialzi per testare le condizioni di bilanciamento e di distribuzione del carico di appoggio o ancora di altri semplici esercizi.

Con una serie di telecamere si effettuano riprese stereofotogrammetriche e la posizione di tutti i contrassegni viene rilevata e misurata nello spazio tridimensionale con una accuratezza tale da individuare spostamenti dell'ordine di frazioni di millimetro e ciò alla velocità di decine e/o centinaia (in funzione del modello) di misure tridimensionali al secondo (figura 3).

Il *software* processa i dati acquisiti producendo la restituzione grafica e numerica dei risultati con la completa ricostruzione tridimensionale



Figura 4  
Questo strumento – Ortelius 800 – è utile per monitorare l'evoluzione delle curve evitando l'esposizione a radiazioni (pgc OrthoScan Technologies).

dello scheletro e della morfologia della colonna vertebrale. Il test completo ha la durata media di 30-45 minuti.

Numerosi studi hanno valutato l'utilità clinica dell'uso del GOALS<sup>6-7</sup>: in particolare in uno studio preliminare pubblicato da D'Amico et al. nel 2007<sup>8</sup> è stata osservata la capacità di questo strumentario nell'analizzare la cinetica e la cinematica elaborando dati provenienti anche da altri dispositivi di misurazione come piattaforme di forza ed elettromiografia di superficie.

**Integrated shape imaging system** – Il sistema *Integrated shape imaging system* (ISIS), introdotto nel 1988, è dotato di una sorgente luminosa costituita da un proiettore che genera un piano orizzontale di radiazione visibile incidente il dorso del paziente in esame. Un opportuno sensore, costituito da una telecamera posta in posizione nota rispetto al proiettore, permette la rilevazione della linea di riflessione del piano luminoso sul dorso del paziente. Eseguendo una scansione completa del dorso, si può ottenere una mappa altimetrica discreta e l'analisi della mappa permette di individuare asimmetrie e valutare le torsioni del busto o la presenza di gibbi<sup>9</sup>. La conformazione del rachide può essere individuata utilizzando la curva spaziale interpolante una sequenza di punti "vuoti" generata sulla linea di riflessione tramite marcatori opachi posti su alcuni processi spinosi. Un aspetto problematico del metodo è ovviamente il tempo di scansione non trascurabile, che impedisce analisi dinamiche e che, date le variazioni posturali del soggetto,

può dare risultati distorti; il posizionamento dei *marker* da parte di un operatore può inoltre dare luogo a variazioni inter- e intraoperatore. Problemi di accuratezza dei dati sono provocati dal tipo di scansione (rotazione meccanica del gruppo proiettore-telecamera), e dalla ricostruzione stereofotogrammetrica delle coordinate spaziali<sup>10</sup>.

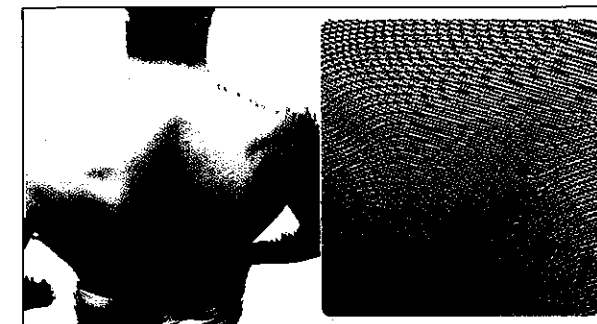
De Wilde et al.<sup>11</sup> hanno valutato statisticamente l'errore di misura inter- e intraosservatore: il metodo ISIS esce piuttosto ridimensionato da questa analisi, a causa della bassa ripetibilità dei dati forniti. Negli ultimi anni è stata sviluppata una versione aggiornata (ISIS2) con l'obiettivo di migliorarne la velocità di esecuzione, l'accuratezza e la ripetibilità. Un recente studio osservazionale<sup>12</sup> ha confermato l'utilità dell'utilizzo dell'ISIS2 nel valutare e monitorare la progressione della scoliosi.

### Ortelius

Il sistema Ortelius 800 utilizza un campo elettromagnetico per individuare un dito sonda che viene utilizzato dall'esaminatore. Il dito dell'operatore viene posto su ciascuno dei processi spinosi e la localizzazione viene registrata dalla macchina. Viene usato un algoritmo matematico per stimare la forma della colonna (figura 4).

