



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Medicina e Chirurgia

OUTCOME CLINICI IN PAZIENTI CON
FRATTURA VERTEBRALE TORACO-LOMBARE
TRAUMATICA: UN'ANALISI COMPARATIVA
DEI RISULTATI IN PAZIENTI OSTEOPOROTICI E
NON OSTEOPOROTICI

CLINICAL OUTCOMES OF TRAUMATIC
THORACO-LUMBAR FRACTURES: A
COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN
OSTEOPOROTIC AND NON-OSTEOPOROTIC
PATIENTS

Relatore: Chiar.mo
Prof. Mauro Dobran

Tesi di Laurea di:
Nicola Serritelli

Correlatore: Chiar.mo
Prof. Marco Bartolini

A.A. 2025/2026

SOMMARIO

ABSTRACT	1
BACKGROUND	1
OBIETTIVO DELLO STUDIO	1
MATERIALI E METODI	1
RISULTATI	1
CONCLUSIONI	2
INTRODUZIONE	3
1 FRATTURE VERTEBRALI TORACO-LOMBARI	5
1.1 LA COLONNA VERTEBRALE	5
1.2 STRUTTURA DELLE VERTEBRE	6
1.2.1 ANATOMIA DEL TRATTO TORACICO	7
1.2.2 ANATOMIA DEL TRATTO LOMBARE	8
1.3 BIOMECCANICA DELLA COLONNA VERTEBRALE	9
1.3.1 STABILITÀ E INSTABILITÀ VERTEBRALE	11
1.4 FRATTURE VERTEBRALI TORACO-LOMBARI	12
1.4.1 EPIDEMIOLOGIA E FATTORI DI RISCHIO	12
1.4.2 CLASSIFICAZIONE DI DENIS	12
1.4.3 CLASSIFICAZIONE AO SPINE	13
1.4.4 CLASSIFICAZIONE DI GENANT	17
1.4.5 CLASSIFICAZIONE TLICS	19
1.4.6 FRATTURE TRAUMATICHE E PATOLOGICHE	20
1.5 COINVOLGIMENTO NEUROLOGICO	21
1.6 DIAGNOSI DELLE FRATTURE TORACO-LOMBARI	21
1.6.1 RADIOGRAFIA	22
1.6.2 TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA	22
1.6.3 RISONANZA MAGNETICA	23
1.7 TRATTAMENTO DELLE FRATTURE TORACO-LOMBARI	24
1.7.1 TRATTAMENTO CONSERVATIVO	24
1.7.2 TRATTAMENTO CHIRURGICO	25
2 OSTEOPOROSI	26
2.1 CLASSIFICAZIONE DELL'OSTEOPOROSI	27
2.1.1 OSTEOPOROSI PRIMARIA	27
2.1.2 OSTEOPOROSI SECONDARIA	28
2.2 EPIDEMIOLOGIA	28

2.3	FISIOPATOLOGIA	28
2.4	FATTORI DI RISCHIO	31
2.5	MANIFESTAZIONI CLINICHE	32
2.6	SCREENING E DIAGNOSI	32
2.6.1	<i>DIAGNOSI DENSITOMETRICA</i>	33
2.6.2	<i>DIAGNOSI CLINICA E RADIOLOGICA</i>	34
2.7	TRATTAMENTO	35
2.7.1	<i>TRATTAMENTO NON FARMACOLOGICO</i>	35
2.7.2	<i>TRATTAMENTO FARMACOLOGICO</i>	36
2.8	IMPLICAZIONI DELL'OSTEOPOROSI NELLE FRATTURE TORACO-LOMBARI	40
3	TRATTAMENTO CHIRURGICO	42
3.1	INDICAZIONI E OBIETTIVI	42
3.2	STRUMENTARIO CHIRURGICO	43
3.2.1	<i>STRUMENTAZIONE CHIRURGICA</i>	47
3.3	TECNICHE CHIRURGICHE	49
3.3.1	<i>STABILIZZAZIONE POSTERIORE MEDIANTE VITI PEDUNCOLARI</i>	54
3.3.2	<i>DECOMPRESSIONE DEL CANALE VERTEBRALE</i>	65
3.3.3	<i>VERTEBROPLASTICA</i>	68
3.4	CONSIDERAZIONI NEL PAZIENTE CON OSTEOPOROSI	72
4	OGGETTO E SCOPO DELLO STUDIO	76
5	MATERIALI E METODI	77
5.1	DATI CLINICI	78
5.2	DATI DI INTERESSE CHIRURGICO	80
5.3	ANALISI STATISTICA	80
6	RISULTATI	82
6.1	CARATTERISTICHE DELLA POPOLAZIONE	82
6.2	OUTCOME CLINICI	83
6.2.1	<i>ANALISI SCORE VAS</i>	83
6.2.2	<i>ANALISI SCORE ODI</i>	83
6.3	VARIABILI CLINICHE E CHIRURGICHE CATEGORIALI	84
6.3.1	<i>NUMERO LIVELLI STABILIZZATI</i>	84
6.3.2	<i>DURATA DELL'UTILIZZO DEL BUSTO</i>	85
6.3.3	<i>UTILIZZO DI FARMACI ANALGESICI</i>	85
7	DISCUSSIONE	87
8	CONCLUSIONI	92

ABSTRACT

BACKGROUND

Le fratture vertebrali toraco-lombari traumatiche rappresentano una frequente causa di dolore, disabilità e compromissione funzionale. Nei pazienti affetti da osteoporosi, la ridotta qualità ossea può influenzare negativamente la stabilità biomeccanica della strumentazione vertebrale e gli outcome clinici post-operatori.

OBIETTIVO DELLO STUDIO

Lo scopo del presente studio è valutare l'outcome clinico e funzionale nei pazienti sottoposti a stabilizzazione vertebrale posteriore per frattura toraco-lombare traumatica, confrontando pazienti osteoporotici e non osteoporotici.

MATERIALI E METODI

È stato condotto uno studio retrospettivo osservazionale monocentrico su 40 pazienti sottoposti a trattamento chirurgico mediante viti trans-peduncolari e barre para-vertebrali. I pazienti sono stati suddivisi in due gruppi sulla base della presenza o assenza di osteoporosi. Sono stati analizzati dolore residuo mediante scala VAS, outcome funzionale tramite indice ODI, necessità di terapia analgesica e durata dell'utilizzo del busto ortopedico nel follow-up post-operatorio.

RISULTATI

I pazienti osteoporotici hanno mostrato valori significativamente più elevati sia nella scala VAS (6.89 ± 1.20 vs 3.57 ± 1.78 ; $p < 0.001$) sia nell'indice ODI (27.6 ± 7.83 vs 6.38 ± 4.75 ; $p < 0.001$) rispetto ai pazienti non osteoporotici. Inoltre, il gruppo osteoporotico ha presentato una maggiore necessità di trattamento analgesico prolungato (57.9% vs 14.3% ; $p = 0.010$) e un utilizzo più duraturo del busto ortopedico (89.5% vs 52.4% ; $p = 0.027$).

CONCLUSIONI

L'osteoporosi sembra influenzare negativamente gli outcome clinici e funzionali nei pazienti sottoposti a stabilizzazione vertebrale per frattura toraco-lombare traumatica. I risultati ottenuti evidenziano l'importanza di una corretta valutazione della qualità ossea e di strategie terapeutiche dedicate nei pazienti osteoporotici.

INTRODUZIONE

Le fratture vertebrali sono definite come un'interruzione dell'integrità strutturale del corpo vertebrale, con conseguenti ripercussioni biomeccaniche e cliniche di gravità variabile. (1)

Il tratto toraco-lombare è una zona di transizione tra il rachide toracico, relativamente rigido per la presenza della gabbia toracica, e quello lombare, maggiormente mobile. Qui si incontrano anche le fisiologiche cifosi toracica e lordosi lombare. Questi multipli fattori determinano una concentrazione di stress maggiore in questa zona, decretandola come il più frequente sito di frattura vertebrale.

La gestione di tali fratture dipende da molteplici fattori, tra cui la morfologia della frattura, la stabilità della colonna vertebrale e l'eventuale coinvolgimento neurologico, elementi che ne determinano un ampio spettro di presentazioni cliniche, da quadri paucisintomatici fino a deficit sensitivo-motori di diversa entità.

La classificazione AO Spine rappresenta uno dei sistemi più diffusi per l'inquadramento delle fratture toraco-lombari, basandosi sulla morfologia della lesione e sui meccanismi traumatici e distinguendo tre categorie di fratture (A, B e C), in funzione del grado di coinvolgimento delle strutture vertebrali e della stabilità della colonna. Tale classificazione risulta utile nella pratica clinica per orientare le scelte terapeutiche. (2)

Nei casi di instabilità vertebrale, rischio di compromissione neurologica o dolore particolarmente insistente, il trattamento chirurgico mediante stabilizzazione con sistemi di fissazione rappresenta lo standard di cura. Gli obiettivi di tale approccio sono il ripristino dell'allineamento vertebrale, la stabilizzazione del segmento lesionato, la protezione delle strutture neurologiche e la riduzione del dolore attraverso la decompressione di midollo e nervi, favorendo il recupero funzionale del paziente. (3)

Un aspetto di crescente interesse nella pratica clinica è rappresentato dall'influenza delle comorbidità, una fra tutte l'osteoporosi, sugli esiti clinici dei pazienti sottoposti a stabilizzazione vertebrale. L'osteoporosi, caratterizzata da una riduzione della densità minerale ossea e da un'alterazione della microarchitettura del tessuto osseo, può

compromettere la tenuta del sistema di artrodesi, aumentando il rischio di complicanze meccaniche, fattore che incide negativamente sul decorso post-operatorio e sul recupero funzionale. (4)

Alla luce di queste considerazioni, lo scopo del presente studio è valutare l'outcome clinico, in termini di dolore e disabilità, in pazienti sottoposti a stabilizzazione chirurgica per fratture toraco-lombari traumatiche, confrontando soggetti con e senza osteoporosi. Gli outcome clinici sono stati valutati mediante scala VAS (*Visual Analogue Scale*) e indice ODI (*Oswestry Disability Index*), al follow-up disponibile. (5)

1 FRATTURE VERTEBRALI TORACO-LOMBARI

1.1 LA COLONNA VERTEBRALE

La colonna vertebrale o rachide forma lo scheletro del dorso ed è la porzione principale dello scheletro assiale. È un complesso osseo costituito da 33-34 vertebre che si estendono dall'atlante fino all'apice del coccige e che si articolano con il cranio, le coste e le due ossa dell'anca. Nell'adulto è lunga 72-75 cm, di cui circa un quarto è caratterizzato dai dischi intervertebrali che si interpongono tra le vertebre. (6) (7)

Oltre alla parte scheletrica, partecipano alla stabilità della colonna vertebrale anche muscoli e legamenti, in grado di gestire e guidare i movimenti.

I muscoli vengono distinti, in base alla loro sede in: muscoli spinali posteriori, muscoli spinali anteriori, muscoli segmentali minori, muscoli respiratori o intercostali, muscoli superficiali del tronco e muscoli del muro addominale. Il maggior rischio di infortunio si ha quando sono sottoposti alla massima tensione, in seguito a movimenti bruschi di accelerazione e decelerazione.

I legamenti connettono le vertebre adiacenti e sono detti intersegmentali, ma un'unica fibra legamentosa può subire uno stiramento che si estende per più livelli. Essi trasmettono il carico tensivo e come risultato limitano il massimo movimento. I legamenti inter-segmentali sono: legamenti longitudinali anteriore e posteriore, legamento giallo, legamenti interspinoso e sovraspinoso, legamento intertrasversario, faccette delle capsule articolari. (6) (8)

Nell'uomo, la colonna vertebrale è un esempio di efficace evoluzione al progressivo adattamento richiesto dall'ambiente, in quanto è responsabile di formare il telaio del tronco, trasmettere pesi progressivamente crescenti alla pelvi, proteggere il midollo spinale, assorbire gli urti della parte inferiore del corpo per evitare che si ripercuotano sul cranio. (8)

1.2 STRUTTURA DELLE VERTEBRE

Nel complesso le vertebre sono 33-34: 7 cervicali, 12 toraciche o dorsali, 5 lombari, 5 sacrali, fuse tra loro, e 4-5 coccigee, anch'esse fuse tra loro. Le vertebre sono ossa brevi costituite da un corpo vertebrale, un arco vertebrale e sette processi.

Il corpo è la parte massiccia anteriore, che conferisce resistenza e sostiene il peso, costituito da due facce, superiore e inferiore, leggermente concave al centro e rivestite da cartilagine ialina, a contatto con il disco intervertebrale.

Il corpo è la parte massiccia anteriore, che conferisce resistenza e sostiene il peso, costituito da due facce, dette superficie limitante superiore ed inferiore, leggermente concave al centro e rivestite da cartilagine ialina, a contatto con il disco intervertebrale.

I processi vertebrali sono 7:

- Spinoso, impari e mediano, emerge posteriormente;
- Trasverso, pari, si proietta postero-lateralmente;
- Articolari, sono quattro, due superiori e due inferiori, ciascuno provvisto di faccette articolari.

I primi tre forniscono attacco a legamenti e muscoli, mentre gli altri formano l'articolazione zigapofisaria tra le vertebre, favorendo la mobilità della colonna, limitandone l'ampiezza e contribuendo all'allineamento della stessa.

Ciascuna vertebra è unica, ma tra di loro mostrano delle caratteristiche simili che si modificano in continuum lungo la colonna vertebrale. Questo è vero per le vertebre che vanno da C3 a S1, e più in particolare, possono essere raggruppate in base alla regione anatomica di appartenenza. (6)

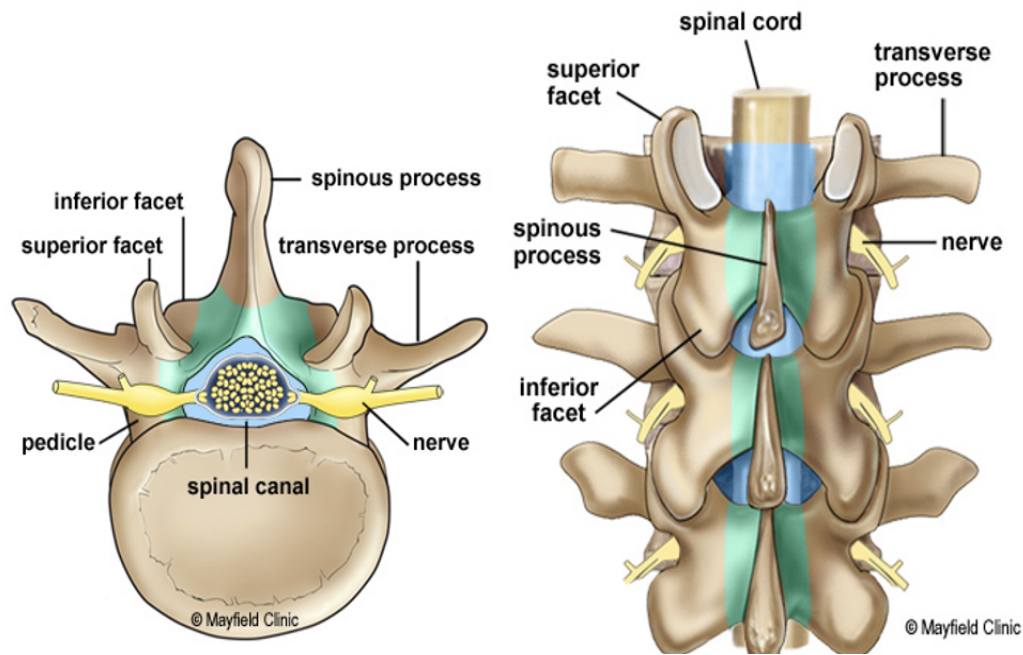


Figura 1 Anatomia della vertebra e del segmento vertebrale tipo. Fonte: (9)

Vengono di seguito descritte quella toracica e lombare, essenziali per la comprensione di questo studio.

1.2.1 ANATOMIA DEL TRATTO TORACICO

A livello toracico, il corpo ha una forma “a cuore”, che diventa più circolare procedendo caudalmente, ed è provvisto di una o due faccette articolari per l’articolazione con la costa di riferimento. Da T2 a T9 ci sono delle semi-faccette che, nelle vertebre articolate, diventano una faccetta completa. T1 ha una faccetta completa nella parte superiore, per la prima costa, e una semi-faccetta inferiore, per la seconda costa. I corpi di T10-11-12 hanno una sola faccetta completa. Il forame vertebrale è circolare e più piccolo dei tratti adiacenti. I processi trasversi sono piuttosto lunghi e mostrano una faccetta costale per l’articolazione con il tubercolo della costa corrispondente, tranne che per T11-12. Le faccette dei processi articolari sono quasi poste su un piano verticale, consentendo principalmente un movimento di torsione. Il processo spinoso è caratteristicamente obliquo. Questa serie di caratteristiche anatomiche, rendono questo segmento in assoluto il meno mobile. (6)

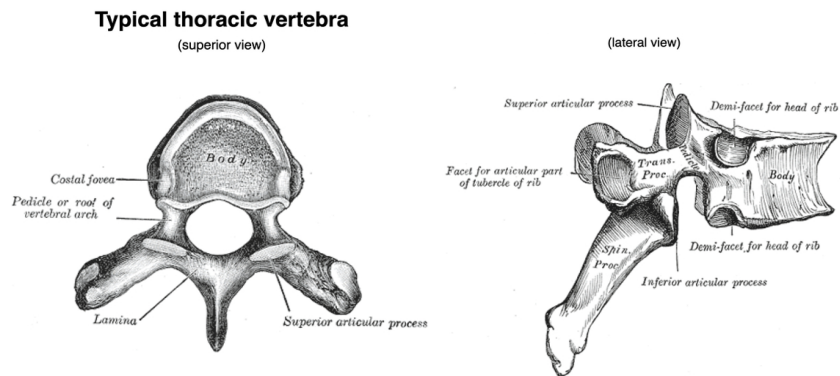


Figura 2 Anatomia della vertebra toracica tipo. Fonte: (10)

1.2.2 ANATOMIA DEL TRATTO LOMBARE

Nella zona lombare, ci sono le vertebre più voluminose, con un corpo massiccio e reniforme. Il forame vertebrale è di forma triangolare, per via della presenza del rigonfiamento lombo-sacrale del midollo spinale. I processi trasversi sono lunghi e diretti posteriormente, tanto da guadagnarsi il nome di processi costiformi. Sopra ognuno di questi, alla base, si trovano i processi mammillare e accessorio. I processi articolari si estendono in verticale e le faccette articolari sono quasi sagittali, con quella superiore rivolta verso l'esterno e quella inferiore verso l'interno, permettendo così movimenti di flesso-estensione e inclinazione laterale, ma limitando la rotazione. I processi spinosi sono brevi e robusti. L5 è la più voluminosa poiché sostiene il peso di tutto ciò che risiede superiormente; il suo corpo è più spesso ventralmente che dorsalmente, determinando così la formazione dell'angolo lombo-sacrale. (6)

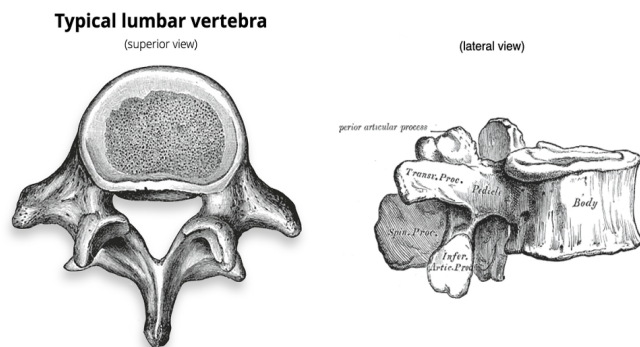


Figura 3 Anatomia della vertebra lombare tipo. Fonte: (11)

1.3 BIOMECCANICA DELLA COLONNA VERTEBRALE

La mobilità della colonna vertebrale è estremamente complessa e si comprende meglio analizzando ogni segmento di moto in modo isolato. Lungo l'intera colonna, i tessuti molli mostrano un comportamento meccanico non lineare a cui si associa una risposta viscoelastica, proprietà tipica di questi tessuti.

Il segmento di moto è relativamente libero e presenta una mobilità apprezzabile lungo tutti e sei i piani di mobilità (*Degrees of Freedom*- DOF), tre rotazioni e tre traslazioni, sebbene l'ampiezza di ciascun movimento sia limitata dalla geometria del segmento e dai vincoli legamentosi.

La flessibilità del segmento, per ogni grado di libertà, può essere descritta da una relazione carico-spostamento, secondo la quale il segmento vertebrale si deforma e si sposta all'aumentare del carico a cui è sottoposto.

Rotational or angular displacement description		Translational or linear displacement description	
Plane	Rotation in plane	Axis out of plane	Translation along axis
Sagittal	Flexion/extension	Transverse	Left/right lateral shear
Coronal	Left/right side bending	Frontal	Anterior/posterior shear
Transverse	Left/right axial rotation	Axial	Compression/distraction

Figura 4 Nomenclatura per lo spostamento angolare e lineare della colonna vertebrale.
Fonte: (8)

Quando viene esercitato un carico al segmento di moto, e più in generale all'intera colonna vertebrale, il segmento stesso si sposta immediatamente dalla posizione neutra (NZ) in una dove viene risiede la resistenza adeguata ad opporsi, con il minimo sforzo muscolare. Se questo spostamento è eccessivo, allora sarà eccessiva la lassità dell'articolazione, definita instabilità clinica. Superata la zona neutra (NZ), il segmento di moto entra nella zona elastica (EZ), in cui si osserva un progressivo irrigidimento del sistema. In questa regione, carico e spostamento risultano sostanzialmente proporzionali e la rigidità è rappresentata dalla pendenza della curva descritta tra questi due. Infine,

entro limiti fisiologici di carico, si raggiunge uno spostamento massimo. L'intervallo dello spostamento compreso tra il carico minimo e il carico massimo corrisponde al *Range Of Motion* (ROM), cioè all'ampiezza del movimento.

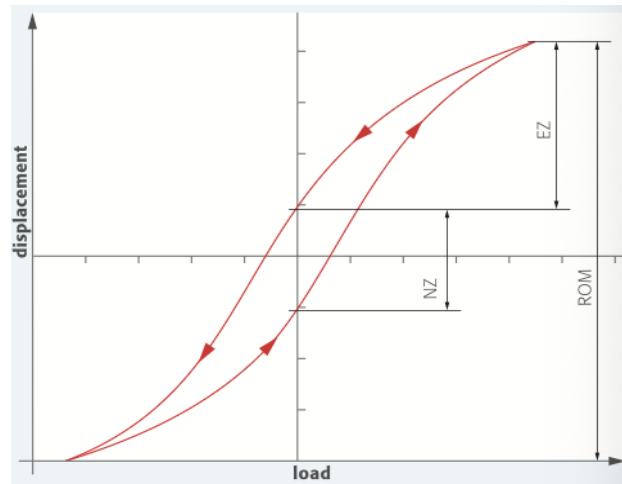


Figura 5 Curva carico-spostamento. Fonte: (8)

Il movimento raramente coinvolge solo un grado di mobilità, tipicamente la colonna vertebrale esegue movimenti complessi quando è sottoposta a carichi esterni. I movimenti complessi sono degli spostamenti simultanei che coinvolgono più gradi di libertà, traslazione e rotazione, e sono riferiti a pattern motori specifici. Qualsiasi movimento su un piano può essere espresso come uno spostamento angolare attorno ad un punto centrale. Questo punto viene definito come centro di rotazione istantaneo (ICR) e cambia per ogni istante nel tempo; la connessione di tutti gli ICR descrive il movimento maggiore e il centro di stabilità che ha quel movimento.

Il *coupling* indica il movimento che avviene attorno ad assi secondari rispetto a quello del carico applicato. In altre parole, non è un movimento “isolato”, ma un accoppiamento tra due componenti del movimento. Nel rachide lombare, il *coupling* è più complesso: nella colonna normale, l'inclinazione laterale verso sinistra determina una rotazione assiale verso destra nei segmenti lombari superiori, mentre a livello lombare induce una rotazione assiale verso sinistra. (8)

1.3.1 STABILITÀ E INSTABILITÀ VERTEBRALE

L'instabilità segmentaria è stata descritta come la perdita della capacità della colonna vertebrale, quando sottoposta a un carico fisiologico, di mantenere un normale pattern di movimento senza determinare deficit neurologici, deformità significative o dolore invalidante. La stabilità spinale si riferisce ad uno stato dove c'è adeguato controllo e supporto tra due segmenti vertebrali adiacenti della colonna vertebrale e concorrono a mantenere ciò sia le strutture passive (disco, legamenti, capsula articolare) sia quelle attive (muscoli). Quando c'è un danno a livello delle strutture passive, ne risulta solitamente dolore ed è necessario che i muscoli siano in grado di compensare.

L'instabilità può essere causata da anomalie congenite, come spondilolistesi o spondilolisi, o da malattie acquisite, come neoplasie, infezioni o complicità di un trauma spinale, anche di tipo iatrogeno (come laminectomia e discectomia).

Per diagnosticare l'instabilità segmentaria, inizialmente i clinici si basavano su manifestazioni di aumento del ROM, in termini di scivolamento antero-posteriore o la flessione-estensione. Tuttavia, l'instabilità segmentaria non può essere descritta in modo completo mediante radiografie statiche eseguite ai limiti del ROM, paradossalmente definite "radiografie dinamiche". Tra le manifestazioni cliniche dell'instabilità segmentaria rientrano anche la riduzione della rigidità segmentaria e le alterazioni dei pattern di movimento accoppiato. Sul piano diagnostico, l'instabilità si evidenzia al meglio attraverso un incremento del carico assiale, che induce un range di movimento anomalo: variazioni istantanee del carico determinano infatti un movimento inter-segmentario. Clinicamente l'instabilità si osserva più frequentemente nel range medio di movimento e può esprimersi in modi molto diversi, sebbene una sua manifestazione specifica resti legata al carico assiale. Una struttura snella e articolata come la colonna legamentosa è intrinsecamente instabile e può andare incontro a *buckling* (ossia deformazione) già a carichi verticali molto bassi: questo fenomeno si verifica quando una perturbazione dello spostamento rispetto alla posizione di equilibrio genera una forza che tende ad accentuare ulteriormente lo spostamento stesso. La colonna, tuttavia, non può essere considerata una struttura isolata. In vivo, infatti, il tronco, attraverso coste, tessuto connettivo e muscolatura passiva, ne aumenta la rigidità di circa dieci volte, mentre l'azione dinamica dei muscoli fornisce un'ulteriore stabilizzazione,

particolarmente rilevante nel tratto cervicale: la sola attivazione muscolare può infatti incrementare la rigidità del rachide cervicale di circa cinque volte. (8)

1.4 FRATTURE VERTEBRALI TORACO-LOMBARI

1.4.1 EPIDEMIOLOGIA E FATTORI DI RISCHIO

Le fratture vertebrali, in particolare quelle da compressione, sono la complicanza principale dell'osteoporosi. Il rischio aumenta con l'età, interessando circa 4 donne su 10 dopo i 50 anni. La mortalità correlata non è in genere immediata, ma si manifesta nel periodo successivo, spesso in rapporto alle complicanze e a una ridotta qualità di vita nella fase post-operatoria.

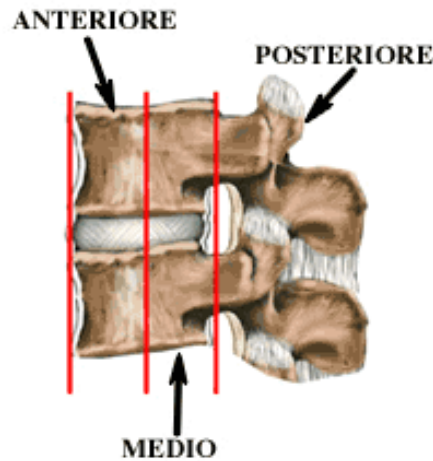
I principali fattori di rischio sono osteopenia, osteoporosi, età avanzata, anamnesi remota positiva per fratture vertebrali o cadute, inattività motoria, uso di corticosteroidi o altri farmaci, sesso femminile, consumo eccessivo di alcol, fumo, deficit di Vitamina D, depressione maggiore. (12)

1.4.2 CLASSIFICAZIONE DI DENIS

Il concetto prevalente non è solo quello della caratteristica anatomica della frattura, ma soprattutto quello della stabilità o instabilità del segmento di moto, costituito dalla vertebra fratturata e le strutture disco-legamentose del segmento. Si parla di segmento instabile quando provoca un'ipermobilità vertebrale o un progressivo collasso o deformità della vertebra, responsabili di dolore o di possibile compressione delle strutture nervose. L'instabilità si può presentare subito o manifestare tardivamente. Nel 1983 Francis Denis nella sua teoria della stabilità delle fratture vertebrali propose la suddivisione del rachide secondo una classificazione in tre colonne che permette di definire il concetto di stabilità come segue:

- La **colonna anteriore** è costituita dai due terzi anteriori del corpo vertebrale, dalla porzione corrispondente del disco e dal legamento longitudinale anteriore (LLA);
- La **colonna media** è rappresentata dal terzo posteriore del corpo vertebrale e del disco, dalla base dei peduncoli e dal legamento longitudinale posteriore;

- La **colonna posteriore** è formata dal resto dell'arco posteriore e il complesso legamentoso posteriore.



***Figura 6** Divisione della vertebra in tre colonne secondo Denis. Fonte: (13)*

La colonna media venne introdotta per spiegare come le fratture che la interessano, determinano intrinsecamente instabilità, poiché coinvolgono anche il legamento longitudinale posteriore e l'anello fibroso posteriore, mentre l'interessamento isolato del complesso legamentoso posteriore non basterebbe da solo. Secondo questo modello, le lesioni che interessano almeno due colonne, quindi, rendono il segmento instabile. (14) Ad oggi ha importanza storica e didattica, non sempre sufficiente per l'indicazione al trattamento chirurgico, vista l'assenza di un limite anatomico ben definibile per la colonna media che impedisce la classificazione di tutte le lesioni traumatiche toracolumbari. (15) (16)

1.4.3 CLASSIFICAZIONE AO SPINE

La *Classificazione AO Spine* introdotta nel 2013 da Vaccaro et al. è l'evoluzione di quella precedentemente descritta: anni di studi e follow-up hanno spostato il focus dall'instabilità dovuta alla compromissione della colonna media al ruolo del complesso legamentoso posteriore (PLC), che, se mantenuto intatto, agisce da tirante prevenendo la cifosi progressiva e permettendo una guarigione conservativa con ottimi risultati funzionali. Questa classificazione distingue le fratture in tre tipi (A, B e C), ognuno dei quali comprende tre sottotipi (1, 2 e 3), ciascuno dei quali descrive una situazione

progressivamente più instabile. Nello specifico si riferisce alle fratture toraciche e lombari, ma può considerarsi valida anche per il rachide cervicale inferiore (C3-C7).

A. **Fratture da compressione:** la maggioranza assoluta delle fratture toracico-lombari (66%), comprendendo le fratture del corpo vertebrale per cui l'agente traumatico agisce lungo l'asse verticale del rachide. La stabilità intrinseca è conservata grazie all'integrità del legamento longitudinale anteriore (LLA) e del PLC e il canale neurale è libero, permettendo così un carico precoce. Possono essere "a cuneo", "split" e "a scoppio".

- **A0:** Frattura isolata del processo trasverso o spinoso e sono sempre trattate conservativamente;
- **A1 (*Wedge*):** coinvolgono una singola limitante (solitamente la superiore) e risparmiano la parete posteriore del corpo vertebrale, la colonna media di Denis è intatta, garantendo stabilità assiale e rotazionale. Sono le più comuni nella popolazione anziana. Il trattamento è quasi esclusivamente conservativo;
- **A2 (*Split o Pincer*):** sono meno frequenti e derivano da un carico assiale puro. La frattura attraversa il corpo vertebrale e il coinvolgimento di entrambe le limitanti può predisporre a un collasso verticale progressivo o a una pseudoartrosi se il gap di frattura viene riempito da materiale discale. Di norma la gestione è conservativa, ma si deve monitorare radiograficamente la tenuta dell'altezza vertebrale nel tempo per il rischio di cifotizzazione tardiva maggiore;
- **A3:** il muro posteriore è rotto e retropulso nel canale, ma solo una limitante è fratturata, l'altra metà del corpo è integra e fa da pilastro. Il frammento osseo nel canale si riassorbe nel tempo e può liberarlo fino al 50% nell'arco di un anno, pertanto, la sola presenza di stenosi canalare radiologica, in assenza di deficit clinico, non è un'indicazione assoluta alla chirurgia;
- **A4:** viene coinvolta la parete posteriore ed è solitamente presente la frattura verticale della lamina che non costituisce una rottura della tension band posteriore. Entrambe le limitanti sono rotte, il corpo è

"esploso". A differenza della A3, qui non c'è un anello di osso sano a fare da pilastro e la stabilità assiale è compromessa severamente.

B. Lesioni da flessione-estensione/distrazione: possono essere posteriori o anteriori, conseguendo ad un trauma in iperflessione o iperestensione, con conseguente lesione del PLC che viene sottoposto ad eccessiva tensione, determinando elevata instabilità.

- **B1 (Trans-ossea o *Chance*):** attraversa orizzontalmente elementi ossei posteriori (processo spinoso, lamine, peduncoli) e il corpo. Richiede trattamento chirurgico o in casi selezionati con busto TLSO: possibile in pazienti giovani e complianti;
- **B2 (Trans-legamentosa):** coinvolge il legamento sovraspinoso, interspinoso, legamento giallo e le capsule faccettarie. Richiede la stabilizzazione chirurgica ed è di difficile diagnosi perché se ci si ferma alla TC, si vede solo la compressione anteriore (classificando erroneamente come A1), mentre una valutazione alla RM del tratto interessato (edema legamentoso in T2) dimostra segni di instabilità legamentosa;
- **B3 (Iperestensione):** avvengono tipicamente attraverso il disco intervertebrale o il corpo vertebrale in pazienti con rigidità patologica della colonna (Spondilite Anchilosante, DISH). La rottura del legamento longitudinale anteriore e dell'anulus porta a un'instabilità estrema in estensione. Il trattamento conservativo è gravato da elevato tasso di fallimento determinando lesioni midollari catastrofiche se non stabilizzate. La chirurgia con fissazione lunga multilivello è il gold standard.

C. Fratture per traslazione: sono interessate tutte e tre le colonne e implicano una dislocazione spaziale; quindi, l'instabilità è massima ed è frequente l'associazione a danno neurologico. Nel sottotipo 1 è associata una compressione, nel sottotipo 2 una distrazione, nel sottotipo 3 sono comprese le lesioni da taglio (soprattutto nel tratto toracico, dove la rima di frattura è più spesso orizzontale). La gestione è esclusivamente chirurgica per ripristinare

l'allineamento e proteggere il midollo, richiedendo spesso approcci combinati (anteriore e posteriore) o fissazioni posteriori lunghe.

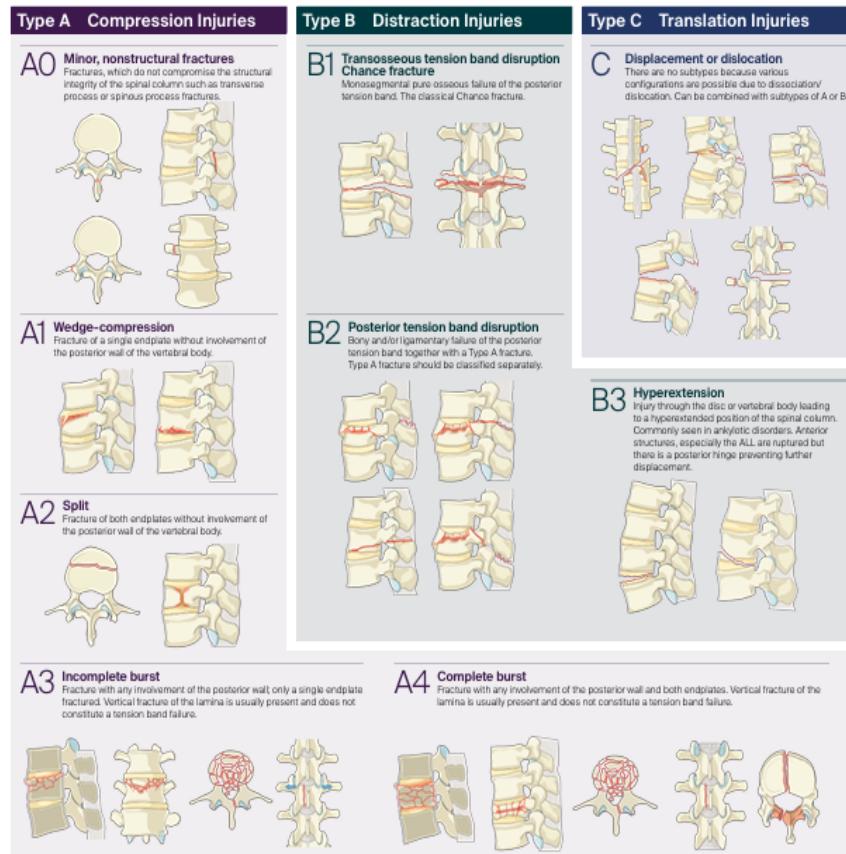


Figura 7 Classificazione secondo AO Spine Group. Fonte: (2)

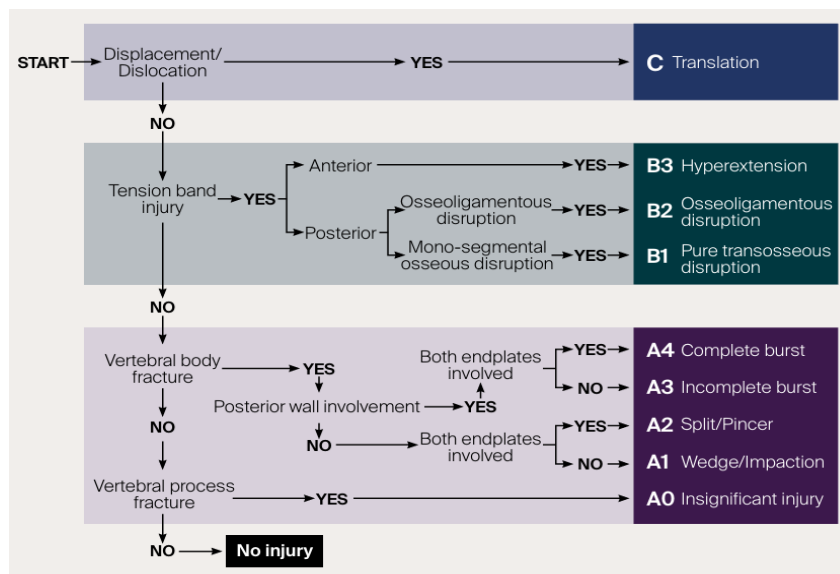


Figura 8 Algoritmo per la classificazione morfologica. Fonte: (2)

La presenza di un deficit neurologico (N1-N4) altera l'algoritmo decisionale verso la chirurgia anche per fratture morfologicamente stabili, per permettere la decompressione neurale. La decompressione precoce (<24h) nelle lesioni incomplete (N3) o ASIA C/D è correlata a un miglior recupero funzionale.

Esistono inoltre dei modificatori clinici e radiologici che influiscono sulla scelta del trattamento, e sono così definiti:

- **M1** (Danno indeterminato del PLC): quando l'imaging non chiarisce se il PLC è rotto o meno (es. iperintensità T2 sfumata). Questo modificatore suggerisce cautela: spesso fa pendere la decisione verso la chirurgia o un follow-up molto stretto nel conservativo;
- **M2** (Comorbidità): il substrato osseo cambia la prognosi: l'osteoporosi e la spondilite anchilosante influenzano la tenuta delle viti (rischio pull-out), le ustioni cutanee alterano la tollerabilità del corsetto. In presenza di comorbidità, le soglie per l'intervento possono abbassarsi (per evitare allettamento nell'anziano) o alzarsi (per rischi anestesilogici).

Questa classificazione è la principale, è basata su parametri clinici rilevanti e mostra elevata affidabilità e accuratezza. (17) (18)

Type	Neurological	Type	Description
N0	Neurology intact	M1	This modifier is used to designate fractures with an indeterminate injury to the tension band based on spinal imaging with or without MRI. This modifier is important for designating those injuries with stable injuries from a bony standpoint for which ligamentous insufficiency may help determine whether operative stabilization is a consideration.
N1	Transient neurologic deficit		
N2	Radicular symptoms		
N3	Incomplete spinal cord injury or any degree of cauda equina injury		
N4	Complete spinal cord injury		
NX	Cannot be examined	M2	Is used to designate a patient-specific comorbidity, which might argue either for or against surgery for patients with relative surgical indications. Examples of an M2 modifier include ankylosing spondylitis or burns affecting the skin overlying the injured spine.
+	Continued spinal cord compression		

Figura 9 Modificatori per lo status neurologico (N) e modificatori generali (M). Fonte: (2)

1.4.4 CLASSIFICAZIONE DI GENANT

Una deformità vertebrale non sempre rappresenta una frattura vertebrale, ma una frattura vertebrale è sempre una deformità vertebrale. Da un punto di vista radiologico

ci sono molte potenziali diagnosi differenziali, idiopatiche o acquisite, che necessitano di essere classificate per impostare l'iter terapeutico. Per questo la *Classificazione di Genant* è essenziale per valutare la severità della deformità tenendo in considerazione la riduzione dell'altezza della vertebra e il suo cambiamento morfologico. A differenza degli altri, il tipo di deformità non è più collegato al grading della frattura.

- **Grado 0:** misura normale;
- **Grado 1:** riduzione dell'altezza del 20-25% e dell'area di proiezione della vertebra del 10-20%;
- **Grado 2:** riduzione dell'altezza del 26-40% e dell'area di proiezione della vertebra del 21-40%;
- **Grado 3:** riduzione dell'altezza e dell'area di proiezione della vertebra maggiori del 40%.

Può essere assegnato un Grado 0,5 a quelle condizioni borderline che presentano delle deformità ma non sono un franco Grado 1.

Oltre alla riduzione dell'altezza, vengono presi in considerazione la forma e la configurazione della vertebra relativamente alle adiacenti e alle dimensioni che ci si aspetterebbero.

Il limite di questa utile Classificazione risiede nelle fisiologiche variazioni di forma e dimensioni che risiedono in ogni persona; quindi, ci può essere una sovrastima a livello epidemiologico; la corretta e accurata diagnosi dipende dall'esperienza dell'osservatore.

(19)

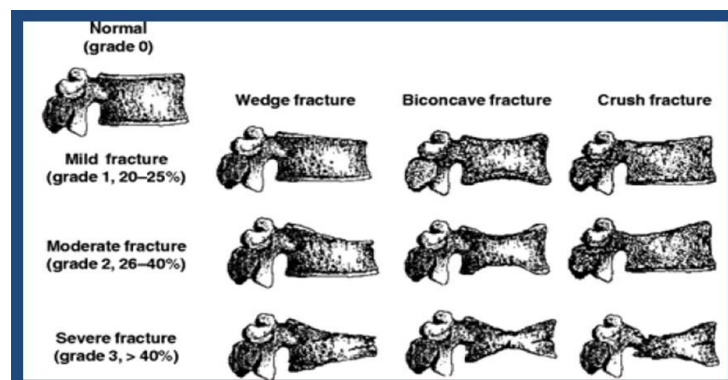


Figura 10 Classificazione deformità vertebrale secondo Genant. Fonte: (13)

1.4.5 CLASSIFICAZIONE TLICS

Il sistema *Thoraco-Lumbar Injury Classification and Severity Score* (TLICS) è stato proposto per facilitare la comunicazione tra specialisti ed essere utilizzato come linea guida per il trattamento di questo tipo di infortuni. Si basa sulla morfologia della frattura, sull'integrità del complesso legamentoso posteriore e sullo status neurologico del paziente. Vengono assegnati punti per ogni categoria, e la somma di essi suggerisce la modalità di intervento.

La morfologia è descritta tramite la distinzione in fratture da compressione, da traslazione/rotazione e da distrazione. Maggiore è la severità e più alto sarà il punteggio assegnato, considerando una lesione peggiore nel caso di infortunio multiplo.

Per quanto riguarda il coinvolgimento neurologico, si riconoscono cinque categorie che in progressione di punteggio assegnato:

- Neurologicamente intatto (0 punti);
- Lesione di radici nervose (1 punto);
- Lesione completa del midollo spinale (2 punti);
- Lesione incompleta del midollo spinale (3 punti);
- Sindrome della cauda equina (3 punti).

I pazienti con una lesione incompleta hanno un punteggio maggiore di quelli con lesione completa poiché in essi ha senso tentare una decompressione chirurgica, inutile dove la lesione completa invece rende impossibile il recupero funzionale.

Per il complesso legamentoso posteriore vengono descritte tre categorie di interessamento: PLC intatto, in assenza di gap tra i processi spinosi contigui; PLC indeterminato, suggerito dall'allargamento dello spazio tra i processi spinosi rilevabile alla TC; e infine PLC leso, segnalato dalla presenza di iper-intensità alle immagini RM pesate in T2, indice di edema secondario al danno delle strutture legamentose.

Component	Qualifier	Points
Morphologic feature*		
Compression	_____	1
	Burst	+1
Rotation/translation	_____	3
Distraction	_____	4
Integrity of PLC		
Intact	_____	0
Indeterminate	_____	2
Disrupted	_____	4
Neurologic status		
Intact	_____	0
Nerve root	_____	2
Spinal cord,	Incomplete	3
conus medullaris	Complete	2
Cauda equina	_____	3
Treatment according	≤ 3	Nonoperative
to composite score	4	Indeterminate
	≥ 5	Surgical

Figura 11 Criteri per l'assegnazione del punteggio TLICS. Fonte: (20)

Lo score totale guida la scelta tra un trattamento conservativo, se uguale o inferiore a 3, e non, se sopra a 5 punti. I pazienti con un punteggio di 4 devono essere studiati con maggiore approfondimento per porre eventuali indicazioni al trattamento chirurgico nel loro specifico caso. (20) (21) (22)

1.4.6 FRATTURE TRAUMATICHE E PATOLOGICHE

Si definiscono traumatiche le fratture che si verificano in vertebre con normale resistenza meccanica, a seguito di un trauma generalmente violento e possono essere di tutti e tre i tipi descritti dalla *AO Spine Classification*.

Si definiscono patologiche le fratture che interessano vertebre con ridotta resistenza meccanica, data da condizioni predisponenti come osteoporosi o metastasi. Spesso si verificano in seguito a normali movimenti della vita quotidiana, interessano principalmente soggetti anziani. A differenza delle lesioni traumatiche dove si può risalire ad una causa specifica, i pazienti con fratture patologiche assumono la stazione eretta, seppur con intenso dolore, e si presentano a visita non sospettando di essa, anche dopo molti giorni che si è verificata, poiché è il risultato di erosione continua nel tempo. La maggioranza delle fratture vertebrali osteoporotiche sono fratture da compressione, soprattutto A1, A3, A4 secondo la *AO Spine Classification*. (7)

1.5 COINVOLGIMENTO NEUROLOGICO

Le lesioni amieliche non comportano un interessamento del midollo spinale o di radici nervose spinali e sono la grande maggioranza delle fratture spinali. Il quadro clinico è caratterizzato da dolore nella regione interessata, di entità variabile a seconda della lesione, con una lieve perdita delle curve fisiologiche e deformità in base alla rima della frattura o per contrattura muscolare.

Le lesioni mieliche comportano invece una compressione e/o danno midollare o radicolare, mentre a livello della regione lombare bassa (al di sotto di L1-L2) e del sacro si verificano solo lesioni di radici nervose spinali, vista l'assenza del midollo spinale e la presenza della cauda equina. La compromissione midollare può consistere in una commozione, contusione, compressione e sezione completa o incompleta del midollo spinale. Inizialmente si presenta come shock midollare con paralisi flaccida (tetraplegia, paraplegia, monoplegia), assenza di riflessi e anestesia distalmente al livello della lesione, e paralisi degli sfinteri. In base alla situazione la lesione può essere reversibile o meno, ma questo non esime dalla tempestività dell'intervento. (7)

Da questa caratteristica deriva soprattutto la presentazione clinica dei diversi pazienti, che, nei due terzi dei casi, saranno asintomatici e la cui diagnosi di frattura è accidentale. Nei sintomatici è presente mal di schiena, spesso acuto con cambi di posizione o sforzi semplici come la tosse o sollevamento di pesi minimi. All'esame obiettivo si riscontrano occasionalmente cifosi o riduzione dell'altezza. (12)

1.6 DIAGNOSI DELLE FRATTURE TORACO-LOMBARI

La diagnostica per immagini riveste un ruolo fondamentale nella valutazione delle fratture toraco-lombari, consentendo di definire la sede, l'estensione della lesione, il grado di instabilità e l'eventuale coinvolgimento delle strutture neurologiche. L'iter diagnostico si basa principalmente sull'utilizzo integrato di radiografia convenzionale (RX), tomografia computerizzata (TC) e risonanza magnetica (RM), ciascuna con specifiche indicazioni, al fine di ottenere una valutazione completa e guidare in modo appropriato il trattamento. (7)

1.6.1 RADIOGRAFIA

La radiografia rappresenta spesso il primo esame eseguito in urgenza, permettendo una valutazione iniziale dell'allineamento vertebrale e delle deformità macroscopiche.