Studi hanno mostrato una stretta correlazione tra le misurazioni radiografiche degli angoli di Cobb in pazienti con scoliosi e quelle ottenute con il sistema Ortelius<sup>13-14</sup>. Ovadia et al.<sup>15</sup> hanno osservato che la misurazione dell'angolo di Cobb differisce di soli 5° sul piano coronale e 6° sul piano sagittale. In un articolo pubblicato da Knott et al.<sup>16</sup> gli Autori hanno concluso che questo strumento ha una moderata riproducibilità e ripetibilità nel predire la misurazione radiografica della curva. In particolare esso potrebbe essere utilizzato come strumento di *screening* su una popolazione asintomatica e co-

Figura 5  
*Quantec spinal imaging system* (qsis): attraverso la rilevazione di superficie, permette di ottenere immagini tridimensionali mediante la rasterstereografia.



me strumento per monitorare adolescenti con curve lievi permettendo di evitare l'esposizione a radiazioni.

### Quantec

Il sistema *Quantec spinal imaging system* (Qsis) consente la rilevazione di superficie per ottenere immagini tridimensionali mediante la rasterstereografia.

Il Qsis fu descritto per la prima volta nel 1994. Con questa tecnica un reticolo di linee ad alta risoluzione viene proiettato sul dorso del paziente in posizione ortostatica e ripreso con una fotocamera con una certa angolazione. I punti di repere vengono marcati manualmente in corrispondenza delle spinose da T<sub>1</sub> a S<sub>1</sub> e sulle spine iliache posterosuperiori e, quindi, con l'ausilio di un computer, si procede alla ricostruzione tridimensionale della morfologia del dorso secondo i principi della stereofotogrammetria. Il metodo permette di determinare la deviazione laterale, l'obliquità del bacino, la lunghezza del tronco e il profilo della colonna vertebrale. Non calcola invece l'angolo di rotazione superficiale, né consente un'esatta ricostruzione della colonna vertebrale stessa, ma permette unicamente di eseguire una stima approssimativa delle deformità vertebrali basandosi sulla forma del dorso (figura 5).

Vari studi hanno valutato la ripetibilità del sistema Quantec nel monitoraggio della scoliosi: Assous et al. nel 2005 hanno riportato una buona riproducibilità e ripetibilità, osservando che le scoliosi sotto i 30° possono essere seguite con buona sicurezza con monitoraggio clinico e con il sistema Quantec riducendo il numero di radiografie<sup>17</sup>. Secondo uno studio pubblicato da Liu et al. nel 2001, il sistema Quantec può essere vantaggiosamente utilizzato per eseguire una prima classificazione funzionale dell'entità della curva in modo da indirizzare meglio i pazienti verso l'esecuzione delle radiografie<sup>18</sup>.

### Spinal mouse

Si tratta di un sistema di valutazione guidato da un *software* (*computer-aided*) che velocemente riesce a determinare la forma, la postura e la mobilità generale della colonna e quella di ciascun segmento vertebrale da T<sub>1</sub> a S<sub>1</sub>. Lo strumento di rilevazione viene manualmente guidato da un operatore direttamente sulla pelle del dorso lungo l'intera colonna vertebrale.

I dati rilevati vengono inviati mediante un sistema telemetrico a un computer che li registra, elabora e fornisce la stampa di grafici che mostrano l'intero assetto sagittale e frontale del rachide in posizione eretta, nei movimenti di *bending* laterale e flessione. Dall'interpretazione dei grafici è possibile desumere la presenza di aree di ridotta o abnorme mobilità, di una deviazione frontale del rachide, nonché valutare l'inclinazione pelvica e la motilità delle anche.

Tra i punti di forza di questo strumento vi sono la bassa curva di apprendimento del personale che effettua la rilevazione, la facile interpretazione dei dati visivamente evidenti anche al paziente, la capacità di valutare la superficie corporea anche nei movimenti di inclinazione e flessione del rachide<sup>19</sup>.

### LA NOSTRA ESPERIENZA

Presso l'ISICO è stata condotta un'esperienza con il sistema GOALS e con il Formetric; in particolare sono stati condotti due studi clinici utilizzando i dati ottenuti dal sistema GOALS e uno con il Formetric.