Soprattutto se effettuata in orientamento latero-laterale, permette l'identificazione di fratture da compressione. (12) Tuttavia, la sua sensibilità è limitata, con rischio di sottostimare o non identificare alcune fratture, in particolare quelle più complesse o a carico delle colonne posteriori.

Ad oggi viene integrata con studio di Densitometria ossea combinato alla Morfometria vertebrale (DXA-VFA), un approccio che permette minor esposizione alle radiazioni, minor tempo di esecuzione e minor impatto sul costo sanitario. (23)



Figura 12 Immagini eseguite con Radiografia: in alto a sn -L1, al centro- T12, a dx- L2; in basso a sn- L1, al centro- L1, a dx- L3. Fonte: (24) (25)

1.6.2 TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA

La tomografia computerizzata costituisce attualmente il gold standard per lo studio delle lesioni ossee, grazie all'elevata sensibilità (fino al 95–100%) nell'identificazione delle

fratture e nella caratterizzazione dettagliata della morfologia vertebrale. Essa consente una valutazione accurata del coinvolgimento del canale vertebrale, della presenza di frammenti ossei e dell'eventuale instabilità, risultando fondamentale per la pianificazione chirurgica. (7)

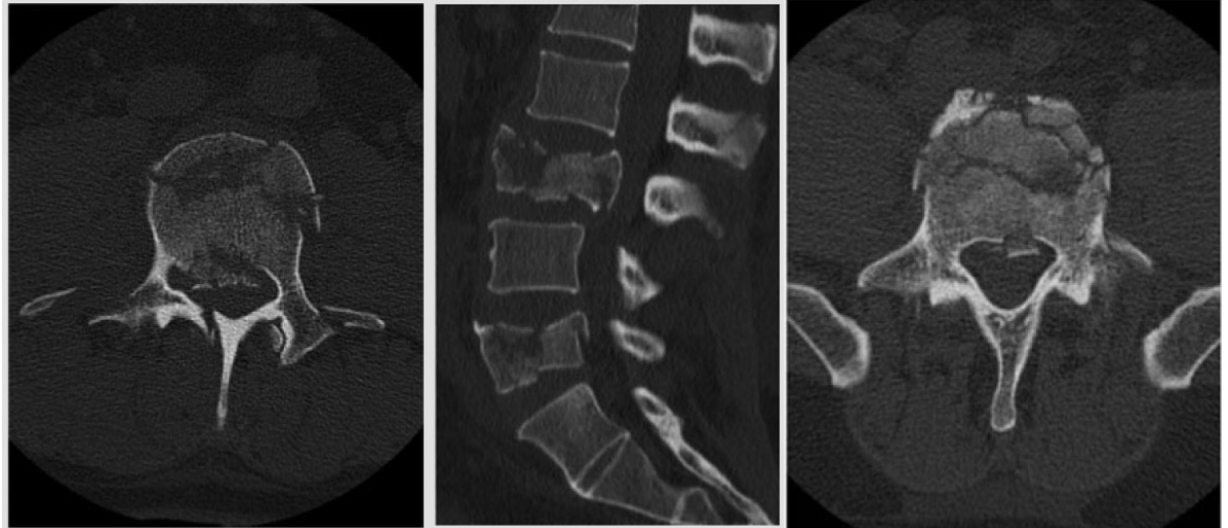


Figura 13 Immagini eseguite in Tomografia Computerizzata di burst fractures. Fonte: (26)

1.6.3 RISONANZA MAGNETICA

La risonanza magnetica, invece, è indicata per lo studio dei tessuti molli, in particolare del midollo spinale, dei dischi intervertebrali e del complesso legamentoso posteriore. Essa permette di identificare lesioni neurologiche, edema midollare e danni ai tessuti molli, elementi cruciali nella valutazione della stabilità della frattura e nella definizione dell'indicazione terapeutica. (7)

Nell'analisi ossea, permette la distinzione tra fratture benigne o maligne e di datare la stessa per la presenza di edema osseo se recente utilizzando sequenze specifiche chiamate STIR (*Short Tau Inversion Recovery*). (12) Essendo una metodica di lenta esecuzione, viene riservata in urgenza solo a casi di para- o tetraparesi rapidamente ingravescenti per effettuare la diagnosi differenziale tra traumi mielici, ematomi, neoplasie e mieliti. (27)

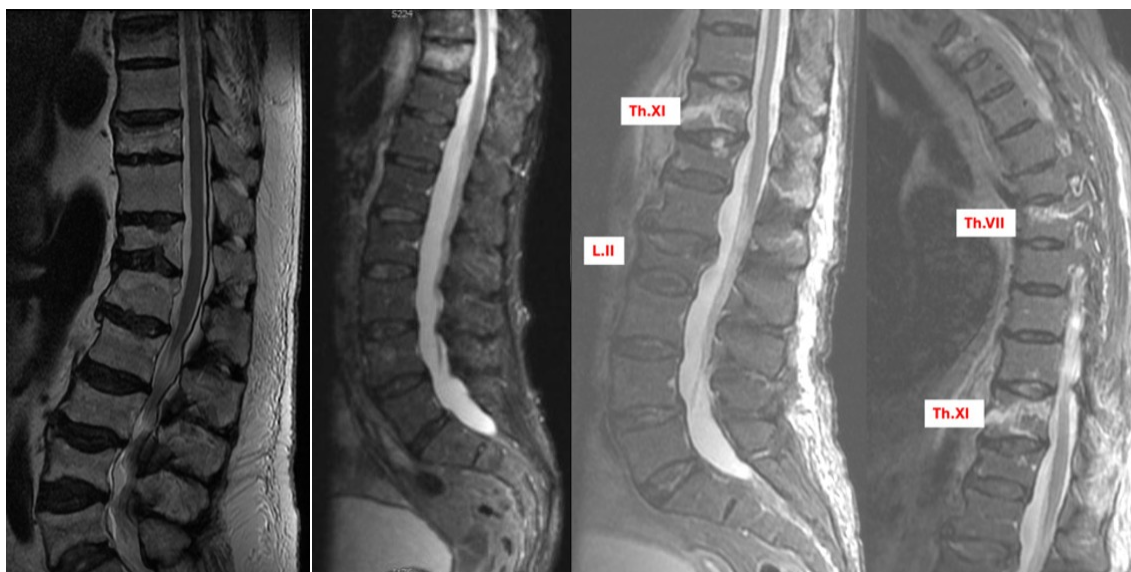


Figura 14 Immagini sagittali eseguite con Risonanza Magnetica: 1- frattura T12 in T2, 2- frattura T10 in STIR, 3 e 4- fratture multiple in STIR. Fonte: (25) (28) (29)

1.7 TRATTAMENTO DELLE FRATTURE TORACO-LOMBARI

Il trattamento delle fratture toraco-lombari si basa su valutazioni integrate di morfologia della frattura, grado di instabilità, presenza di deficit neurologici e condizioni generali del paziente. Il focus primario mira a garantire la massima efficienza possibile di queste caratteristiche, stabilizzando dunque la colonna e prevenendo deformità e deficit neurologici progressivi, mentre al contempo si favorisce il recupero funzionale e la riduzione del dolore. (21)

1.7.1 TRATTAMENTO CONSERVATIVO

Il trattamento conservativo viene proposto in presenza di uno score TLICS minore o uguale a 3 punti, tipicamente con fratture stabili da compressione o da scoppio, amieliche e con limitato rischio di progressione deformativa.

Per la deambulazione precoce viene consigliato l'uso di ortesi spinali per 6-12 settimane e in parallelo ci saranno controlli radiografici che indicano l'andamento della patologia. Il beneficio principale risiede nel miglioramento del dolore in acuto e si permette così al paziente di eseguire movimenti limitati in sicurezza; la prescrizione del dispositivo è valutata secondo i criteri descritti nella tabella sottostante. (30)

Thoracic Spine - T1-6/7	Indication
Minerva or Four-poster/ SOMI (sternal occipital mandibular immobilizer) / Cervico-thoracic orthosis	Conservative treatment of lower cervical spine to the 3-7 ^a thoracic vertebrae (depending on the thoracic extension)
Thoraco-lumbar spine - T7 a L4	
Thoraco-lumbar orthosis (TLSO)	Conservative treatment of T7 to L4 according to the caudal extension of the orthosis
Jewett	Conservative treatment of thoracolumbar spine fractures (T10-L2)
Lumbo Sacral Orthosis (LSO) with Thigh Extension	Conservative treatment of lower lumbar fractures

Figura 15 Indicazioni per ortesi in base al sito di frattura. Fonte: (30)

Il suo utilizzo è ancora oggetto di dibattito, in quanto si apprende da alcuni studi che i risultati ottenuti in termini di dolore e disabilità, possono essere sovrapponibili a quelli di una mobilizzazione precoce senza ortesi. (31)

1.7.2 TRATTAMENTO CHIRURGICO

Il trattamento chirurgico è riservato a quei casi di instabilità vertebrale, compromissione neurologica e deformità significativa associate a dolore refrattario alla terapia conservativa. Per definire il caso considerato come chirurgico, vengono utilizzati i sistemi classificativi descritti in precedenza. (21) (32)

Le tecniche chirurgiche più utilizzate prevedono un accesso posteriore che permette la stabilizzazione mediante viti peduncolari, associata o meno alla decompressione del canale vertebrale. In questo modo si facilita l'allineamento sagittale della colonna vertebrale e il paziente può mobilizzarsi precocemente. La scelta del numero dei livelli da stabilizzare varia in base alla gravità della lesione e della qualità ossea. (33)

2 OSTEOPOROSI

L'osteoporosi è una malattia sistemica dello scheletro, caratterizzata da una riduzione della massa ossea e da un deterioramento della microarchitettura del tessuto osseo, che determina una diminuzione della resistenza meccanica dello stesso, con conseguente aumento del rischio di fratture.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), la diagnosi di Osteoporosi si basa sulla valutazione della densità minerale ossea (BMD, *Bone Mineral Density*) insieme alla qualità del tessuto (rappresentata dalla composizione della matrice extracellulare e dalla natura e attività metabolica delle cellule), e posta in presenza di un *T Score* inferiore o uguale a -2,5 rispetto al valore medio della popolazione giovane di riferimento. La predisposizione alle fratture riguarda soprattutto le ossa spongiose, quali vertebre e parte delle ossa lunghe. (34)

La BMD è la quantità di massa ossea per unità di volume o per unità di area ed entrambe possono essere misurate in vivo tramite tecniche densitometriche. Esistono diverse tecniche per valutare questo valore, quella più utilizzata si basa sull'uso di assorbimetria a Raggi X, ovvero la *Dual Energy X-ray Absorptiometry* (DXA). È molto versatile perché può valutare sia l'intero sistema scheletrico sia una parte specifica che serve analizzare. Gli obiettivi della BMD sono quelli di provvedere ai criteri diagnostici, informazioni prognostiche sulla probabilità di fratture future e una base su cui monitorare la storia naturale dei pazienti trattati e non trattati. La BMD è più spesso descritta attraverso il *T Score* o lo *Z Score*, ovvero delle unità di deviazione standard. Il *T Score* descrive il numero di DS dalla quale la BMD di quell'individuo differisce rispetto al valore atteso nella popolazione giovane in salute. La definizione operativa si basa sul calcolo della BMD a livello della testa del femore, il cui valore deve essere inferiore alle 2.5 DS in negativo della popolazione giovane-adulta femminile in salute. Lo *Z Score* descrive il numero di DS per cui il valore di BMD differisce dal valore atteso per età e per sesso, utilizzato principalmente nei bambini e adolescenti. (19) (20)

2.1 CLASSIFICAZIONE DELL'OSTEOPOROSI

Questa patologia può essere classificata in base all'estensione in generalizzata, interessando tutto lo scheletro, oppure distrettuale, riguardante solo un distretto scheletrico (o. da disuso, da artropatie infiammatorie croniche, o. migrante).

L'osteoporosi, inoltre, sulla base dell'eziologia e dei meccanismi patogenetici sottostanti, fondamentali da considerare in ambito clinico, può essere primitiva e secondaria. La necessità clinica di distinguere le situazioni nasce per impostare le migliori strategie terapeutiche mirate. Nel contesto delle fratture toraco-lombari traumatiche, la presenza di osteoporosi indipendentemente dalla sua origine, influenza la stabilità dell'osso e di conseguenza la stabilità della sintesi chirurgica e gli outcome clinici post-operatori. (7)

2.1.1 OSTEOPOROSI PRIMARIA

La primaria è forma più comune, si sviluppa in assenza di patologie e condizioni sottostanti identificabili, correlata principalmente all'invecchiamento e modifiche ormonali. Essa comprende a sua volta:

- **Tipo I o Post-menopausale:** dovuta alle variazioni ormonali che si verificano nelle donne in menopausa, strettamente legata alla riduzione degli estrogeni, che sono dei naturali riduttori dell'attività osteoclastica, determinando così un aumentato riassorbimento osseo e perdita di massa ossea;
- **Tipo II o Senile:** tipicamente in entrambi i sessi dopo i 70 anni, dovuta a ridotta attività osteoblastica e diminuita formazione ossea correlate al progressivo invecchiamento dello scheletro, alla ridotta disponibilità di Calcio e sintesi di Vitamina D e alla ridotta attività fisica. In questo tipo è coinvolto sia l'osso corticale compatto, per cui sono frequenti anche le fratture delle ossa lunghe, oltre il continuo deterioramento delle trabecole ossee.

Entrambe possono coesistere portando ad una forma più marcata della patologia. In entrambe, inoltre, sono coinvolti fattori genetici. (7) (35)

2.1.2 OSTEOPOROSI SECONDARIA

L'osteoporosi secondaria è dovuta a condizioni patologiche o all'assunzione protratta di farmaci (come Corticosteroidi, Anticonvulsivanti, Inibitori dell'Aromatasi ed Eparina). Meno frequente della primaria, ma importante a livello clinico poiché reversibile se rimossa la causa sottostante. Le principali condizioni includono malattie endocrine (Ipertiroidismo, Iperparatiroidismo, Diabete Mellito e Malattia di Cushing), emopatie (Mieloma Multiplo e Linfomi), malattie gastrointestinali (Celiachia), malattie sistemiche (Insufficienza Renale Cronica ed Epatopatie), trapianti d'organo, all'assenza di gravità e immobilizzazione prolungata. (7) (35)

2.2 EPIDEMIOLOGIA

Circa un terzo delle donne dopo i cinquanta anni va incontro ad una frattura dovuta all'osteoporosi. Il 12% dei soggetti dopo i 50 anni subisce una frattura delle vertebre e il rapporto tra donna e uomo è di 2:1. In Italia si stimano circa 3,5 milioni di donne e circa 1 milione di uomini affetti da osteoporosi e, poiché nei prossimi anni la percentuale della popolazione over 65 aumenterà, bisogna aspettarsi un proporzionale incremento dell'incidenza dell'osteoporosi.

La perdita di osso come risultato di invecchiamento o di deficit estrogenico nelle donne è la predominante causa di osteoporosi. (34) (36)

Tra gli anziani le fratture osteoporotiche sono una delle maggiori cause di mortalità, la cui incidenza è sostanzialmente sovrapponibile a quella per ictus e carcinoma mammario e superiore di quattro volte a quella per carcinoma endometriale. Il 50% delle donne con frattura di femore presenta, inoltre, una consistente riduzione del livello di autosufficienza che, in circa il 20% dei casi, comporta l'istituzionalizzazione a lungo termine. (34)

2.3 FISIOPATOLOGIA

Recentemente è stato evidenziato il ruolo centrale dell'osso come organo in costante cambiamento e come regolatore di altri tessuti. È universalmente accettato che, oltre al ruolo locomotore e di protezione degli organi interni, esso sia importante nella

regolazione dell'omeostasi di minerali ed elettroliti, nel metabolismo del glucosio ed energetico tutto, nella fertilità maschile e nelle funzioni cognitive, attraverso soprattutto la secrezione di Osteocalcina dagli Osteoblasti.

Per essere sempre funzionale, l'osso è sottoposto a continui cicli di modellamento e rimodellamento. Il modellamento è particolarmente facilitato durante le fasi di accrescimento e di adattamento a stimoli meccanici. Il rimodellamento invece, è un processo altamente controllato di concomitante riassorbimento e formazione, in siti distinti, responsabile del mantenimento dell'integrità dello scheletro, che rinnova di continuo il tessuto vecchio e danneggiato. Inoltre, questo processo, si occupa di mantenere l'omeostasi di Calcio e Fosfato, integrando la loro incorporazione o il loro rilascio. Il ruolo cruciale del rimodellamento è evidenziato dal fatto che, quando è alterato e viene favorito il riassorbimento rispetto alla formazione, si instaurano dei meccanismi patofisiologici che conducono a malattie ossee, proprio come l'osteoporosi.

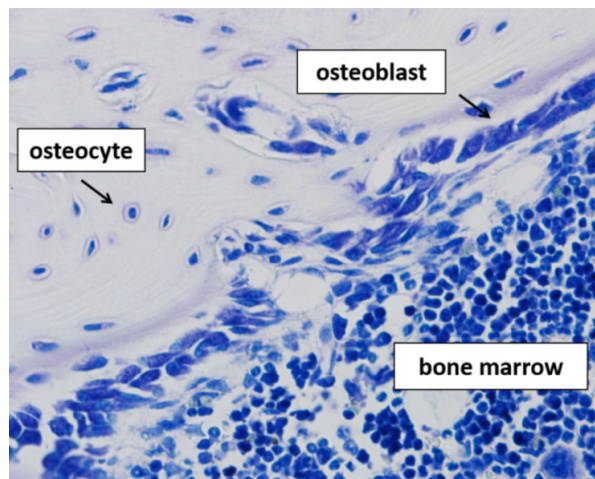


Figura 16 Sezione di femore, colorazione in Blu di Toluidina. Fonte: (37)

I protagonisti in questi due processi sono tre diversi tipi di cellule: Osteoclasti (si occupano del riassorbimento), Osteoblasti (si occupano della produzione della matrice), Osteociti (Osteoblasti rimasti intrappolati all'interno della matrice ossea). Il rimodellamento è un fine *cross-talk* tra queste cellule, che cooperando tra loro, assicurano che l'intensità di riassorbimento dagli Osteoclasti sia uguale a quella della secrezione da parte degli Osteoblasti.

Questo processo di *coupling* viene mantenuto da molecole di comunicazione quali RANK e il suo ligando RANKL e il recettore *decoy* Osteoprotegerina (OPG). RANKL

è espresso dagli Osteoblasti e dai loro progenitori e, insieme a M-CSF, è un regolatore master della sopravvivenza, dell'attivazione e della differenziazione degli Osteoclasti, derivanti dalla linea ematopoietica. RANKL è espresso anche dagli Osteociti e da varie altre cellule e tessuti esterni all'apparato scheletrico, come ad esempio il tessuto linfoide. Il suo ruolo come regolatore dell'omeostasi ossea è rafforzato dal fatto che anche molte altre citochine influenzano il riassorbimento osseo, manipolando indirettamente RANKL. Tra queste ritroviamo IL-1 e TNF. Questo stabilisce una connessione tra il tessuto osseo e il sistema immunitario.

Il master regolatore della differenziazione degli Osteoblasti sono le proteine ossee morfogenetiche (BMP) e il sito di integrazione *Wingless-related* (Wnt). La Sclerostina (SOST) è un inibitore di Wnt. (22) (23)

Gli Osteociti sono il tipo cellulare più abbondante nell'osso e si è scoperto che hanno un ruolo nel metabolismo del Calcio e del Fosfato. Il loro è un ruolo centrale come iniziatori e come drivers del rimodellamento osseo tramite una fine comunicazione e orchestrano Osteoblasti e Osteoclasti nella loro formazione e attività. Questo *cross-talk* è facilitato dalla presenza di processi dendritici che abbracciano la matrice ossea, connettendo gli Osteociti alla superficie dell'osso e così ai vasi. In questo modo, direttamente o tramite il rilascio di proteine effettrici, influenzano l'attività di Osteoclasti e Osteoblasti sulla superficie di una unità multicellulare, una struttura anatomica temporanea dove l'osso viene rimodellato. Importanti proteine effettrici rilasciate dagli Osteociti e che modulano le altre due cellule sono SOST, inibitore del *signalling* Wnt e quindi dell'attività Osteoblastica, e RANKL, attivatore degli Osteoclasti. Quindi, l'idea di Osteocita come cellula statica è ormai superata, è coinvolto in vari processi fisiologici e fisiopatologici come immobilizzazione, iperparatiroidismo e lattazione. (37)

L'osteoporosi è il classico esempio di malattia multifattoriale con un complesso ruolo intrecciato di genetica, fattori intrinseci ed esogeni e il *lifestyle* che contribuisce ad aumentare il rischio di malattia. Il modello fisiopatologico tradizionale enfatizza i meccanismi endocrini, uno tra tutti il deficit estrogenico, e il deficit di Vitamina D da dieta come fattori predominanti dell'osteoporosi post menopausale. Ad oggi sappiamo che c'è altro che contribuisce all'insorgenza della malattia.

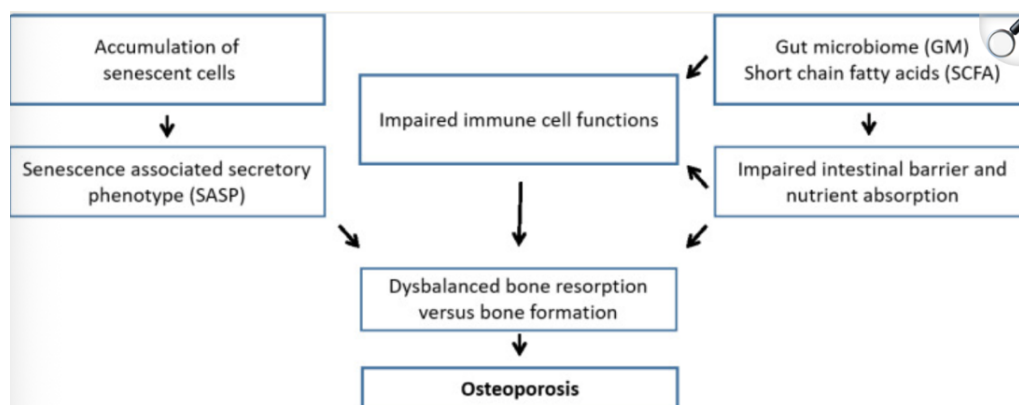


Figura 17 Meccanismi patofisiologici. Fonte: (37)

La senescenza cellulare descrive il destino cellulare indotto da vari fattori di stress ed è associata ad un arresto irreversibile del ciclo cellulare e resistenza all'apoptosi. In aggiunta, la cellula che entra in senescenza è caratterizzata da un'eccessiva produzione di citochine pro-infiammatorie, chemochine e proteine degradatrici della matrice extracellulare, uno stato che viene definito fenotipo secretorio senescenza-associato (SASP). Con l'avanzare dell'età le cellule in senescenza aumentano, giocando un ruolo nella disfunzione tissutale età-correlata e allo sviluppo di patologie età-correlate tra cui osteoporosi. Un importante contributo per capire il ruolo della senescenza nello sviluppo dell'osteoporosi è dato dalla dimostrazione che i linfociti B e T, progenitori mieloidi, osteoprogenitori, Osteoblasti e Osteociti sono le cellule che maggiormente vanno in senescenza nell'ambiente osseo e che le cellule mieloidi e Osteociti sono quelle che maggiormente producono molecole SASP. Da biopsie ossee sono stati rilevati maggiori livelli di cellule senescenti in donne in post-menopausa rispetto al pre-menopausa. L'eliminazione delle cellule senescenti o l'inibizione dei SASP previene la perdita di osso età-correlata, diminuendo il riassorbimento dell'osso trabecolare e corticale e aumentando o mantenendo la formazione nella zona endocorticale e trabecolare. (37)

2.4 FATTORI DI RISCHIO

I fattori di rischio per l'osteoporosi includono: età avanzata e sesso femminile come fattori indipendenti, poi fratture precedenti, cadute precedenti, basso peso corporeo, storia familiare di frattura dell'anca, uso di glucocorticoidi, fumo di sigaretta, eccessivo

consumo di alcol, comorbidità (Malattie Infiammatorie Intestinali, Artrite Reumatoide, Epatopatia e Nefropatia cronica), basso livello di BMD. (7)

Il rischio di frattura viene calcolato combinando questi fattori di rischio clinici con la BMD, andando a stimare il rischio assoluto di frattura a dieci anni di anca, colonna vertebrale, spalla e avambraccio. I pazienti ad alto rischio sono quelli con *T Score* < -2,5, ovvero al di sotto di più di 2,5 Deviazioni Standard rispetto ad una popolazione di giovani adulti. Tramite questa analisi verrà poi fornito un servizio di prevenzione a tutti quei soggetti riconosciuti come a rischio. (34) (36)

2.5 MANIFESTAZIONI CLINICHE

Fatta eccezione per alcune forme distrettuali (Morbo di Sudek che si presenta come un'algodistrofia agli arti), è una patologia asintomatica. Si manifesta dopo la comparsa di fratture, in seguito ad un evento traumatico o senza di esso, soprattutto a livello vertebrale. Nell'osteoporosi gli esami ematochimici di routine, inclusa la calcemia, risultano tipicamente nella norma; grazie alla possibilità di una diagnosi più precoce sono oggi divenute rare le manifestazioni cliniche più gravi della malattia, legate alle fratture da fragilità. (7) (34)

I siti più comuni di fratture osteoporotiche sono la colonna vertebrale, l'anca, l'avambraccio distale e l'omero prossimale. Le fratture da fragilità sono la maggior causa di morbidità nella popolazione, causando dolore acuto e perdita di funzionalità e comportano sempre una lunga ospedalizzazione, il recupero è lento e la riabilitazione spesso incompleta, con molti pazienti spesso permanentemente istituzionalizzati in case di ricovero. Nelle fratture vertebrali si aggiungono dei sintomi importanti e un'importante disabilità che si aggrava all'aggiungersi di ogni frattura che si presenta nel tempo. (34)

2.6 SCREENING E DIAGNOSI

In generale lo screening è raccomandato a tutti gli adulti oltre i 50 anni di età con una storia passata di fratture. La *Preventive Services Task Force* raccomanda lo screening della BMD in tutte le donne dai 65 anni di età e per le donne più giovani con rischio di

frattura equivalente o maggiore a quello di una donna in salute caucasica di 65 anni senza fattori di rischio aggiuntivi. La *Endocrine Society* raccomanda lo screening in tutti gli uomini sopra i 70 anni e negli uomini tra 50 e 69 anni con fattori di rischio per osteoporosi secondaria. Il beneficio dello screening è quello di diagnosticare l'osteoporosi in maniera precoce per diminuire il rischio di fratture. (38) (39)

2.6.1 DIAGNOSI DENSITOMETRICA

Le radiografie del rachide consentono la diagnosi di osteoporosi solo quando la massa ossea è ridotta di almeno il 30%, permettendo di osservare una perdita delle trabecole ossee orizzontali e un'ipertrofia di quelle verticali.

La BMD è più spesso descritta attraverso il *T Score* o lo *Z Score*, ovvero delle unità di deviazione standard. Il *T Score* descrive il numero di DS dalla quale la BMD di quell'individuo differisce rispetto al valore atteso nella popolazione giovane in salute. La definizione operativa si basa sul calcolo della BMD a livello della testa del femore o del rachide lombare, il cui valore deve superare inferiormente le 2.5 DS della popolazione giovane-adulta femminile in salute. Lo *Z Score* descrive il numero di DS per cui il valore di BMD differisce dal valore atteso per età e per sesso, utilizzato principalmente nei bambini e adolescenti. (39) (40)

Il range di riferimento riconosciuto dalla WHO per calcolare il *T Score* è il database NHANES III per la misura del collo del femore nelle donne tra 20 e 29 anni. Negli uomini vengono utilizzati gli stessi valori poiché il rischio di frattura dell'anca o di frattura osteoporotica maggiore ad ogni età è praticamente lo stesso tra uomo e donna. Questo però fa sì che il sito da utilizzare per il calcolo della BMD sia sempre e solo la testa del femore, le cose cambierebbero se analizzassimo un altro sito. (41)

La rilevazione al momento della diagnosi viene comunemente posta con esame DXA. Se i valori sono compresi tra -1 e -2.5 si parla di Osteopenia, mentre al di sotto di -2.5 si definisce Osteoporosi, definita severa/complicata se associata a frattura ossea secondaria. (7) (42)

Un altro strumento per la diagnosi è il FRAX (*Fracture Risk Assessment Tool*) che prende in considerazione fattori di rischio come età, razza, consumo di alcol, genere,

BMI, storia di fumo, storia personale o familiare di fratture, uso di glucocorticoidi, osteoporosi secondaria, artrite reumatoide e misura del BMD del collo del femore per predire la probabilità a dieci anni di frattura del collo del femore e di altre fratture osteoporotiche maggiori. Questi dati sono poi incrociati con dati epidemiologici. Ovviamente è usato come supporto al DEXA. (41) (40)

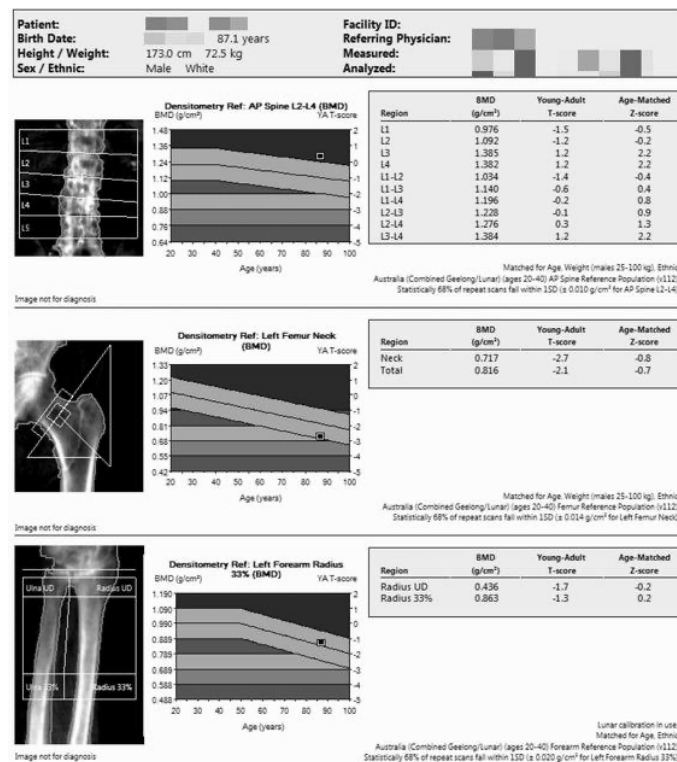


Figura 18 Esempio di referto di esame DEXA. Fonte: (43)

2.6.2 DIAGNOSI CLINICA E RADIOLOGICA

Alcuni esami di laboratorio consentono la diagnosi differenziale con patologie endocrine come iperparatiroidismo (PTH), ipertiroidismo (TSH), ipogonadismi (ormoni sessuali), Morbo di Cushing (Cortisolo). La diagnosi differenziale con l'Osteomalacia viene posta in base alla presenza, in quest'ultima, di ipocalcemia, ipofosfatemia, ridotti livelli sierici di Vitamina D ed elevati di Fosfatasi Alcalina e PTH.

La diagnosi si fonda sul quadro clinico-radiologico, simile a quello delle fratture non osteoporotiche. Le fratture vertebrali recenti possono non essere evidenti su normali radiografie o non essere distinte da altre di vecchia data. In questo caso, la Risonanza Magnetica mediante sequenze consente la distinzione in base alla differenza di intensità

di segnale del corpo vertebrale. Nelle fratture recenti c'è iperintensità di segnale nelle sequenze T2/STIR e ipointensità nelle sequenze T1. In alcuni casi si ricorre alla Scintigrafia ossea. (34)

Inoltre, c'è consenso nel diagnosticare l'osteoporosi nella popolazione a rischio, in seguito ad una frattura avvenuta in seguito ad un trauma lieve, sia a livello dell'anca, vertebrale e dell'omero prossimale, anche senza un test della BMD. Allo stesso modo possono essere considerate quelle situazioni di riscontro di fratture vertebrali casuali in seguito ad esami radiologici per altro motivo. (40)

2.7 TRATTAMENTO

Gli obiettivi del trattamento dell'osteoporosi sono ridurre il rischio di fratture e perdita ossea, prevenire la disabilità e il controllo del dolore. Il primo approccio è sempre mirato ad evitare i fattori di rischio e rientra nel trattamento non farmacologico. Il secondo step prevede la necessità di prescrivere farmaci divisi in anti-riassorbimento o anti-catabolismo, anabolici e combinazioni di essi. Gli Osteoclasti rimangono il principale target dei medicinali, anche se sta emergendo un interesse via via maggiore anche per molecole che agiscono sugli Osteoblasti. Comunque, solo una piccola percentuale, corrispondente a circa il 21% dei pazienti, viene trattata in maniera adeguata e l'ostacolo maggiore è la mancanza di aderenza del paziente, ovvero il grado con cui vengono messe in atto le istruzioni e le prescrizioni mediche. La decisione è sempre interpretata personalmente in base alla chiarezza esplicativa che riceve e alla motivazione personale. (37)

2.7.1 TRATTAMENTO NON FARMACOLOGICO

Le strategie preventive includono la riduzione delle cadute tramite la correzione della vista e dell'udito, rinforzo muscolare e dell'equilibrio, smettere di fumare e bere alcol, adeguato *intake* di Vitamina D, proteine e Calcio. (35)

Un effetto protettivo contro le fratture può essere raggiunto con dosi maggiori a 800UI di Vitamina D al giorno in combinazione ad un *intake* di Calcio tra i 700 e 1200 mg/die, preferibilmente proveniente dalla dieta. (41) È controverso il ruolo diretto che ha questa integrazione sullo sviluppo di calcoli renali; quindi, è bene differenziare supplementi e

dieta. Questi dosaggi sono raccomandati in uomini e donne che abbiano superato i 50 anni di età e che possono avere un aumentato rischio di fratture. Questa terapia invece diventa necessaria nel paziente trattato con terapie specifiche per l'osso per raggiungere un effetto completo come visto dai trials e come prevenzione secondaria per iperparatiroidismo, ipomagnesemia, e disturbi del metabolismo osseo. La Vitamina D è liposolubile, preferibilmente quindi va associata a pasti con contenuto di grassi. (37)

2.7.2 TRATTAMENTO FARMACOLOGICO

TRATTAMENTO SPECIFICO

Basandosi su algoritmi clinici pubblicati come linee guida, un trattamento specifico dovrebbe essere offerto a pazienti con alto rischio di fratture o inclini ad esse. Non ci sono studi che indichino un trattamento migliore di un altro: i farmaci osteoanabolici riducono il rischio di fratture sia vertebrali che non vertebrali, più velocemente dei farmaci anti-riassorbimento e dovrebbero essere considerato come prima linea in circostanze cliniche speciali come in pazienti che si fratturano facilmente, fratture multiple durante il decorso clinico e con densità ossea molto bassa ($T\ Score < -3$). In generale la scelta del trattamento viene posta in base ad un giudizio clinico, considerando potenziali effetti collaterali e costi. (37)

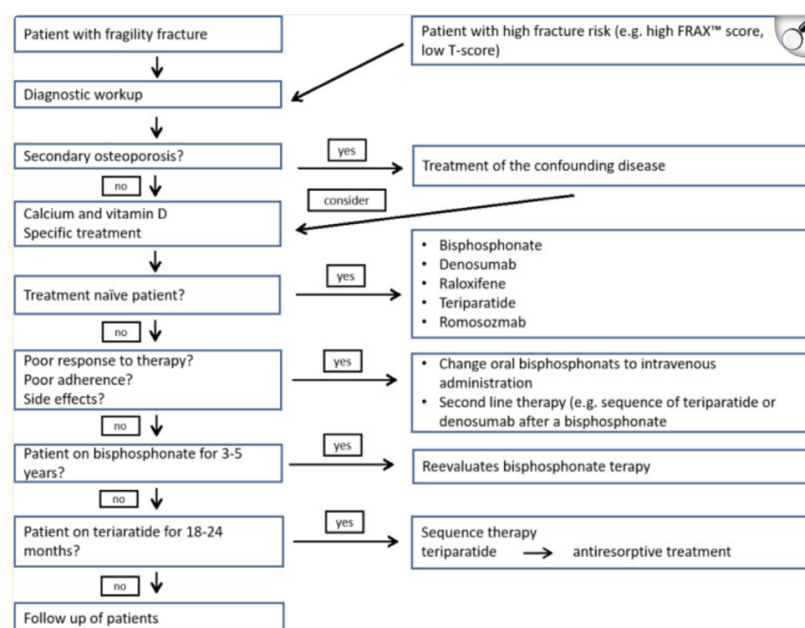


Figura 19 Algoritmo per la diagnosi e trattamento farmacologico dell'Osteoporosi. Fonte: (41)

BIFOSFONATI: I bifosfonati inibiscono il riassorbimento osseo andandosi a legare sui siti di legame dell'idrossiapatite sulla superficie ossea durante la fase di riassorbimento. Questo ostacola l'adesione alla superficie da parte degli Osteoclasti e quindi produrre protoni, essenziali per la loro azione litica. Riducono anche la formazione dei progenitori degli Osteoclasti e promuovono la loro apoptosi. Il loro effetto sugli Osteoblasti non è rilevante.

L'*Alendronato* è indicato nella prevenzione dell'osteoporosi post-menopausale, nell'uomo e in quella indotta dai glucocorticoidi. Previene fratture vertebrali e dell'anca. Dopo l'ingestione del farmaco il paziente deve stare in piedi per almeno 30 minuti per minimizzare il rischio degli effetti collaterali gastro-intestinali.

Il *Risendronato* è approvato per il trattamento dell'osteoporosi post-menopausale e per gli uomini con alto rischio di frattura, come prevenzione in chi assume glucocorticoidi. L'*Acido Zoledronico* viene somministrato una volta all'anno ed è stato approvato come trattamento nelle donne in post-menopausa, negli uomini con aumentato rischio di frattura e in chi assume cronicamente glucocorticoidi.

L'*Ibandronato* è somministrato una volta al mese o quattro volte all'anno per le donne post-menopausa e con aumentato rischio di fratture. Non ha evidenze sulla riduzione delle fratture dell'anca, mentre le ha per vertebrale. (35)

Le controindicazioni all'uso dei bifosfonati sono ipersensibilità, ipocalcemia, e insufficienza renale severa, gravidanza, lattazione e patologie dell'esofago. Il trattamento del deficit di Vitamina D e dell'ipocalcemia sono obbligatori prima di prescrivere questi farmaci. Rari effetti collaterali sono osteonecrosi della mascella e fratture atipiche del femore. (41) (37)

DENOSUMAB: è un anticorpo monoclonale rivolto contro RANKL, somministrato sottocute per due volte all'anno, ha un rapido offset se somministrato in maniera discontinua. Approvato nelle donne in post-menopausa e negli uomini con avanzato rischio ed è noto come riesca a ridurre il rischio di frattura vertebrale e dell'anca. Non è raccomandato in soggetti con età inferiore ai 18 anni. Gli effetti collaterali sono infezioni della pelle e ipocalcemia, oltre che necrosi della mascella per cui sono prese le stesse precauzioni dei bifosfonati. (35) (37) (41)

SERMs: sono modulatori selettivi dei recettori per gli estrogeni, ovvero ligandi sintetici per i recettori degli estrogeni approvati sia per la prevenzione che per il trattamento dell'osteoporosi nelle donne in post-menopausa. Inducono una risposta differente rispetto all'estradiolo e aumentano l'apoptosi degli osteoclasti. Quelli approvati per il trattamento dell'osteoporosi sono *Raloxifene*, *Lasofoxifene* e *Bazedoxifene*.

- Il *Raloxifene*, nelle donne in post-menopausa, riduce il rischio di fratture vertebrali del 30% nelle pazienti con precedente frattura vertebrale e del 55% nelle pazienti senza precedente episodio, per cui è indicato come prima linea per ridurre il rischio solo di questo tipo di frattura e utile nelle donne con fattori di rischio per lo sviluppo del tumore al seno. Nonostante ciò, non protegge dalle fratture non vertebrali o dell'anca. Viene spesso utilizzato durante un periodo di sospensione dai Bifosfonati. Il *Raloxifene* agisce come agonista estrogenico nell'osso andandone a diminuire il riassorbimento e il turnover, aumentando quindi la BMD. Gli effetti collaterali sono sanguinamento vaginale, vampate, peggioramento di una preesistente ipertrigliceridemia, tromboembolismo venoso, morte dovuta a ictus e malattie cardiovascolari; da evitare dunque in donne con storia positiva per tromboembolismo venoso, che sono in premenopausa, incinta o che lo possono diventare e durante l'allattamento.
- Il *Lasofoxifene*, è un SERMs di terza generazione, che riduce il rischio di frattura sia vertebrale che non vertebrale. È inoltre stata trovata un'associazione tra questo farmaco e la riduzione del tumore alla mammella, malattia coronarica e stroke. In alcuni studi fatti su Lasofoxifene si è notato un rischio per Trombosi Venosa Profonda.
- Il *Bazedoxifene* è combinato ad estrogeni coniugati nelle donne in postmenopausa con utero intatto per la prevenzione dell'osteoporosi e per il trattamento di sintomi vasomotori da moderati a severi. (35) (37)

TERAPIA SOSTITUTIVA ORMONALE: gli estrogeni inibiscono direttamente il riassorbimento osseo andando a stimolare l'apoptosi degli Osteoclasti e sopprimendo l'apoptosi di Osteoblasti e Osteociti. Inizialmente venivano prescritti per il sollievo dai sintomi post-menopausali come insonnia, vampate, disturbi dell'umore e secchezza vaginale. Secondo alcuni studi, questo tipo di terapia sostitutivo aumenta il rischio di

tumore della mammella e malattie cerebrovascolari e tromboemboliche, ma è stato poi dimostrato che non è vero per quelle pazienti che utilizzavano solo estrogeni.

Sicuramente non è una prima linea per l'osteoporosi ed è utilizzata quando c'è intolleranza verso le altre terapie. (41)

Negli uomini può essere utilizzato il *Testosterone* nei casi di alto rischio di frattura, soprattutto in quei casi dove la terapia anti-osteoporotica sia controindicata o se il livello di questo ormone sia inferiore a 200 ng/dl o entrambi. (35) (37)

TERAPIA OSTEOANABOLICA: in contrasto con l'azione degli agenti antirassorbitivi, i farmaci osteoanabolici attivano la formazione di osso tramite la loro azione sugli Osteoblasti. Questa terapia è poco utilizzata per via dei suoi costi e ai benefici clinici sottostimati, siccome nei trials clinici le fratture dell'anca non erano considerate come principale endpoint. Questi farmaci non sono raccomandati in pazienti che hanno avuto esposizione alle radiazioni allo scheletro o a storia familiare positiva per osteosarcoma.

Abaloparatide e *Teriparatide* sono approvati per il trattamento dell'osteoporosi in USA. In Europa, visti gli effetti collaterali cardiovascolari dell'*Abaloparatide*, solo la *Teriparatide* è disponibile. Sono degli analoghi ricombinanti del Paratormone e aumentano la formazione di osso e la massa ossea. *Teriparatide* è approvata per le donne con osteoporosi e uomini con alto rischio di frattura e con osteoporosi associata a terapia cronica con glucocorticoidi. La riduzione del rischio di fratture vertebrali si attesta intorno al 65% e al 53% nelle fratture non-vertebrali nei pazienti con osteoporosi dopo un periodo di somministrazione di 18 mesi. (37) (41)

TERAPIA COMBINATA

La terapia dell'osteoporosi (tranne Vitamina D e Calcio) è somministrata come monoterapia. Alcuni studi hanno valutato come l'utilizzo combinato di terapia osteoanabolica e agenti antirassorbitivi aumenti l'effetto di formazione ossea e riduzione del rischio di fratture. In questi studi sono stati osservati dei benefici, principalmente in termini di incremento della densità minerale ossea. Tuttavia, l'affidabilità di tali evidenze è limitata: si tratta per lo più di studi condotti su campioni ridotti e con follow-up breve, che adottano endpoint surrogati (come la densità minerale ossea) anziché la reale riduzione del rischio di frattura, e che risultano eterogenei per

protocolli, dosaggi e associazioni farmacologiche. La mancanza di ampi trial randomizzati controllati con endpoint anti-frattura, unita a un rapporto costo-beneficio sfavorevole rispetto alla monoterapia, fa sì che la terapia combinata non sia né raccomandata né approvata nei sistemi sanitari nazionali. (37)

2.8 IMPLICAZIONI DELL'OSTEOPOROSI NELLE FRATTURE TORACO-LOMBARI

Nel contesto delle fratture toraco-lombari, l'osteoporosi rappresenta un determinante biomeccanico negativo che influenza sia gli esiti clinici che terapeutici. Infatti, le alterazioni microscopiche dovute ad essa, comportano una riduzione della resistenza meccanica soprattutto del corpo vertebrale, rendendo la vertebra maggiormente suscettibile a cedimenti anche in seguito a traumi di bassa energia. Ciò significa un aumento del rischio di collasso vertebrale, deformità cifotiche progressive e instabilità segmentaria, con possibile peggioramento del quadro clinico nel tempo.

Nella zona di transizione toraco-lombare, la compresenza di un elevato stress meccanico e di una fragilità intrinseca, aumenta ulteriormente il rischio di evoluzione sfavorevole. (44)

Nelle donne, l'incidenza delle fratture del polso aumenta dopo i 50 anni, di quelle vertebrali circa 10 anni dopo e di quelle dell'anca dopo i 75. Negli uomini l'andamento è simile, ma con circa dieci anni di ritardo. La frattura può causare il decesso del paziente, ma nella maggior parte dei casi la sequela più rilevante è l'insorgenza di disabilità, intesa come impossibilità a tornare alla vita precedente all'evento. (45)

Le fratture vertebrali sono la complicanza più importante dell'osteoporosi e sono definite da una riduzione clinicamente rilevante dell'altezza della vertebra. Solo un 30% viene riconosciuto radiologicamente, nonostante anche quelle definite clinicamente silenti, hanno un impatto sulla qualità di vita quotidiana. Infatti, conducono a dolore cronico dovuto a disallineamento della colonna vertebrale, spasmo dei muscoli paravertebrali e stiramento dei legamenti. Il dolore è esacerbato da azioni come camminare e si prova sollievo solo con riposo a letto. Il management dell'episodio acuto prevede riposo, dispositivi di supporto esterni, farmaci analgesici e Calcitonina, ma può divenire così severo da necessitare di ospedalizzazione. L'ultimo step è

rappresentato dalla chirurgia, riservata a quei casi in cui il dolore non può essere controllato con misure conservative o la deformità della vertebra è così importante da alterarne la biomeccanica. (45) Inoltre, il manifestarsi di una frattura vertebrale determina un aumentato rischio di future fratture vertebrali o in altri siti, oltre che aumentare il rischio di mortalità. (46)

Clinicamente i pazienti hanno un percorso post-operatorio più complesso, con maggiore dolore residuo e lenta ripresa funzionale con aumentato rischio di complicanze. Inoltre, ci sarà un progressivo deterioramento della qualità di vita, con incremento della disabilità e della dipendenza funzionale. (47)

Da un punto di vista chirurgico, la ridotta qualità dell'osso, compromette la stabilità dei mezzi di sintesi e un aumento del rischio di fallimento del sistema di artrodesi e di conseguenza spesso bisogna ricorrere ad interventi con maggiore strumentazione, di maggiore durata o ripetuti nel tempo. (44) (48)

Alla luce di queste considerazioni, l'osteoporosi va considerata un fattore prognostico rilevante nella gestione delle fratture toraco-lombari, influenzando le decisioni terapeutiche e gli *outcome* clinici a lungo termine. Pertanto, un'accurata valutazione della qualità ossea e un approccio personalizzato risultano fondamentali per ottimizzare i risultati clinici in questa popolazione di pazienti.

Proprio queste considerazioni giustificano il confronto tra pazienti osteoporotici e non osteoporotici oggetto del presente studio.

3 TRATTAMENTO CHIRURGICO

3.1 INDICAZIONI E OBIETTIVI

Come già citato in precedenza, la gestione terapeutica delle fratture vertebrali, con particolare attenzione a quelle toraco-lombari, può essere sia conservativa che chirurgica, in base alla valutazione clinica e radiologica finalizzata ad identificare i pazienti che possono beneficiare di una o dell'altra. La scelta di prediligere un approccio chirurgico è guidata da fattori come morfologia, grado di instabilità, presenza di deficit neurologici e condizioni generali del paziente. In questo conteso i sistemi classificativi già descritti, principalmente *AO Spine* e TLICS, diventano fondamentali.

Con *AO Spine Classification* vengono incluse tutte quelle fratture che hanno un grado di severità riconosciuto maggiore o uguale di A3, anche se lo stesso grado A3 va discusso per l'entità dell'instabilità. Per le fratture di grado B e C, che implicano l'interessamento del disco intervertebrale, delle strutture legamentose anteriori e del complesso legamentoso posteriore tramite meccanismi di distrazione o rotazione, la chirurgia è essenziale per tentare il ripristino della funzione del rachide. (49)

Analogamente, un punteggio elevato secondo TLICS è associato alla necessità di intervenire chirurgicamente.