Nel primo studio, pubblicato da Romano et al. nel 2008, l'intento era quello di valutare cosa accade alla curva scoliotica in situazioni di



instabilità<sup>20</sup>. Sono state eseguite acquisizioni in pazienti affetti da scoliosi in due momenti: in posizione ortostatica indifferente e in una situazione di squilibrio con i piedi su una pedana instabile. È stata osservata una reazione di raddrizzamento nelle acquisizioni su piano instabile con una riduzione statisticamente significativa – ma non altrettanto significativa a livello clinico – dell'entità della curva.

La ripetibilità e la possibilità di eseguire anche più acquisizioni successive sullo stesso paziente anche nello stesso giorno, grazie alla non invasività, hanno reso possibile l'esecuzione di un altro studio pubblicato da Negrini et al. nel 2008<sup>21</sup>. Sono state eseguite acquisizioni ogni ora per ore su dieci pazienti in trattamento con corsetto a tempo pieno. Veniva chiesto alle pazienti di rimuovere il corsetto immediatamente prima della prima acquisizione e poi veniva nuovamente indossato solo dopo quattro ore. Lo scopo dello studio era quello di monitorare l'eventuale modificazione posturale della curva durante le ore in cui non veniva indossato il corsetto, mostrando come nelle ragazze che portavano il corsetto per 23 ore al giorno avvenissero modificazioni statisticamente significative in tutti i parametri esaminati tra la prima e la terza ora, con tendenza alla progressione della scoliosi.

Attualmente il sistema Formetric viene quotidianamente utilizzato nella pratica clinica nel nostro Istituto soprattutto nella valutazione posturale dei pazienti affetti da deformità rachidee sul piano laterale e nel monitoraggio dei pazienti scoliotici adulti. L'utilità pratica è quella di permettere ai medici di seguire nel tempo l'evoluzione di ragazzi affetti da ipercifosi dorsale o dorsolombare idiopatica o secondaria a morbo di Scheuermann, valutando l'efficacia della terapia. Permette inoltre di avere riscontro immediato della correzione sia nella scoliosi sia nell'ipercifosi durante l'esecuzione del movimento di autocorrezione secondo il nostro metodo SEAS (*Scientific approach to scoliosis*, approccio scientifico con esercizi alla scoliosi).

È stato presentato uno studio al 6<sup>th</sup> *International conference on conservative management of spinal deformities*<sup>22</sup> il cui intento era quello di valutare se differenti posizioni delle braccia po-

tessero modificare gli angoli della cifosi e lordosi sul piano sagittale. In questo studio trasversale 85 pazienti sono stati sottoposti a esame 4-D Formetric della postura in posizione eretta con braccia lungo i fianchi e successivamente in posizioni con progressiva elevazione delle braccia (45, 90, 135 e 180°) e con le braccia conserte. Ne è emerso che la maggiore differenza si ha con le braccia conserte rispetto l'elevazione a 180° e soprattutto l'indagine di superficie si è rilevata utile nel monitorare l'andamento dei pazienti con deformità sul piano sagittale. La non invasività del Formetric ha reso possibile, così come nello studio precedente eseguito con il GOALS, di sottoporre i pazienti a più valutazioni nello stesso giorno senza effetti collaterali.

## METODI D'INDAGINE ALLA VERIFICA

Sebbene l'indagine radiografica ricopra un ruolo preminente e insostituibile nella valutazione delle varie problematiche della colonna vertebrale, in particolare nella localizzazione e misurazione dell'entità delle deformazioni rachidee nell'epoca adolescenziale, si stanno affacciando, ormai da vari anni, sul panorama scientifico internazionale diversi metodi d'indagine di superficie non invasivi e non ionizzanti che possono rappresentare un valido aiuto nella pratica clinica soprattutto nello stretto monitoraggio dell'evoluzione di deformità come la scoliosi, senza rappresentare mai, comunque, possibili sostituti alla radiografia. Il vero problema di gran parte di questi strumenti è se si possano usare utilmente nella pratica clinica quotidiana. Offrono al clinico qualcosa di realmente utile che consenta di modificare l'approccio al paziente?

*Claudia Fusco*

*Fabio Zaina*

*Stefano Negrini*

Specialisti in Medicina fisica e riabilitazione  
ISICO, Milano

Ulteriori approfondimenti  
sono disponibili in

**[www.ilfisioterapista.it](http://www.ilfisioterapista.it)**