Considerando fratture con interessamento neurologico secondario alla compressione del midollo spinale o delle radici nervose, e con comparsa di deformità vertebrale significative o progressive, il sistema TLICS si conferma di grande aiuto del processo decisionale del trattamento. (22)

Anche il dolore persistente e non responsivo al trattamento conservativo rappresenta un criterio rilevante nella scelta chirurgica. (30)

Nei pazienti osteoporotici, la ridotta qualità ossea può influenzare la stabilità della frattura e aumentare il rischio di collasso vertebrale, rendendo necessaria la chirurgia anche in situazioni limite, con lo scopo di prevenire complicanze e migliorare l'outcome funzionale.

L'obiettivo principale è la stabilizzazione meccanica della colonna vertebrale, prevenendo ulteriori danni strutturali e consentire la mobilizzazione precoce del

paziente. È noto, infatti, che la stabilizzazione vertebrale permetta una più rapida ripresa funzionale e riduzione del dolore post-traumatico. (30)

Altro punto fondamentale della chirurgia è la decompressione delle strutture neurologiche quando presente, mirando alla rimozione dei frammenti ossei e discali responsabili della compressione per ridurre il rischio di danno neurologico e favorire il recupero funzionale.

Durante l'intervento è inoltre essenziale ripristinare l'allineamento sagittale, correggendo la deformità cifotica e recuperando l'altezza vertebrale iniziale, così da recuperare la distribuzione dei carichi lungo la colonna vertebrale ed evitare dolore cronico e degenerazione segmentaria. (49)

Infine, la stabilizzazione solida ottenuta consente la precoce mobilizzazione, riducendo il rischio di complicanze da allettamento come tromboembolismo venoso, infezioni e perdita muscolare. (30)

3.2 STRUMENTARIO CHIRURGICO

Il sistema *Universal Spine System* (USS) è stato sviluppato con l'obiettivo di ottenere una strumentazione vertebrale versatile, modulare e biomeccanicamente efficace nel trattamento del rachide. I principi su cui si basa comprendono l'ancoraggio indipendente di uncini e viti alla vertebra, modellare e posizionare autonomamente le barre di stabilizzazione e una connessione semplice e uniforme tra elementi di ancoraggio e le barre stesse. Così viene standardizzata la strumentazione chirurgica e vengono semplificate le procedure, favorendo una correzione segmentaria della colonna vertebrale. La scelta innovativa del USS, di lasciare libera la scelta dei punti di ancoraggio, permette all'operatore di utilizzare le sedi anatomiche più favorevoli, fattore che pesa di più rispetto alla posizione finale della barra e che diventa importante in quei quadri di anatomia talmente alterata che spesso nemmeno concede l'ancoraggio di viti e uncini. Così, posizionati gli impianti in maniera sicura ed efficace, la barra viene modellata secondariamente secondo la curvatura desiderata del rachide. Il concetto biomeccanico del USS si basa sulla derotazione segmentaria reale, ottenuta dalla fissazione di ciascuna vertebra e quindi permettere di manipolare ogni segmento

individualmente. In questo approccio, definito “*frame technique*”, uncini e viti vengono fissati alle singole vertebre e successivamente collegati alle barre longitudinali bilateralmente. Ogni vertebra può essere mobilizzata e derotata singolarmente attorno alle barre, consentendo una correzione fisiologica e controllata della deformità. Un ulteriore sviluppo ha introdotto uncini peduncolari con una forte presa che è fondamentale per l’efficienza delle manovre correttive e delle forze di derotazione: questi uncini hanno una vite di fissazione passante attraverso la base dell’uncino stesso.

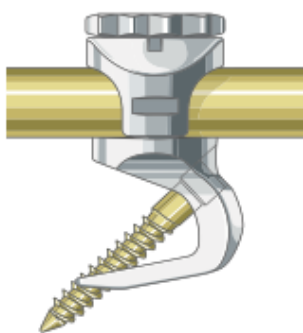


Figura 20 *Uncino con vite incorporata. Fonte: (8)*

Nel corso degli anni quindi il sistema è stato ampliato e modificato per migliorare la facilità di utilizzo e aumentare la versatilità delle configurazioni ottenibili. È stato introdotto il sistema USS II come evoluzione significativa, con componenti modulari supplementari in grado di incrementare la compatibilità tra le differenti applicazioni cliniche.

BARRE LONGITUDINALI (RODS)

Le barre longitudinali rappresentano l’elemento strutturale principale del sistema USS e costituiscono il collegamento tra i punti di ancoraggio vertebrali. Sono disponibili in titanio (TAN) e acciaio inossidabile impiantabile (ISO) e ci sono di diversi diametri e lunghezze per adattarsi ai diversi distretti anatomici del rachide. quelle standard hanno un diametro tra 5 e 6 millimetri, le lunghezze variano tra 50 e 500 millimetri; in alcuni casi vengono usate barre di transizione con lunghezze e diametri intermedi e combinati al fine di consentire il passaggio graduale tra segmenti sottoposti a differenti esigenze biomeccaniche, come nella giunzione toraco-lombare o lombo-sacrale.

Dal punto di vista biomeccanico, le barre consentono la trasmissione delle forze correttive e stabilizzanti lungo l'intero rachide, possono essere modellate intra-operatoriamente per assicurare la più fisiologica curvatura sagittale e coronale della colonna vertebrale, permettendo la progressività della correzione tramite una riduzione segmentaria.

VITI PEDUNCOLARI (*PEDICLE SCREW*)

Le viti peduncolari sono il principale sistema di ancoraggio vertebrale del sistema. I diametri sono variabili tra 4,2 a 9 millimetri e lunghezze tra 25 e 80 millimetri, per potersi adattare ai differenti segmenti spinali. Sono caratterizzate da un nucleo centrale a doppio diametro, definito “*dual core*”, e da una filettatura appositamente progettata per massimizzare la presa sia sull'osso corticale sia su quello spongioso. La geometria della filettatura permette anche la distribuzione uniforme delle forze meccaniche, per migliorare la stabilità primaria e riducendo il rischio di mobilizzazione.

Le viti si possono collegare direttamente alle barre oppure, per incrementare la rigidità torsionale del sistema, integrate con connettori trasversi, detti anche sistemi di *cross-linking*.

GANCI PEDUNCOLARI E UNCINI (*PEDICLE HOOKS*)

Gli uncini peduncolari sono dispositivi di ancoraggio che si agganciano agli elementi ossei posteriori della vertebra, come il peduncolo, la lamina o il processo trasverso, anziché essere inseriti all'interno dell'osso come le viti. Rappresentano un'alternativa o un complemento alle viti peduncolari nei casi in cui l'anatomia della vertebra o le esigenze biomeccaniche rendano preferibile un sistema di presa non esclusivamente basato sulle viti, ad esempio quando il peduncolo è troppo sottile o di qualità ossea insufficiente per garantire una tenuta adeguata. Grazie al loro design a basso profilo, riducono l'ingombro dell'impianto e possono essere impiegati singolarmente o in combinazione con le viti all'interno dello stesso costruito.

L'innovazione di introdurre uncini con una vite di fissazione integrata (n.d.r. Figura 20), ha permesso di aumentare significativamente la stabilità dell'ancoraggio al peduncolo,

migliorando la trasmissione delle forze correttive durante le manovre di derotazione e riduzione segmentaria.

Gli uncini sono utilizzati sia in compressione che in allungamento, trovando impiego nella chirurgia delle deformità vertebrali, in quanto consentono una distribuzione armonica delle forze.

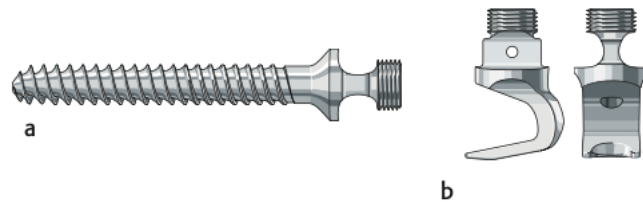


Figura 21 a-Vite peduncolare; b-Uncino peduncolare. Fonte: (8)

SLEEVE, COLLAR E CONNETTORI TRASVERSI

Il sistema USS comprende elementi accessori che incrementino la modularità e la stabilità meccanica:

- Le *sleeve* sono dispositivi cilindrici dotati di scanalature che consentono il collegamento tra le viti peduncolari e le barre trasverse; facilitano la costruzione di montaggi tridimensionali complessi e migliorano la distribuzione delle forze.
- I connettori trasversi o cross-links, fungono da connessione bilaterale per le barre longitudinali, incrementando la rigidità torsionale del costruito; dal punto di vista biomeccanico, riducono movimenti rotazionali tra le barre e migliorano la resistenza complessiva alle resistenze torsionali.



Figura 22 Sleeve e Connettore Trasverso. Fonte: (8)

STAPLE E SISTEMI ANTERIORI

Nella chirurgia anteriore del rachide, il sistema USS (*Universal Spine System*) comprende anche gli *staple* e i *double screw staple*, impiegati nei montaggi a doppia barra per il trattamento delle deformità vertebrali. Gli *staple* sono piastrine metalliche

provviste di punte (o “graffe”) che vengono ancorate alla superficie laterale del corpo vertebrale e attraverso le quali passano le viti: fungono da interfaccia tra la vite e l’osso, distribuendo il carico su una superficie più ampia e riducendo il rischio che la vite tagli l’osso (*cut-out*). I *double screw staple* ospitano due viti per ciascun corpo vertebrale, garantendo un ancoraggio ancora più stabile. Nel loro insieme, questi dispositivi consentono una stabilizzazione aggiuntiva dei segmenti vertebrali anteriori, aumentando la solidità del montaggio e migliorando il controllo biomeccanico.

3.2.1 STRUMENTAZIONE CHIRURGICA

Gli strumenti dedicati all’inserimento e alla manipolazione degli impianti sono:

- Cacciaviti per l’inserimento e l’avvitamento delle viti peduncolari nei corpi vertebrali;
- Porta-ganci e impattatori (*impactor*), per posizionare e far avanzare gli uncini fino al loro alloggiamento osseo;
- Piega-barre (*rod-bender*), per modellare le barre sui piani sagittale e coronale, adattandole alla curvatura fisiologica desiderata del rachide;
- Pinze di riduzione segmentaria, per avvicinare progressivamente le vertebre alla barra, correggendo la deformità un segmento alla volta;
- Strumenti di compressione e distrazione, per regolare le distanze tra i corpi vertebrali e ottimizzare l’allineamento della colonna;
- Cacciaviti esagonali (a brugola), per il serraggio finale delle viti di bloccaggio che fissano le barre agli impianti;
- Strumenti dedicati al montaggio dei connettori trasversi (*cross-link*), per collegare tra loro le due barre longitudinali.

Il modulo per le fratture dell’USS è una specifica evoluzione della strumentazione vertebrale, ed è un sistema dedicato alla chirurgia traumatologica spinale.

L’elemento principale è costituito dalle viti transpeduncolari di Schanz, disponibili con diametro di 5.2, 6.2 e 7 millimetri e lunghezza compresa tra 35 e 55 millimetri. Le loro caratteristiche strutturali sono specificamente studiate per ottimizzare la stabilità dell’ancoraggio vertebrale e facilitare le manovre di riduzione della frattura. Sul piano

morfologico, queste viti presentano tre elementi distintivi: una punta smussa, che favorisce un inserimento più sicuro riducendo il rischio di lesioni accidentali delle strutture anatomiche durante l'avanzamento; una doppia filettatura, che rende l'avanzamento più agevole e migliora la distribuzione delle forze; e un nucleo *dual-core*, che incrementa la presa meccanica sia a livello del peduncolo sia del corpo vertebrale.



Figura 23 Vite di Schanz. Fonte: (8)

Da un punto di vista biomeccanico, la configurazione di questi sistemi genera un braccio di leva che consente all'operatore di applicare in modo efficace le forze correttive necessarie a ripristinare l'allineamento vertebrale. Il sistema utilizza *clamp* di fissazione con dadi posteriori che consentono un accesso più agevole ai sistemi di bloccaggio dopo le manovre di riduzione, facilitando il serraggio definitivo di tutte le componenti. Va però considerato che le *clamp* per fratture non possono essere fatte scorrere lungo barre già sagomate: per questo è indispensabile pianificare correttamente la sequenza chirurgica e la modellazione delle barre prima del fissaggio definitivo.

Nel rachide lombare è fondamentale che gli impianti abbiano un basso profilo, in modo da ridurre il rischio di conflitto meccanico tra la strumentazione e le faccette articolari adiacenti e da limitare l'*impingement* articolare, soprattutto ai livelli prossimali del montaggio. Questo aspetto risulta particolarmente vantaggioso nelle stabilizzazioni estese, in cui preservare l'anatomia e la biomeccanica delle strutture adiacenti è essenziale per ridurre il rischio di degenerazione del segmento giunzionale.

Sul piano biomeccanico, le viti presentano una doppia filettatura e un nucleo *dual-core*: questa combinazione ottimizza la presa meccanica sia a livello del peduncolo sia del corpo vertebrale, aumentando la stabilità primaria e la resistenza alle forze di estrazione (*pull-out*). (8)

3.3 TECNICHE CHIRURGICHE

L'esposizione degli aspetti posteriori del rachide toracico avviene attraverso un approccio posteriore, che prevede un'incisione mediana e la scheletrizzazione dei processi spinosi e delle lamine vertebrali, ottenuta distaccando i piani muscolari dalla superficie ossea. Per orientarsi durante l'intervento si utilizzano alcuni reperi anatomici superficiali: i processi spinosi e la punta inferiore delle scapole che corrisponde al livello della settima costa. In questa regione si riconoscono quattro gruppi muscolari principali: il trapezio, il romboide, i muscoli dentati (serrati) postero-superiore e postero-inferiore e i muscoli spinali. A ciascun livello vertebrale è inoltre presente un fascio vascolo-nervoso, costituito da un ramo dell'arteria intercostale, un ramo della vena intercostale e dal ramo posteriore del nervo intercostale.

Raggiunto il piano osseo, occorre individuare le strutture su cui ancorare lo strumentario per eseguire l'artrodesi. Tra queste, nel caso dell'uncino bisogna esporre il bordo inferiore della lamina che, nella vertebra toracica, risulta in parte coperta dal processo spinoso e dalla lamina della vertebra soprastante: per esporla è quindi necessario rimuovere tali strutture, associando una fine resezione del legamento giallo.

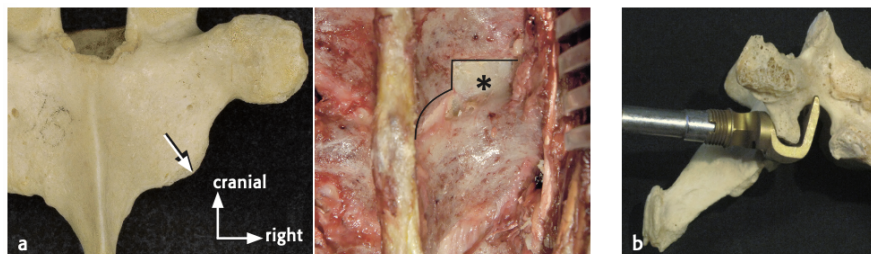


Figura 24 Bordo inferiore della lamina dove viene inserito l'uncino peduncolare. Fonte: (8)

La pianificazione dell'inserimento delle viti peduncolari richiede una precisa conoscenza anatomica di ogni livello, indispensabile per identificare i corretti punti d'ingresso, definire la traiettoria di perforazione e minimizzare i rischi neurologici. L'identificazione si fonda su punti di repere costanti, quali la porzione media della faccetta articolare superiore, il suo bordo laterale e il processo trasverso. Il punto di ingresso della vite peduncolare per i segmenti toracici viene definito dall'intersezione della porzione media dell'articolazione interapofisaria e del margine superiore del processo trasverso (n.d.r. Figura 25). Per definire la lunghezza delle viti si rende

necessario uno studio di imaging preoperatorio per identificare le giuste misure da utilizzare, vista la grande variabilità individuale. La perforazione viene condotta con precisione, mirando al centro del peduncolo e procedendo parallelamente all'asse medio dell'articolazione zigapofisaria (n.d.r. Figure 25 e 26); in questa manovra è essenziale limitare ogni deviazione dalla traiettoria, per evitare lesioni del midollo spinale o del sacco durale. Il limite critico è rappresentato dal diametro trasverso del peduncolo stesso.

Un caso particolare è rappresentato dalla vertebra T12, che non ha un processo trasverso classico, ma possiede un processo detto “mammillare”, richiedendo un adattamento della tecnica di inserimento.

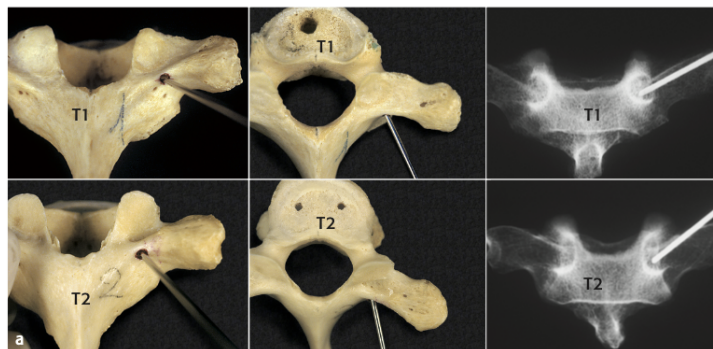
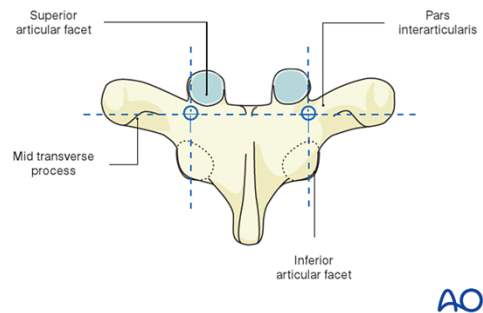


Figura 25 Punto di ingresso in vertebra toracica ed esempio di traiettoria di inserimento in T1 e T2. Fonte: (8)

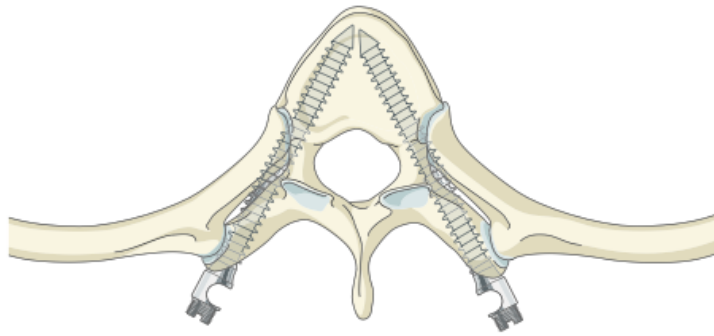


Figura 26 Immagine esplicativa della vite all'interno della vertebra. Fonte: (8)

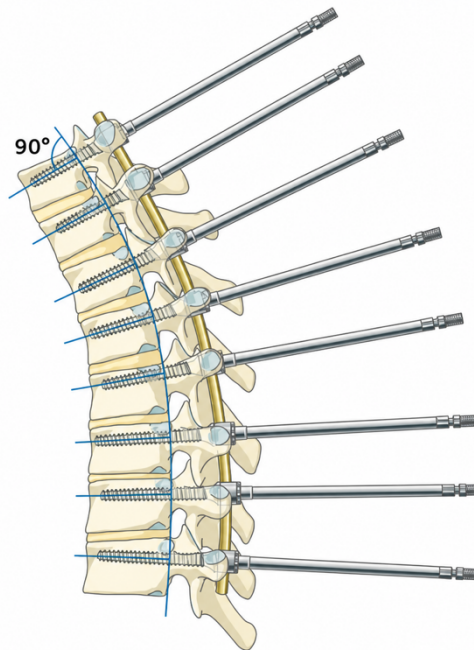


Figura 27 Immagine esplicativa della direzione perpendicolare di ogni vite. Fonte: (8)

A livello del rachide lombare, ci sono punti di repere differenti, principalmente le spine iliache superiori posteriori, facilmente palpabili, che permettono di identificare lo spazio interspinoso L5-S1 e le rispettive articolazioni zigapofisarie. La fascia lombare, spessa e resistente, si inserisce sulla punta dei processi spinosi e sulla cresta sacrale, estendendosi lateralmente fino alle creste iliache. Per esporre le vertebre è necessario distaccare i muscoli erettori spinali lombari: tale manovra comporta però una riduzione della loro efficienza nel periodo postoperatorio, soprattutto quando vengono rimossi i processi spinosi a cui sono ancorati. In questa regione si riconoscono sei gruppi muscolari principali: gli interspinali, gli spinali (thoracis e lumborum), il

trasversospinale, il lunghissimo dei lombi, l'ileocostale, l'intertrasversario e il quadrato dei lombi.

Il punto di ingresso della vite peduncolare è individuato dalla confluenza dei seguenti reperi: il margine laterale della pars interarticularis, il processo mammillare, il margine laterale della faccetta articolare superiore e la linea orizzontale passante per la metà del processo trasverso (n.d.r. Figura 28). La traiettoria della vite a livello lombare prevede una convergenza mediale di 10-15° nel piano assiale e un orientamento parallelo al piatto somatico superiore nel piano sagittale, in modo da rimanere all'interno del peduncolo e del corpo vertebrale senza perforarne le corticali.

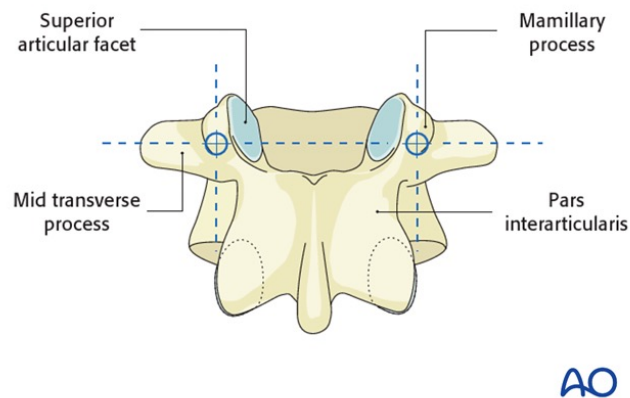


Figura 28 Punto di ingresso delle viti peduncolari a livello delle vertebre lombari. Fonte: (8)

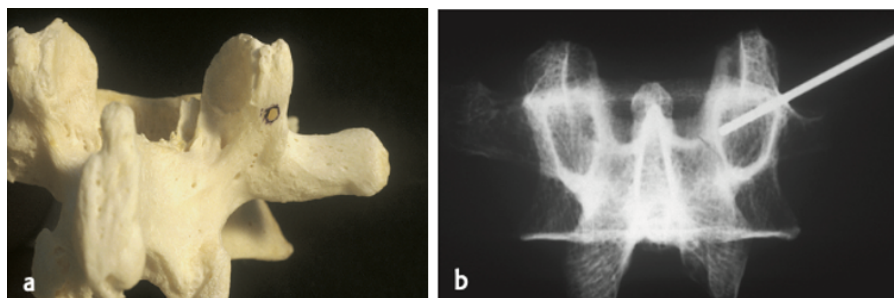


Figura 29 Punto di ingresso in L1 ed L2. Fonte: (8)

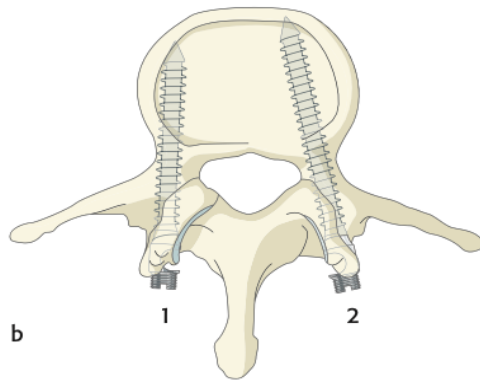


Figura 30 Immagine esplicativa della vite all'interno della vertebra. Fonte: (8)

Anche nel rachide lombare trovano impiego gli uncini sopralaminari, utilizzati per esercitare forze di compressione o di distrazione oppure per realizzare un complesso ad artiglio. La loro applicazione richiede la preparazione dello spazio interlaminare: si distacca l'inserzione inferiore del legamento giallo robusto e aderente, tramite raspe o curette, in modo da scoprire il margine superiore della lamina ed esporre il piano osseo di interesse, evitando però la completa rimozione del legamento per preservare i rapporti con i tessuti molli e l'apporto vascolare locale. Poiché il bordo inferiore della lamina soprastante, ispessito e con decorso obliquo, può coprire in misura variabile la lamina sottostante, quando l'ampiezza dello spazio interlaminare è ridotta si rende necessario un suo assottigliamento, creando un'incisura sul margine inferiore della lamina; può inoltre essere richiesta un'ulteriore resezione del margine mediale del processo articolare per facilitare l'aggancio dell'uncino.

La laminectomia è un intervento di resezione del processo spinoso e della porzione mediale della lamina, finalizzato all'apertura del canale spinale; può rappresentare uno step ulteriore dell'intervento artrodesi vertebrale ad accesso posteriore per ottenere una decompressione midollare e/o radicolare in caso di frattura vertebrale con associata compressione delle strutture nervose.

L'obiettivo principale è ampliare il diametro del canale vertebrale per liberare il sacco durale e le radici nervose dalla compressione esercitata da frammenti retropulsi. La procedura si esegue con il paziente in posizione prona, in anestesia generale e sotto controllo fluoroscopico: dopo l'incisione mediana e lo scollamento sottoperiosteo della muscolatura paravertebrale, si espone l'arco posteriore della vertebra interessata. Si procede quindi alla rimozione del processo spinoso e della lamina mediante pinza

Kerrison, trapano ad alta velocità e curette, asportando il legamento giallo e i frammenti ossei che protrudono nel canale fino a ottenere una decompressione adeguata delle strutture nervose.

A seconda dell'estensione necessaria, la resezione può essere completa e bilaterale (laminectomia propriamente detta) oppure limitata a un solo lato (emilaminectomia), tecnica meno invasiva indicata nelle compressioni monolaterali o foraminali, che consente di preservare meglio la stabilità della colonna posteriore.

La rimozione di una parte significativa della colonna posteriore riduce però il sostegno biomeccanico del segmento e trasferisce il carico prevalentemente sul corpo vertebrale, spesso già indebolito dalla frattura. Per questo motivo è importante mantenere la continuità della colonna posteriore zigapofisaria, conservando almeno 5 millimetri di osso su entrambi i lati a livello dell'istmo e delle faccette articolari, così da non compromettere ulteriormente la stabilità del rachide.

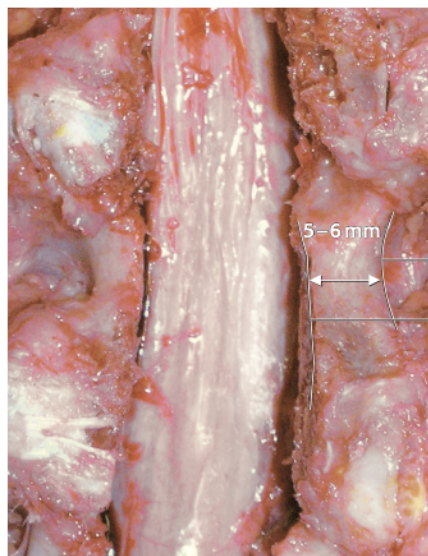


Figura 31 Vista posteriore di Laminectomia lombare. Fonte: (8)

3.3.1 STABILIZZAZIONE POSTERIORE MEDIANTE VITI PEDUNCOLARI

Le viti peduncolari rappresentano lo standard nella stabilizzazione del rachide, consentendo un ancoraggio solido tra i corpi vertebrali e i sistemi di supporto, come le barre para-vertebrali. La corretta esecuzione richiede la conoscenza dell'anatomia vertebrale locale e una pianificazione preoperatoria: vanno infatti considerati il diametro

del peduncolo, il punto di ingresso, la direzione della vite, la sua lunghezza e la densità ossea. Il diametro del peduncolo è il principale fattore decisionale nella scelta della vite. Il punto di ingresso si localizza all'intersezione tra il margine laterale del processo articolare superiore e la porzione immediatamente laterale alla base del processo trasverso. L'orientamento della vite nel piano trasverso prevede una convergenza mediale e nel piano sagittale, un decorso parallelo al piatto somatico superiore come precedentemente descritto. La lunghezza della vite varia in base al livello vertebrale e definita in base a studio TC del rachide nel preoperatorio. La densità ossea è un ulteriore elemento critico, che può richiedere tecniche di augmentazione per migliorare l'ancoraggio osseo. (8)

L'approccio è centrale, sulla linea mediana posteriore, si accentua la lordosi e si procede alla dissezione dei piani fino ad arrivare alla base dei processi trasversi come sopra descritto. Per quanto riguarda il punto di ingresso per le viti, esso è determinato in base ai peduncoli vertebrali e al profilo sagittale desiderato: l'invito attraverso la corticale viene praticato utilizzando un trapano ad alta velocità da 2 millimetri che perfora la parete posteriore per circa 5 millimetri, per poi essere sostituito da una sonda peduncolare retta e smussa che si approfonda fino a 3 centimetri circa. Utilizzando la sonda o un misuratore di profondità, la parete mediale del peduncolo viene continuamente palpata per assicurarsi che il tragitto rimanga intraosseo e non perfori la corticale anteriore. Successivamente possono essere inseriti i fili di Kirschner nel tragitto peduncolare.

STABILIZZAZIONE CORTA POSTERIORE CON VITI PEDUNCOLARI

La stabilizzazione corta posteriore con viti peduncolari interessa 2 livelli soltanto, ed è indicata frattura di tipo A3, A4, B1 e B2 senza danno severo del complesso discollegamentoso anteriore e in pazienti giovani e non osteoporotici.

Le viti peduncolari vengono inserite nelle vertebre cefaliche e caudali rispetto alla vertebra fratturata, e possono essere utilizzate sia viti mono-assiali che poli-assiali, le quali, sebbene abbiano minore tenuta e capacità di trazione, sono caratterizzate da una testa in grado di muoversi liberamente intorno al fusto, adattandosi alle deformità del rachide. Il profilo dell'asta utilizzata dipende dal sito della frattura dopo la curvatura

naturale della colonna vertebrale. Un'asta sagomata in cifosi lieve viene scelta per le fratture da T1-T10, una dritta o leggermente lordotica viene scelta per le fratture da T11-L1 e una sagomata alla lordosi viene scelta per le fratture lombari. Questa, successivamente, viene inserita nelle teste delle viti distali su entrambi i lati e serrata, mentre è inserita nelle teste delle viti prossimali senza serrare.

Se si decide di eseguire una decompressione indiretta, ciò viene fatto in questa fase, ma se si rivelasse insufficiente, si renderebbe necessaria una decompressione diretta (posteriore o transpeduncolare).

Con l'aiuto di un distrattore, le viti prossimali vengono distratte lungo l'asta su entrambi i lati contemporaneamente. Le teste delle viti sono serrate con i dadi interni per fissare la riduzione ottenuta. Il costrutto finale è mostrato da una vista anteriore ed una laterale in fluoroscopia.

Se in passato la fusione veniva eseguita abitualmente in tutte le fratture spinali, le sue indicazioni sono oggi riservate alle fratture altamente instabili. Le fissazioni senza fusione, ossia senza innesti ossei, possono invece essere impiegate nelle lesioni di tipo A2, A3 e B1, mentre la fusione rimane indicata nelle lesioni A4, B2, B3 e in tutte le lesioni C, trattandosi di quadri instabili caratterizzati da un esteso danno dei tessuti molli e da rottura legamentosa.

Negli interventi senza fusione, la capsula delle articolazioni zigapofisarie (faccette articolari) viene preservata per l'intera durata della procedura.

Le viti e le barre possono essere rimosse non prima di nove mesi dall'intervento, una volta accertata la consolidazione della frattura. (50)

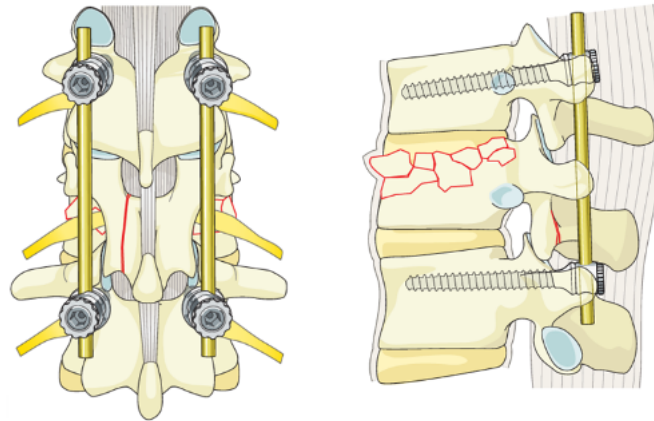


Figura 32 *Illustrazione di Stabilizzazione Corta Posteriore. Fonte: (50)*

STABILIZZAZIONE CORTA POSTERIORE CON VITI INTERMEDIE

La stabilizzazione corta posteriore con viti intermedie prevede l'aggiunta di una vite su peduncoli integri della vertebra fratturata, aumentando notevolmente la stabilità di un costruito corto, senza.

L'approccio e la preparazione sono le medesime. In questo caso le viti del peduncolo vengono inserite nelle vertebre cefalica e in quella caudale al livello di frattura su uno o entrambi i lati. È possibile utilizzare viti mono o poliassiali. Sotto guida fluoroscopica, le viti vengono inserite anche nei peduncoli delle vertebre fratturate e sono dette "viti intermedie"; tuttavia, se un peduncolo, valutato dalla TC, è fratturato, nessuna vite viene inserita in quel peduncolo, mentre se entrambi i peduncoli sono coinvolti, questa tecnica non può essere utilizzata.

Le viti intermedie sono lasciate leggermente sporgente rispetto alle viti inserite sopra e sotto, al fine di poter ridurre la frattura in seguito. La lunghezza delle viti intermedie è generalmente più corta rispetto a quelle adiacenti in modo che entri di poco nel corpo vertebrale dopo aver attraversato il peduncolo. Ciò consente una ricostruzione anteriore in un secondo momento, se necessario, senza disturbare il costruito posteriore.

Il profilo dell'asta dipende dal sito della frattura, come descritto nella tecnica precedente. L'asta viene introdotta nelle teste delle viti da distale a prossimale e la testa della vite distale viene serrata per prima, mentre quelle prossimali e intermedie sono tenute allentate.

Se è necessaria una decompressione, in questa fase può essere effettuata una riduzione

con gli stessi criteri descritti per la tecnica precedente.

Con l'aiuto di un supporto per asta e di un distrattore, le viti prossimali vengono distratte lungo l'asta su entrambi i lati contemporaneamente. Le teste di bloccaggio delle viti prossimali e intermedie sono serrate per fissare la distrazione ottenuta.

Anche per la fusione le indicazioni sono le medesime descritte precedentemente. (50)

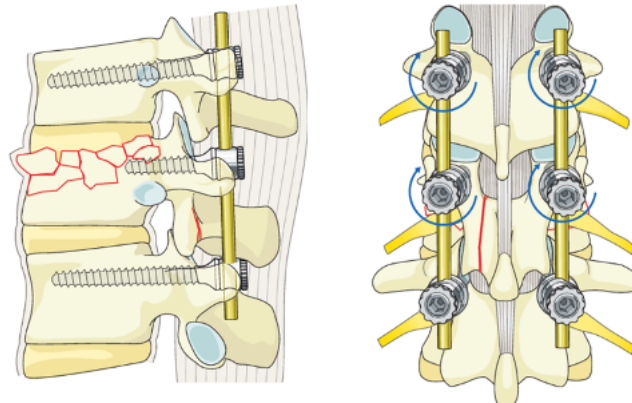


Figura 33 *Illustrazione di Stabilizzazione Corta posteriore con Viti Intermedie. Fonte: (50)*

STABILIZZAZIONE LUNGA POSTERIORE

La stabilizzazione lunga posteriore interessa almeno 2 livelli prossimali e distali, ed è indicata fratture instabili tipo A4, B3 e tipo C, in qualsiasi frattura instabile in corrispondenza della giunzione toraco-lombare e/o paziente anziano con osteoporosi.

L'approccio è il medesimo. La fissazione di più segmenti spinali non influisce sulla funzionalità della colonna vertebrale toracica a causa della presenza di una gabbia toracica rigida che ne limita i movimenti, rispetto al segmento lombare che è più mobile.

In questa tecnica, le viti peduncolari vengono inserite due livelli sopra e sotto il livello fratturato su entrambi i lati.

Questo è essenziale nelle lesioni rotazionalmente instabili in cui lo stress sugli impianti posteriori è elevato. Il profilo dell'asta dipende dal sito della frattura. L'asta viene inserita in sequenza, da distale a prossimale o viceversa. Solo le teste delle viti distali sono serrate.

Un corretto contornamento dell'asta aiuta a ottenere un adeguato allineamento sagittale.

Se si decide di eseguire una decompressione viene fatto in questa fase, con gli stessi criteri e tecniche precedentemente descritte. Con l'aiuto di un distrattore, le viti prossimali vengono distratte lungo l'asta, su entrambi i lati contemporaneamente. Le teste delle viti sono serrate con i dadi interni per fissare la riduzione ottenuta. I collegamenti incrociati vengono applicati nella parte superiore e inferiore del costrutto per fornire stabilità biomeccanica rispetto a forze torsionali. Nelle lesioni di tipo A un singolo collegamento incrociato potrebbe essere sufficiente a garantire maggiore stabilità.

Anche qui la fusione mediante innesto osseo è prevista secondo gli stessi criteri descritti in precedenza. (50)

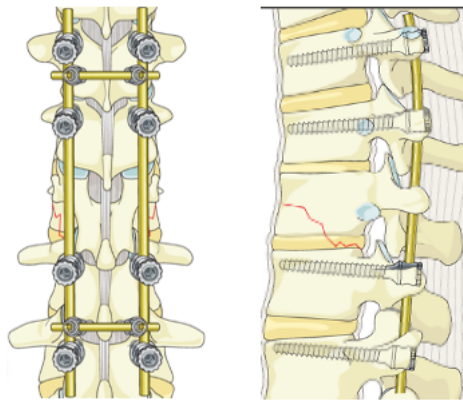


Figura 34 *Illustrazione di Stabilizzazione Lunga Posteriore (multilivello). Fonte: (50)*

TECNICA DI ARTRODESI CON VITI DI SCHANZ

Nel caso della tecnica con viti di Schanz, vengono inserite manualmente viti da 6.2 o 7.2 millimetri tramite le impugnature dedicate. Il controllo può avvenire mediante fluoroscopia in proiezione laterale ed antero-posteriore per verificare che non oltrepassino la linea mediana.

Una volta inserite le quattro viti Schanz, due per ciascun lato ai livelli immediatamente craniale e caudale alla vertebra fratturata, vengono applicate le barre longitudinali del modulo medialmente rispetto ad esse e collegate alle viti tramite apposite *clamp* per fratture. In questa fase le clamp vengono lasciate volutamente allentate, in modo da

consentire alle viti di scorrere liberamente lungo la barra: ciò permette di eseguire successivamente le manovre di riduzione o distrazione, compressione o correzione della cifosi a seconda del tipo di frattura, prima del serraggio definitivo, che fissa il costrutto nella configurazione corretta. (8)

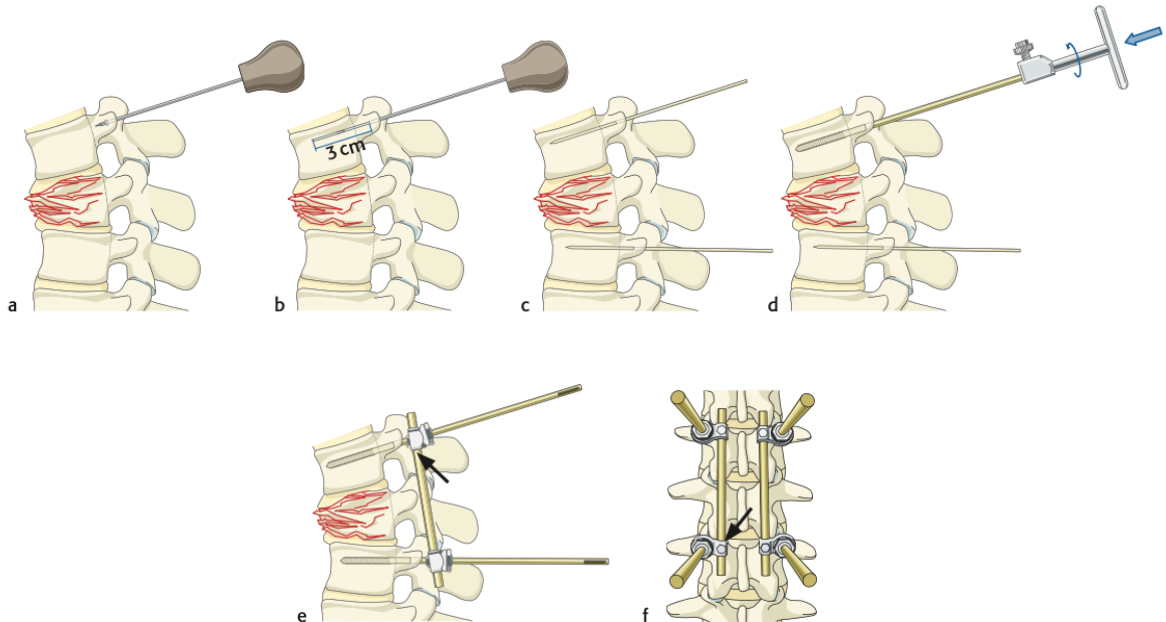


Figura 35 Applicazione delle barre longitudinali e delle clamp alle viti di Schanz nella stabilizzazione posteriore. Fonte: (8)

Nel caso delle fratture tipo A1-A2 con integrità della parete posteriore la tecnica di riduzione e contenzione consiste nell'avvicinare le estremità posteriori delle viti Schanz vengono manualmente, fino alla correzione della cifosi desiderata, mantenendo le *clamp* allentate in modo tale che possano scorrere liberamente l'una verso l'altra durante la riduzione: in questo tempo chirurgico il centro di rotazione è sul margine posteriore del corpo vertebrale. Il corpo vertebrale viene distratto anteriormente e viene ripristinato sia lo spazio discale che l'altezza del segmento. Successivamente vengono posizionate le chiavi a bussola sulle viti caudali e vengono serrati i dadi, poi si ripete per la parte craniale e si stabilisce l'allineamento corretto sagittale.

Un mezzo anello viene posizionato e fissato al centro di ogni barra tra le clamp, in modo da distrarre le viti e ripristinare l'altezza. Questo viene effettuato tramite delle pinze che sono progressivamente aperte fino ad arrivare all'ampiezza desiderata; ora verranno strette definitivamente le viti e i mezzi anelli vengono rimossi. (8)

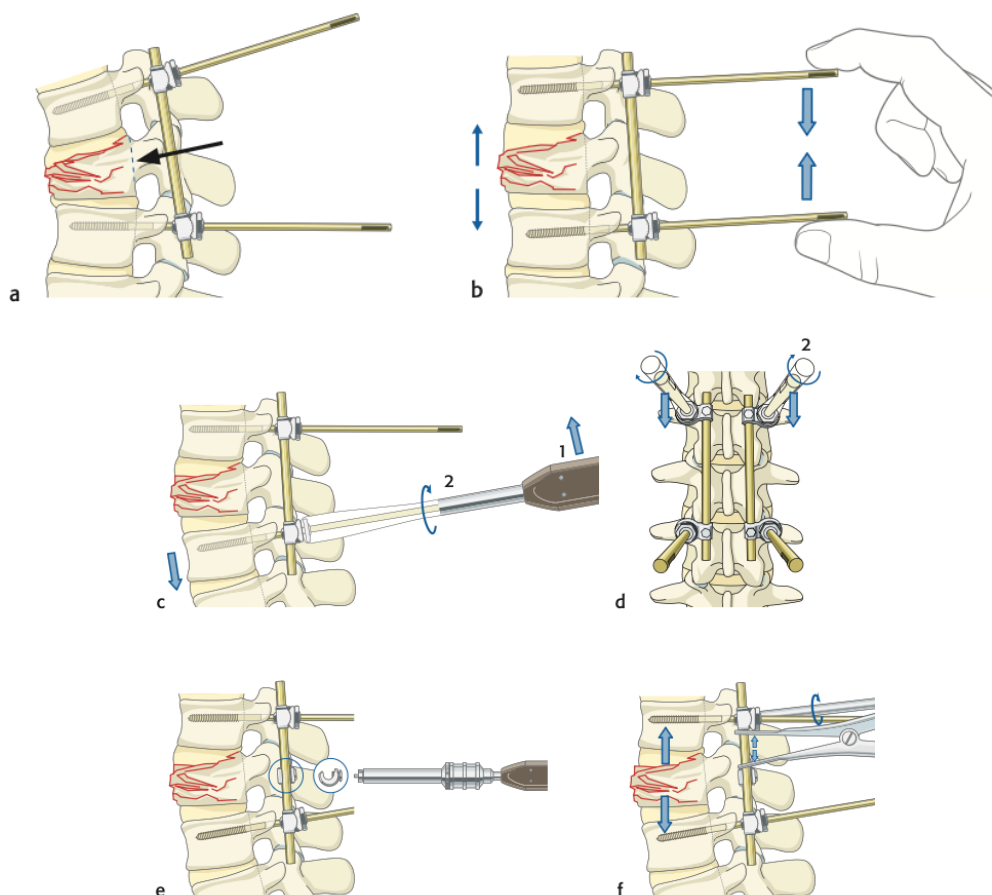


Figura 36 Posizionamento del mezzo anello per la distrazione delle viti e il ripristino dell'altezza vertebrale. Fonte: (8)

Nelle fratture con interessamento della parete somatica posteriore, come le A3 e le A4, esiste il rischio che i frammenti ossei posteriori vengano sospinti nel canale vertebrale durante la correzione della cifosi: avvicinando le estremità posteriori delle viti di Schanz, infatti, il centro di rotazione si collocherebbe sul margine posteriore del corpo vertebrale, proprio in corrispondenza dei frammenti. Per evitarlo si ricorre a una manovra che sposta posteriormente il centro di rotazione. Prima della correzione vengono posizionati su ciascuna barra da 6 millimetri due mezzi anelli (spaziatori) da 5 millimetri, mantenuti a 5 millimetri di distanza l'uno dall'altro. Quando le estremità delle viti vengono avvicinate, le clamp entrano in contatto con i mezzi anelli e il fulcro della rotazione si trasferisce indietro, a livello delle barre: in questo modo la correzione apre il corpo vertebrale anteriormente senza comprimere il canale. Tale configurazione richiede una forza maggiore per correggere la cifosi. La lordosi viene controllata con fluoroscopia in proiezione laterale; si serrano quindi i dadi posteriori e si fissano definitivamente le viti di serraggio delle *clamp*. La procedura è ripetuta per le altre viti

di Schanz; infine, i mezzi anelli vengono rimossi e si applica una distrazione per ripristinare l'altezza originale del corpo vertebrale. (8)

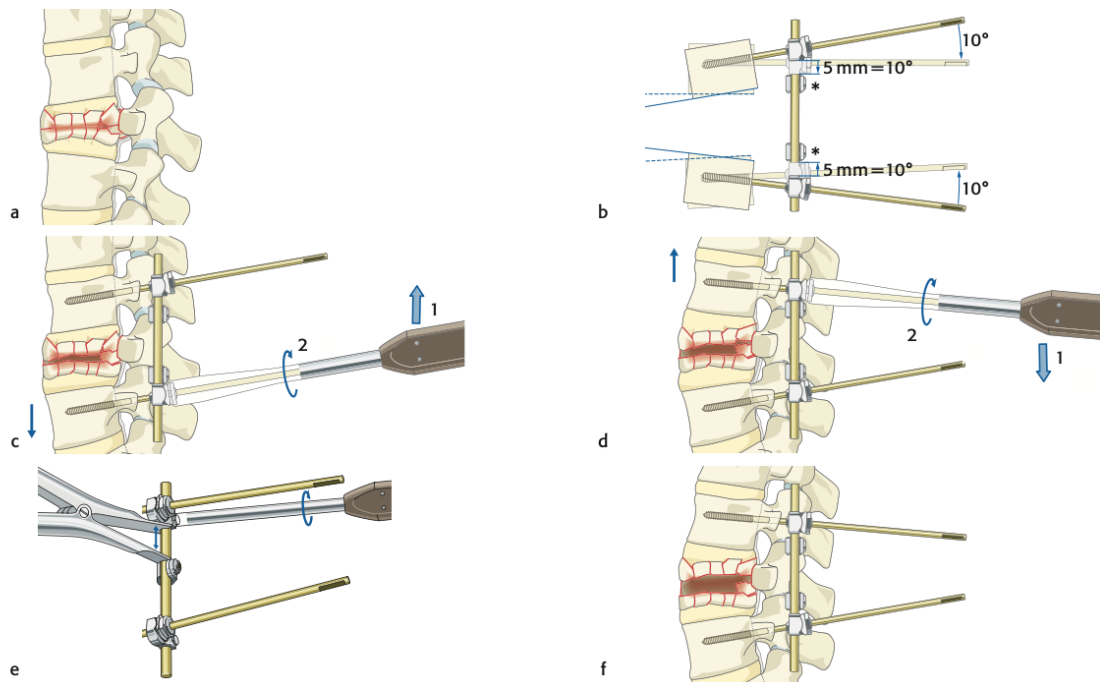


Figura 37 Riduzione delle fratture con interessamento della parete posteriore (A3-A4) e controllo del centro di rotazione durante la correzione della cifosi. Fonte: (8)

Nelle fratture trasversali di tipo B1 e B2 la lesione determina una distrazione degli elementi posteriori; in questi casi l'impianto agisce come una banda di tensione e, dopo la riduzione eseguita secondo il metodo già descritto, non si applica una distrazione bensì una compressione, che richiude il varco posteriore. Per ottenere la compressione i mezzi anelli vengono posizionati tra le *clamp* e le pinze da compressione sono applicate tra le camp posteriori e i mezzi anelli (o i supporti per barra da 6 millimetri), avvicinando così le *clamp* lungo la barra. Si serrano quindi definitivamente le viti di bloccaggio delle *clamp* e si recidono le estremità sporgenti delle viti di Schanz con un tronchese per bulloni.

Una volta avvenuta la consolidazione della frattura, dopo alcuni mesi lo strumentario può essere rimosso per restituire mobilità al segmento trattato. (8)

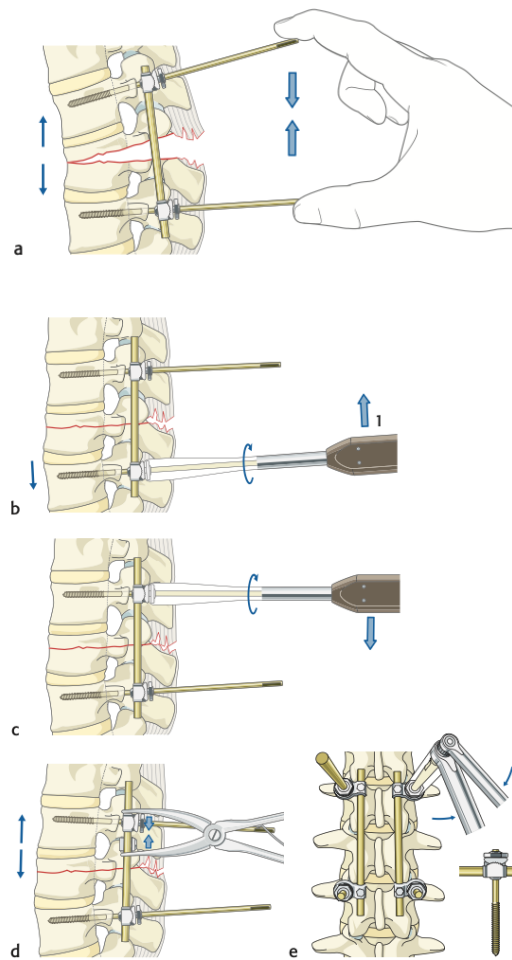


Figura 38 Stabilizzazione in compressione delle fratture trasversali a due colonne (tipo B).
Fonte: (8)

Quando la lesione coinvolge prevalentemente i legamenti, è possibile effettuare una fissazione mono segmentaria. Se i peduncoli e la metà inferiore dei corpi vertebrali risultano integri, le viti Schanz possono essere inserite direttamente nel corpo vertebrale fratturato con un orientamento precedentemente pianificato. È necessaria, dunque, una RM preoperatoria per escludere eventuali ernie discali posteriori che determinerebbero una lesione neurologica durante la manovra di riduzione che si basa sempre sul meccanismo di compressione. (8)

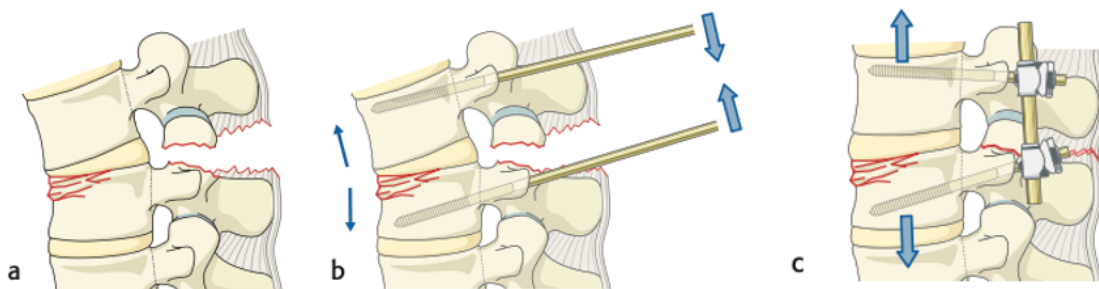


Figura 39 Fissazione monosegmentaria con viti di Schanz inserite direttamente nel corpo vertebrale fratturato. Fonte: (8)

FRATTURE DI TIPO C

Nelle fratture di tipo C, il modulo USS agisce come dispositivo di neutralizzazione, con una tecnica simile a quella descritta per le fratture con interruzione della parete posteriore. Queste, essendo caratterizzate da una componente rotazionale, necessitano l'aggiunta di un sistema *cross-link* tra le due barre da 6 millimetri. In caso di grave lussazione vertebrale del rachide toracico è consigliato estendere la strumentazione di due livelli superiormente e due inferiormente rispetto alla vertebra lussata, per facilitare la riduzione e aumentare la stabilità della struttura vertebrale.

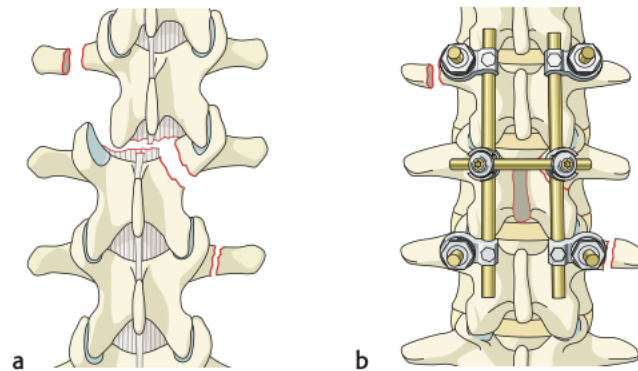


Figura 40 Stabilizzazione delle fratture di tipo C con sistema cross-link tra le barre longitudinali. Fonte:(8)

Nella maggior parte dei casi la riduzione lascia un importante difetto di sostanza ossea all'interno del corpo vertebrale, che deve essere colmato con un innesto osseo autologo. L'innesto viene introdotto attraverso lo stesso approccio posteriore per via transpeduncolare: nel peduncolo della vertebra fratturata si crea un canale di 6 millimetri di diametro, realizzato dapprima con una sonda peduncolare, la cui posizione è controllata di continuo sotto guida radiologica, e quindi ampliato con una punta oscillante orientata

in direzione craniale, verso il difetto del corpo vertebrale. Attraverso il canale peduncolare è inoltre possibile rimuovere il materiale discale, sia per riempire il corpo vertebrale fratturato sia per favorire una fusione anteriore tra la vertebra soprastante e quella fratturata; a tale scopo viene ripulito il piatto vertebrale inferiore della vertebra superiore. Il punto di ingresso è raggiungibile senza interferire con lo strumentario, poiché si trova lateralmente alla barra longitudinale ed è allineato con le viti di Schanz già posizionate. Si introduce infine uno speciale imbuto fino al centro del corpo vertebrale: in questo modo il canale vertebrale è protetto dalla penetrazione accidentale dei frammenti di innesto, che vengono così sospinti in sicurezza nella sede del difetto.

Qualora la riduzione non ripristini la pervietà del canale vertebrale e i frammenti della parete posteriore continuino a sporgere al suo interno, si esegue un'emilaminectomia associata alla resezione del peduncolo della vertebra fratturata, così da ridurre o asportare i frammenti protrudenti.

In presenza di un importante difetto della colonna anteriore associato a compromissione meccanica, aumenta il rischio di rottura delle viti di Schanz; in questi casi si rende necessario un innesto anteriore. (8)

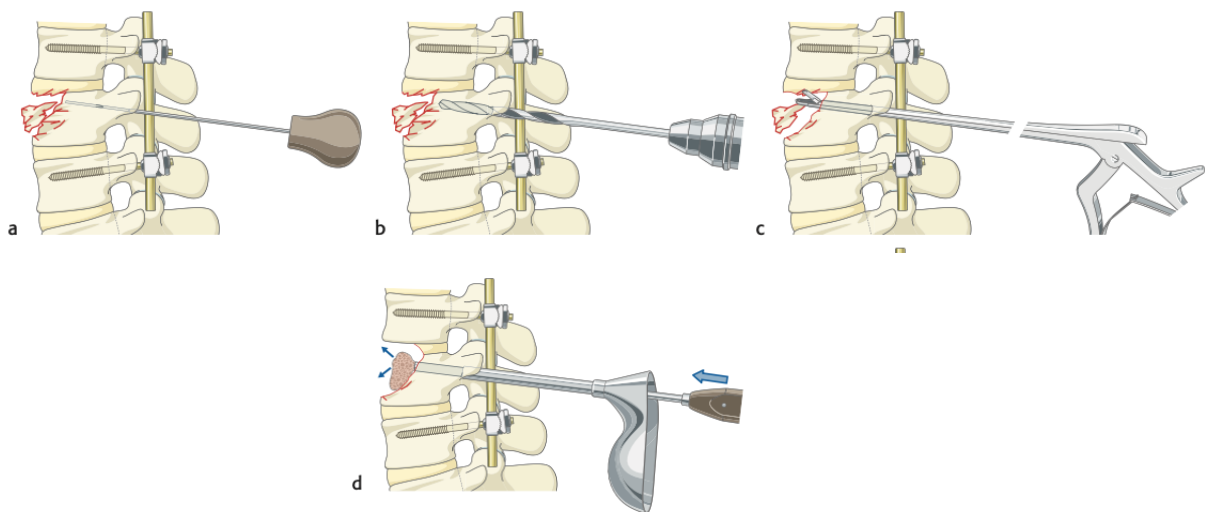


Figura 41 Innesto osseo transpeduncolare per il difetto della colonna anteriore. Fonte: (8)

3.3.2 DECOMPRESSIONE DEL CANALE VERTEBRALE

La stenosi degenerativa del canale vertebrale può comparire in seguito a fratture a compressione, soprattutto in pazienti con stenosi preesistente, e più raramente come

conseguenza di retropulsione dell'osso nel canale spinale. In tali condizioni, la decompressione chirurgica rappresenta il trattamento di scelta nei pazienti con deficit neurologico, dolore refrattario, mielopatia progressiva o significativa instabilità vertebrale. Può essere ottenuta tramite laminectomia, emilaminectomia o procedure di decompressione indiretta che vengono associate a stabilizzazione.

La laminectomia consiste nella rimozione completa della lamina vertebrale e del legamento giallo, con successivo ampliamento del canale vertebrale e decompressione delle strutture nervose. L'emilaminectomia, prevede la resezione unilaterale della lamina, è meno invasiva e indicata nelle compressioni localizzate o monolaterali, preservando meglio la stabilità posteriore del rachide. Il fatto di rimuovere gran parte della colonna posteriore però, determina il trasferimento del carico prevalentemente a livello del corpo vertebrale, che spesso è già interessato da fratture. Per questo motivo i pazienti che vengono sottoposti a questa procedura chirurgica, ricevono anche una concomitante stabilizzazione tramite vertebroplastica o tramite viti transpeduncolari. (51) (52) (53) (54) (55)

Viene eseguita in anestesia generale, il paziente è in posizione prona e viene allestita la strumentazione per il controllo fluoroscopico intraoperatorio. La procedura prevede un'incisione mediana e lo scollamento sottoperiosteale dei piani fino all'esposizione vertebrale. Successivamente vengono prima fissate delle viti peduncolari ai livelli superiore e inferiore per ricostituire l'altezza originale della vertebra e determinare decompressione, riducendo il rischio di collasso durante la resezione ossea. (53) (56)

Il materiale utilizzato prevede viti peduncolari, barre longitudinali, *cross-link*, sistemi di augmentazione con cemento PMMA (polimetilmetacrilato) radiopaco, cannule transpeduncolari e strumenti di decompressione come pinze Kerrison, trapani ad alta velocità, curette, osteotomi e pinze ossivore. (2) (54)

La decompressione avviene mediante la resezione della lamina, utilizzando il trapano e la pinza Kerrison, asportando il legamento giallo e rimuovendo i frammenti ossei che possono trovarsi nel canale vertebrale. Nei casi più severi è bene associare una decompressione più ampia con osteotomia e corpectomia parziale. (52)

L'emilaminectomia prevede un accesso più limitato, riducendo danno muscolare e

preservando parte delle strutture posteriori, essendo quindi più indicata nelle compressioni laterali e foraminali. Vengono descritte anche tecniche di decompressione associate a vertebroplastica transpeduncolare, dove dopo il posizionamento della strumentazione, viene eseguita l'iniezione di cemento PMMA nel corpo vertebrale sotto guida fluoroscopica, per aumentare la stabilità primaria e ridurre il rischio di mobilizzazione della vite all'interno dell'osso. (51) (53) (54)

Le linee guida *AO Spine* raccomandano un approccio individualizzato basato sul grado di instabilità e sulla presenza del deficit neurologico, sulla deformità sagittale e sulla qualità ossea, suggerendo l'associazione tra decompressione e stabilizzazione nelle fratture instabili. (57) (58)

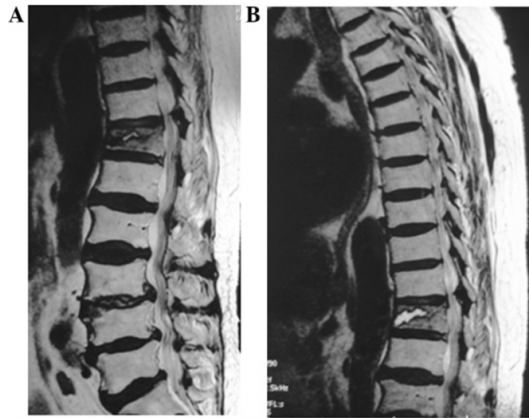


Figura 42 Immagine di Risonanza Magnetica che mostra T12 prima e dopo la procedura descritta al paragrafo soprastante. Fonte: (59)

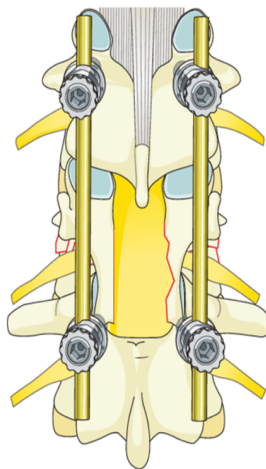


Figura 43 Illustrazione del risultato di laminectomia associata a stabilizzazione con viti transpeduncolari. Fonte: (50)

3.3.3 VERTEBROPLASTICA

La vertebroplastica è una tecnica di rinforzo percutaneo dei corpi vertebrali indeboliti da processi degenerativi come osteoporosi o neoplasie. Numerosi studi sui diversi materiali di riempimento hanno dimostrato che il PMMA offre risultati superiori rispetto agli altri materiali e che un approccio mono- o bilaterale era ugualmente efficace. (60)

Il trattamento si è inoltre rivelato più efficace nelle fratture osteoporotiche rispetto alle lesioni metastatiche. (61) Rimangono delle incertezze legate all'età della lesione, principalmente per una peggior prognosi osservata nei pazienti con uso continuativo di farmaci analgesici. (62) Ulteriori studi hanno infine evidenziato che, dopo il trattamento, ci sia un aumento dell'incidenza di nuove fratture, verosimilmente correlato all'età avanzata dei pazienti. (63)

La principale indicazione è dunque l'osteoporosi, in particolare nei casi di dolore persistente per oltre 3-8 settimane dopo l'evento iniziale, di dolore severo con costrizione a letto per oltre una settimana e di fratture da compressione progressive di una o più vertebre associate allo sviluppo di cifosi multilivello. Nelle forme di osteoporosi severa può essere indicata l'associazione con sistemi di fissazione interna.

Costituiscono controindicazioni la presenza di sintomi non correlati alla malattia, la stenosi del canale vertebrale, le infezioni in atto, un quadro fluoroscopico non dirimente e le situazioni in cui un intervento a cielo aperto risulti più vantaggioso.

La valutazione preoperatoria si articola in una componente clinica, che considera la capacità del paziente di mantenere la posizione prona e l'eventuale assunzione di anticoagulanti o antiaggreganti, e in una componente radiologica, volta a confermare la concordanza tra le immagini e il quadro clinico.

Nelle fratture recenti in pazienti con malattia lieve è generalmente sufficiente il trattamento di un solo livello con approccio bilaterale. Quando la malattia si rivela più severa del previsto, è consigliata l'iniezione profilattica anche nelle vertebre adiacenti. In presenza di fratture multiple il trattamento viene esteso a tutte le vertebre interessate e a quelle adiacenti ancora integre. Se il paziente sviluppa in breve tempo fratture multiple con cifosi progressiva, si raccomanda il rinforzo delle aree maggiormente a

rischio, in particolare del rachide toraco-lombare, obiettivo che può essere conseguito nel corso di più sedute. In caso di trattamento di più livelli vertebrali è invece preferito l'approccio monolaterale. (8)

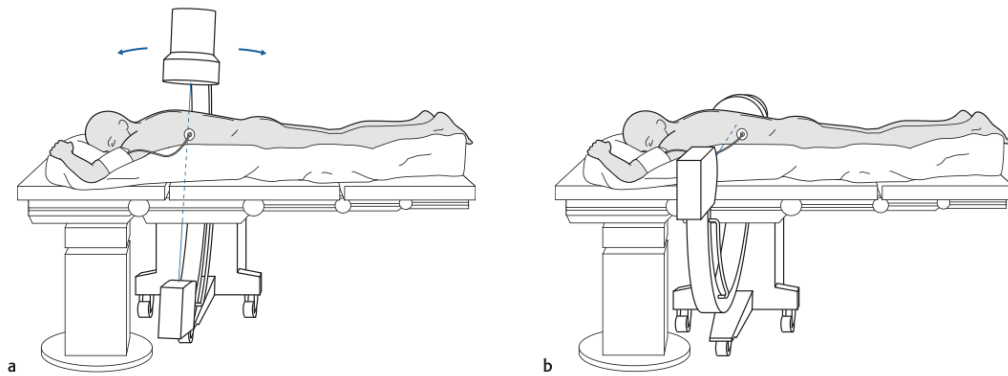


Figura 44 *Illustrazione del posizionamento del paziente durante la seduta operatoria.*
Fonte: (8)

Dal punto di vista tecnico, si inizia con un approccio percutaneo transpeduncolare o posterolaterale; il cemento viene quindi iniettato attraverso una cannula di diametro variabile tra 7 e 14 Gauge. Alcuni autori consigliano la guida tomografica (TC), mentre l'iniezione vera e propria è eseguita sotto controllo fluoroscopico laterale; durante l'intera procedura è comunque raccomandato il controllo biplanare. Per l'iniezione si utilizza una pistola dedicata o più siringhe di piccolo calibro, e il cemento radiopaco viene introdotto quando ha raggiunto un'elevata viscosità.

La procedura si svolge in sala operatoria. Il paziente viene posizionato in decubito prono su un materasso a cuscino di sabbia (“beanbag”) ed è sottoposto ad anestesia, eventualmente anche generale; il posizionamento prevede un'iperestensione del rachide per favorire la decompressione del segmento vertebrale.

L'area da trattare deve essere individuata prima della preparazione sterile e della disinfezione del campo operatorio, e si procede soltanto in caso di chiara visualizzazione fluoroscopica della sede patologica. Dopo l'applicazione del telo sterile, le vertebre interessate vengono identificate con l'amplificatore di brillantezza, regolato in

proiezione postero-anteriore e con l'immagine parallela ai piatti vertebrali, in modo da rendere ben visibili i peduncoli.

L'anestetico locale viene infiltrato dapprima nella cute e quindi in profondità fino al periostio di ciascuna vertebra interessata, in corrispondenza del punto di inserzione del filo guida. Sotto controllo fluoroscopico si incide la cute e si avvanza il filo guida fino alla proiezione del peduncolo, talvolta con l'ausilio di un martello per penetrare la superficie ossea. La direzione del filo è controllata di continuo e, non appena la punta supera il margine mediale del peduncolo, la sua posizione deve essere verificata in proiezione laterale. Sopra il filo guida si inserisce poi, con movimenti rotatori e una manovra che può risultare dolorosa per il paziente, la cannula di riempimento, la cui punta viene portata fino alla metà anteriore del corpo vertebrale; a questo punto il filo guida può essere rimosso. L'esplorazione con un *trocac* consente infine di verificare che la corticale anteriore non venga perforata.

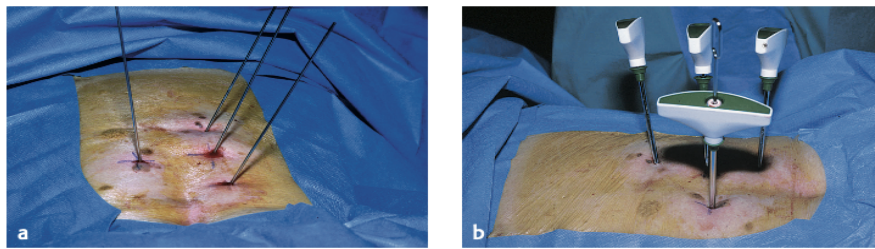


Figura 45 Immagini intraoperatorie durante la vertebroplastica. Fonte: (8)

Il riempimento avviene con cemento PMMA. Poiché il cemento convenzionale non è sufficientemente radiopaco, sono state formulate soluzioni specifiche con l'aggiunta di bario o zirconio. Il cemento viene inizialmente preparato in siringhe da 20 cc e successivamente trasferito in siringhe da 2 cc per l'iniezione, quando la viscosità diventa adeguata, ovvero quando si formano lunghi filamenti di cemento senza gocciolamento. A bassa viscosità, infatti, non può essere iniettato per l'elevato rischio di extravaso. L'iniezione viene eseguita sotto guida fluoroscopica laterale con una cannula standard e prevede la somministrazione di 1,5 cc di cemento; l'operazione si conclude quando il materiale radiopaco viene visualizzato anteriormente rispetto alla punta della cannula. Con l'approccio bilaterale le due cannule vengono riempite simultaneamente, ma il lato che termina per primo, con la propria colonnina di cemento, nasconde il

controlaterale; per questo motivo è preferibile un'iniezione simultanea ma alternata. L'iniezione viene interrotta quando il cemento assume un comportamento «a ragnatela» (*spider-like*).

Nel trattamento delle fratture recenti si può osservare un passaggio di materiale attraverso la rima di frattura verso lo spazio discale; per questo è preferibile un approccio bilaterale. L'aspetto più difficile consiste nel controllare ed evitare il passaggio del cemento nelle vene di drenaggio. Se la consistenza raggiunta non consente più l'iniezione tramite siringa, è possibile utilizzare il trocar per spingere anteriormente il volume residuo presente nella cannula: si tratta di una tecnica utile nei casi in cui si sia verificato uno stravasamento iniziale. Nel rachide lombare il rischio di stravasamento venoso è maggiore, poiché la fluoroscopia laterale è limitata dal bacino e dai tessuti molli.

Le formulazioni più recenti di PMMA consentono all'operatore di modulare la quantità di cemento iniettato in base alla situazione clinica specifica: nell'osteoporosi più severa l'iniezione risulta più agevole. In media vengono iniettati 3-6 cc di PMMA per ogni livello vertebrale.

Per trattare più livelli si preferisce un approccio monolaterale, alternando il lato destro e sinistro. In caso di collasso asimmetrico della vertebra, viene trattato per primo il lato maggiormente collassato, così da prevenire ulteriori deformità.

Prima della rimozione della cannula, il cemento viene lasciato indurire per evitarne il trascinarsi nei tessuti molli. Nel sito di puntura può verificarsi frequentemente un sanguinamento.

Dopo la procedura, il paziente rimane in posizione supina per circa un'ora, così da favorire la compressione della ferita. La mobilizzazione è consentita in base alla volontà del paziente. L'effetto della procedura viene valutato immediatamente, come riduzione del dolore a quel livello.

Le complicanze che vanno rigorosamente evitate sono lo stravasamento di cemento, l'embolia e il passaggio di cemento nel canale vertebrale. In letteratura sono descritti anche casi di reazioni sistemiche allo stravasamento del monomero tossico del cemento. Vanno pertanto

adottati accorgimenti di sicurezza, quali l'impiego di cannule di grande calibro e di cemento ad elevata radiopacità e con viscosità adeguata. La quantità massima di cemento iniettabile in totale è di 25-30 cc (sei livelli): sostituendosi al midollo osseo all'interno del corpo vertebrale, il midollo viene immesso in circolo, con conseguente rischio di embolia. (8)

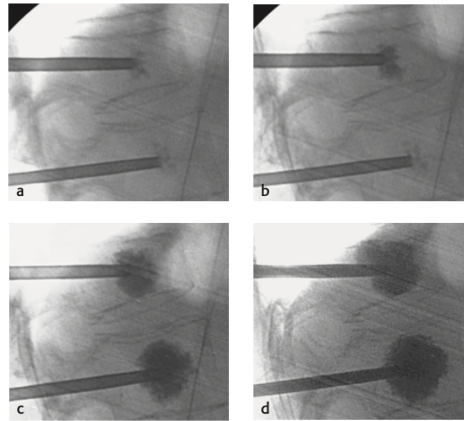


Figura 46 Immagine radiografica durante controllo intraoperatorio. Fonte: (8)

3.4 CONSIDERAZIONI NEL PAZIENTE CON OSTEOPOROSI

In una certa misura, l'osteoporosi è presente in quasi tutti i pazienti anziani. Nella maggior parte dei casi è possibile ricorrere a tecniche convenzionali di fissazione, purché il grado di malattia rimanga moderato. Quando le deformità e/o le fratture vertebrali sono associate all'osteoporosi possono insorgere difficoltà, che vengono affrontate mediante tecniche combinate comprendenti vertebroplastica, fissazione interna e fusione vertebrale. L'esecuzione di un intervento chirurgico su un rachide osteoporotico altera il delicato equilibrio biomeccanico, comportando un aumento del rischio di fratture nelle vertebre adiacenti.

I principi generali della chirurgia prevedono di disporre molteplici punti di fissazione, distribuendo il carico lungo un ampio braccio di leva, di accettare gradi minori di correzione della deformità, di evitare di terminare la strumentazione in corrispondenza di un segmento cifotico, di associare tecniche di augmentazione e stabilizzazione con viti quando si deve fissare un breve segmento.

La fissazione mediante viti peduncolari è divenuta il gold standard. Con l'aumentare della severità della malattia osteoporotica cresce il rischio di una ridotta tenuta delle viti (cosiddetto «*screw purchase*»); in questi casi vengono impiegati come punti di ancoraggio alternativi quali la lamina e il processo trasverso.

L'integrità della lamina garantisce una stabilità sufficiente anche nei gradi di malattia più severi; questa caratteristica viene sfruttata per inserire fili sublaminari e ottenere una fissazione su più livelli consecutivi, con distribuzione progressiva del carico biomeccanico. Con questa metodica si stabilizzano più livelli superiori e inferiori rispetto alla lesione, si corregge l'equilibrio sia sagittale sia coronale e si utilizzano *cross-link* che aumentano la stabilità del costruito. Il passaggio di questi fili può aumentare il rischio di lesione midollare, soprattutto negli anziani con compromissione già accertata. La barra va pertanto modellata prima di inserire i fili, che a loro volta vanno sagomati in base alle dimensioni della lamina vertebrale. (8)

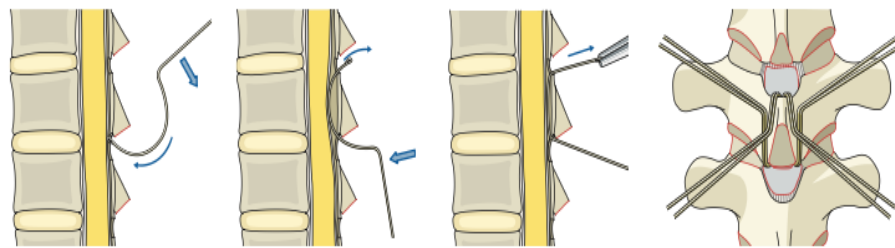


Figura 47 *Illustrazione della procedura di inserimento dei fili sub-laminari come descritto nel paragrafo soprastante. Fonte: (8)*

La fissazione tramite uncini e clamp garantisce una stabilità ottimale alla periferia del costruito vertebrale, mentre l'applicazione multilivello è particolarmente impegnativa per questa tecnica. Viene impiegato il sistema USS, in cui un uncino laminare craniale è associato ad un uncino peduncolare caudale e a viti peduncolari: tale configurazione è molto efficace nelle stabilizzazioni più estese. Nel rachide toracico, secondo dati sperimentali, questa tecnica è efficace con valori di densità ossea superiori a 100 mg/ml; nel rachide lombare si usano in combinazione uncini laminari e viti peduncolari.

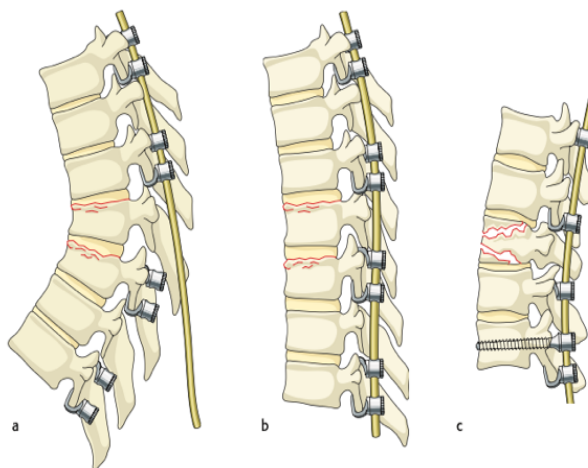


Figura 48 Fissazione con uncini laminari e viti peduncolari (sistema USS) nel rachide osteoporotico. Fonte: (8)

La ridotta densità ossea è associata a una minore capacità di tenuta delle viti peduncolari, problema che non si presenta finché la malattia è di grado lieve. Si consiglia di utilizzare viti di diametro maggiore, in grado di occupare per intero il peduncolo vertebrale, sebbene non esistano criteri assoluti per la valutazione della tenuta delle viti. L'operatore è così costretto a eseguire stabilizzazioni lunghe, con molteplici punti di ancoraggio che riducono le sollecitazioni meccaniche sul livello patologico. Una volta inserita la vite, la modifica del suo orientamento non consente di ottenere una stabilità adeguata; si tende pertanto a sfruttare la convergenza massimale, con il cosiddetto "effetto triangolazione". Esistono inoltre sistemi che consentono di ridurre le tensioni all'interfaccia vite-osso durante l'inserimento della barra. Le viti in titanio, inoltre, hanno garantito risultati migliori rispetto a quelle in acciaio inossidabile. L'effetto triangolazione viene ulteriormente accentuato dall'impiego dei *cross-link*.

La stabilità può essere migliorata anche dalla combinazione di viti peduncolari e uncini laminari, in cui questi ultimi compensano il vettore di estrazione delle viti stesse.

L'iniezione di PMMA nel tramite della vite, allo scopo di aumentare la tenuta dell'impianto, consente di applicare a un osso osteoporotico i principi biomeccanici tipici dell'osso sano, rendendo possibili anche stabilizzazioni più corte, con vantaggio per il paziente. (8)

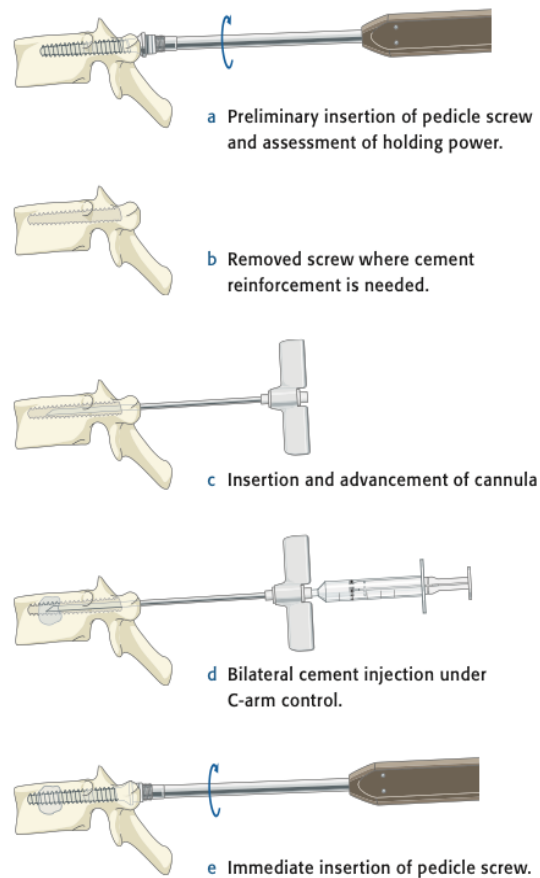


Figura 49 *Illustrazione della procedura combinata con vertebroplastica e viti transpeduncolari. Fonte: (8)*

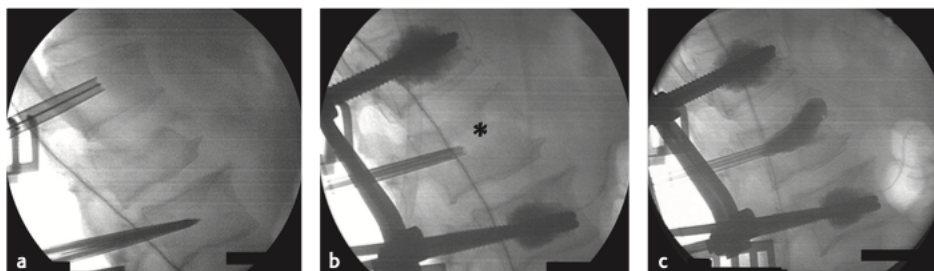


Figura 50 *Immagini radiografiche della tecnica combinata viti peduncolari e vertebroplastica. Fonte: (8)*

4 OGGETTO E SCOPO DELLO STUDIO

Le fratture toraco-lombari traumatiche rappresentano una importante causa di disabilità funzionale che determina un impatto clinico molto rilevante nei pazienti affetti da osteoporosi. Questa patologia, infatti, influenza sia la gravità della frattura, sia gli esiti clinico-funzionali del trattamento chirurgico, essendo un importante fattore di rischio per complicanze meccaniche ed un lento e difficoltoso recupero della disabilità correlata al danno vertebrale.

Alla luce di queste considerazioni, il presente studio propone una valutazione comparativa dell'outcome clinico-funzionale in pazienti osteoporotici e non osteoporotici sottoposti a trattamento chirurgico per fratture toraco-lombari traumatiche.

L'analisi si basa sui parametri clinici e funzionali *Visual Analogue Scale* (VAS) e l'indice *Oswestry Disability Index* (ODI), la necessità di terapia farmacologica analgesica nel post-operatorio, il numero di livelli stabilizzati ed il tempo in cui il paziente indossa il busto ortopedico nel post-operatorio, al fine di evidenziare eventuali differenze statisticamente significative nei due gruppi di pazienti.

5 MATERIALI E METODI

È stato condotto uno studio osservazionale retrospettivo monocentrico su pazienti sottoposti a trattamento chirurgico per frattura vertebrale toraco-lombare traumatica nell'intervallo di tempo tra gennaio 2018 e dicembre 2025, presso la Clinica di Neurochirurgia dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria delle Marche (Ospedali Riuniti di Ancona Torrette).

I pazienti sono stati selezionati come segue:

- Criteri di inclusione:
 - Pazienti sottoposti a trattamento chirurgico per frattura del tratto toraco-lombare come esito di esclusivo evento traumatico;
 - Età superiore a 60 anni;
 - Disponibilità di documentazione clinico-radiologica;
 - Follow-up clinico-strumentale di almeno 1 anno;
 - Adesione e consenso informato a colloquio telefonico per l'acquisizione di dati utili ai fini dello studio.
- Criteri di esclusione:
 - Pazienti con fratture patologiche (per esempio da metastasi o crollo spontaneo);
 - Frattura vertebrale trattate in maniera conservativa;
 - Documentazione incompleta o non reperibili telefonicamente.

Di ogni paziente è stata recuperata la seguente documentazione: lettera di dimissione, diagnostica per immagini, dettagli tecnici operatori, visite ambulatoriali post-operatorie. Tali informazioni sono state completate mediante l'ausilio di interviste telefoniche avvenute nel mese di Marzo 2026, previa autorizzazione del responsabile dell'unità operativa, rispetto della privacy, del segreto professionale e del codice deontologico medico.

5.1 DATI CLINICI

Dalla documentazione clinica sono stati ricavati dati anagrafici, dinamica del sinistro, anamnesi patologica remota alla ricerca della patologia osteoporosi nota o meno al momento dell'intervento, terapia preesistente per osteoporosi, sede della lesione.

Successivamente, tramite le interviste telefoniche, sono ricavati per ciascun paziente i valori degli indici VAS (*Visual Analogue Scale*) e ODI (*Oswestry Disability Index*), l'impiego di farmaci analgesici per il dolore post-operatorio e il periodo in cui il paziente ha necessitato del busto ortopedico.

La scala VAS è uno degli strumenti maggiormente utilizzati per la valutazione soggettiva da parte del paziente dell'intensità dolorifica in ambito sia clinico che di ricerca. È caratterizzata da una linea di circa 10 centimetri alle cui estremità sono riportati gli estremi del dolore, da “assenza di dolore” a “peggior dolore immaginabile”. Quindi, il paziente è invitato ad indicare la sua percezione in quel determinato momento, esprimendo il punteggio da 1 a 10. La VAS è considerata uno strumento rapido e riproducibile in modo semplice, sensibile alle variazioni cliniche nel tempo, quindi molto utile nel follow-up. (64)

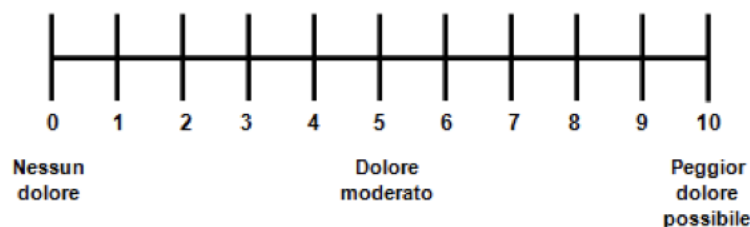


Figura 51 Esempio di scala VAS. Fonte: (64)

L'ODI è un questionario molto utilizzato per la valutazione della disabilità funzionale correlata alla lombalgia e alle patologie del rachide. È caratterizzato da dieci sezioni che coprono i diversi aspetti della vita quotidiana che determinano l'autonomia di una persona. Le sezioni riguardano dolore, cura personale, sollevamento di pesi, deambulazione, posizione seduta, stazione eretta, sonno, attività sociali e viaggi e per ognuna di esse viene attribuito un punteggio da 0 a 5, maggiore quanto maggiore è la disabilità. La somma dei punteggi delle varie sezioni viene convertita in una percentuale

di disabilità funzionale del soggetto. L'ODI è dunque uno strumento validato, riproducibile e molto impiegato nella valutazione clinica e nel follow-up dei pazienti.

(65)

LOW BACK PAIN AND DISABILITY INDEX (REVISED OSWESTRY)

Patient Name: _____ Date: ____/____/____

Please read instructions carefully.
This questionnaire has been designed to give the doctor information as to how your low back pain has affected your ability to manage everyday life. Please read all statements in each section and mark the box which most closely describes your problem.

SECTION 1 - PAIN INTENSITY

☐ The pain comes and goes and is very mild.
☐ The pain is mild and does not vary much.
☐ The pain comes and goes and is moderate.
☐ The pain is moderate and does not vary much.
☐ The pain comes and goes and is very severe.
☐ The pain is severe and does not vary much.

SECTION 2 - PERSONAL CARE

☐ I do not have to change my way of washing or dressing to avoid pain.
☐ I do not normally change my way of washing or dressing even though it causes some pain.
☐ Washing and dressing increases the pain but I manage not to change my way of doing it.
☐ Washing and dressing increases the pain and I find it necessary to change my way of doing it.
☐ Because of the pain, I am unable to do some washing and dressing without help.
☐ Because of the pain, I am unable to do any washing or dressing without help.

SECTION 3 - LIFTING

☐ I can lift heavy objects without any extra pain.
☐ I can lift heavy objects, but it gives extra pain.
☐ Pain prevents me from lifting heavy objects off the floor.
☐ Pain prevents me from lifting heavy objects off the floor but I can manage if they are conveniently positioned on a table.
☐ Pain prevents me from lifting heavy objects but I can manage light to medium objects.
☐ I can only lift very light objects at the most.

SECTION 4 - WALKING

☐ I have no pain on walking.
☐ I have some pain but it does not increase with distance.
☐ I cannot walk more than one mile without increasing pain.
☐ I cannot walk more than 1/2 mile without increasing pain.
☐ I cannot walk more than 1/4 mile without increasing pain.
☐ I cannot walk at all without increasing pain.

SECTION 5 - SITTING

☐ I can sit in any chair as long as I like.
☐ I can only sit in my favorite chair as long as I like.
☐ Pain prevents me from sitting more than one hour.
☐ Pain prevents me from sitting more than half an hour.
☐ Pain prevents me from sitting more than 10 minutes.
☐ I avoid sitting because it increases pain.

SECTION 6 - STANDING

☐ I can stand as long as I want without pain.
☐ I have some pain on standing but it does not increase with time.
☐ I cannot stand for longer than one hour without increasing pain.
☐ I cannot stand for longer than 1/2 hour without increasing pain.
☐ I cannot stand longer than 10 minutes without increasing pain.
☐ I avoid standing because it increases the pain.

SECTION 7 - SLEEPING

☐ I get no pain in bed.
☐ I get pain in bed but it does not prevent me from sleeping well.
☐ Pain reduces my normal sleep by 1/4 each night.
☐ Pain reduces my normal sleep by 1/2 each night.
☐ Pain reduces my normal sleep by 3/4 each night.
☐ Pain prevents me from sleeping at all.

SECTION 8 - SOCIAL LIFE

☐ My social life is normal and gives me no pain.
☐ My social life is normal but increases the degree of pain.
☐ My social life is unaffected by pain apart from limiting more energetic interests.
☐ Pain has restricted my social life and I do not go out very often.
☐ Pain has restricted my social life to my home.
☐ I have hardly any social life because of the pain.

SECTION 9 - DRIVING / RIDING IN CAR, ETC.

☐ I get no pain while traveling.
☐ I get some pain while traveling but none of my usual forms of travel make it any worse.
☐ I get extra pain while traveling but it does not compel me to seek alternate forms of travel.
☐ I get extra pain while traveling which compels me to seek alternate forms of travel.
☐ Pain restricts all forms of travel.
☐ Pain prevents all forms of travel except that done lying down.

SECTION 10 - CHANGING DEGREE OF PAIN

☐ My pain is rapidly getting better.
☐ My pain fluctuates but overall is definitely getting better.
☐ My pain seems to be getting better but improvement is slow at present.
☐ My pain is neither getting better or worse.
☐ My pain is gradually worsening.
☐ My pain is rapidly worsening.

Score	Interpretation
0-2%	Minimal Disability: Can cope with most daily activities
21-40%	Moderate Disability: Pain and difficulty with sitting, lifting and standing. The patient may be disabled from work
41-60%	Severe Disability: Pain is the main problem, but other areas are affected
61-80%	Crippled: Back pain impinges on all aspects of the patient's life
81-100%	These patients are either bed-bound or else exaggerating their symptoms

Figura 52 Items considerati e percentuali del punteggio ODI. Fonte: (66)

5.2 DATI DI INTERESSE CHIRURGICO

Le informazioni di interesse neurochirurgico ricercate nella documentazione clinica e radiologica sono:

- Sede della frattura (livello vertebrale interessato, distretto toracico o lombare);
- Numero di livelli stabilizzati;
- Tipo di materiale utilizzato per il sistema di artrodesi;
- Tecnica chirurgica adottata (stabilizzazione posteriore isolata vs stabilizzazione associata a decompressione del canale vertebrale mediante laminectomia o laminotomia).

5.3 ANALISI STATISTICA

L'analisi statistica è stata condotta con l'utilizzo del software R 4.6.0 (*R Core Team*, 2024), un linguaggio di programmazione open-source specifico per la statistica e la grafica computazionali. La soglia di significatività statistica è stata fissata a $\alpha = 0,05$ (test a due code) per tutti i confronti. Le variabili indagate e confrontate tra il gruppo osteoporotico (OTP) e il gruppo non osteoporotico (NON OTP) sono state:

- VAS e ODI trattate come variabili continue;
- Numero di livelli stabilizzati (≤ 3 vs > 3);
- Durata dell'utilizzo del busto (< 4 vs ≥ 4 settimane);
- Ricorso a farmaci analgesici nel post-operatorio (sì/no).

Le variabili continue (VAS e ODI) sono state preliminarmente valutate per la normalità della distribuzione mediante il *test di Shapiro-Wilk*, appropriato per campioni di dimensioni ridotte ($n < 50$).

Per il confronto delle variabili continue è stato applicato il *t-test* per campioni indipendenti con *correzione di Welch*, che non presuppone l'uguaglianza delle varianze tra i gruppi, risultando particolarmente indicato in presenza di campioni di dimensioni moderate e potenzialmente disomogenee.

Per il confronto delle variabili categoriali dicotomiche, ovvero numero di livelli stabilizzati (≤ 3 vs > 3), durata dell'utilizzo del busto (< 4 vs ≥ 4 settimane) e ricorso a farmaci analgesici nel post-operatorio (sì/no), è stato utilizzato il **test Chi-quadro di Pearson** con **correzione di continuità di Yates**, indicato per tavole di contingenza 2×2 in contesti con numerosità campionarie ridotte, allo scopo di ridurre il rischio di inflazione del valore χ^2 in presenza di frequenze attese inferiori a 10.

Per quantificare la rilevanza clinica delle differenze osservate nelle variabili continue, è stato calcolato il **Cohen's d** come misura dell'effect size, interpretato secondo la classificazione convenzionale: piccolo ($d < 0,5$), medio ($0,5 \leq d < 0,8$) e grande ($d \geq 0,8$).

6 RISULTATI

6.1 CARATTERISTICHE DELLA POPOLAZIONE

Applicando i suddetti criteri sono stati inclusi 40 pazienti affetti da frattura vertebrale toraco-lombare post-traumatica sottoposti a stabilizzazione vertebrale chirurgica, di cui 19 (47,5%) affetti da osteoporosi (gruppo **OTP**) e 21 (52,5%) non affetti da osteoporosi (gruppo **NON OTP**). Tutti avevano un'età superiore a 60 anni, e sono sottoposti ad intervento chirurgico di artrodesi ad accesso posteriore mediante viti trans-peduncolari e barre para-vertebrali e con follow-up clinico disponibile di almeno 1 anno. Nel gruppo OTP l'età media risulta essere 79.4 anni, nel gruppo NON OTP l'età media è di 74.8 anni. Inoltre, nel gruppo OTP la distribuzione per sesso era di 2 pazienti maschi (10,5%) e 17 femmine (89,5%), nel gruppo NON OTP 13 pazienti di sesso maschile (61,9%) e 8 di sesso femminile (38,1%).

GRUPPO	ETÀ MEDIA	M	F
OTP	79.4	2	17
NON OTP	74.8	13	8

Tabella 1 Confronto caratteristiche pazienti dei due gruppi analizzati.

I pazienti selezionati hanno tutti subito l'intervento chirurgico necessario alla stabilizzazione della loro condizione clinica in seguito a frattura vertebrale come esito di trauma, caratteristica necessaria per l'inclusione. Non sono infatti compresi i pazienti sottoposti alla stessa procedura, ma che hanno riportato frattura vertebrale non traumatica come esito di una patologia vertebrale primitiva o secondaria, quale metastasi ossea o osteoporosi stessa. Non sono allo stesso modo compresi quei pazienti che, pur avendo subito una frattura e soffrendo di osteoporosi, sono stati trattati diversamente o conservativamente.

6.2 OUTCOME CLINICI

6.2.1 ANALISI SCORE VAS

L'analisi del dolore residuo, valutato mediante scala VAS (*Visual Analog Scale*), ha messo in evidenza una differenza marcata tra i due gruppi in studio. Nel gruppo dei pazienti osteoporotici (OTP) il punteggio medio è risultato pari a 6.89 ± 1.20 , mentre nel gruppo dei pazienti non osteoporotici (NON OTP) il valore medio si è attestato a 3.57 ± 1.78 .

Applicando un t-test per campioni indipendenti con correzione di Welch, scelto in considerazione della disomogeneità delle varianze tra i due gruppi e della differente numerosità campionaria, è stata confermata una differenza altamente significativa ($t = 6.99$; $df = 35.24$; $p < 0.001$). L'effect size, calcolato secondo l'indice di Cohen, ha raggiunto un valore $d = 2.17$, ampiamente al di sopra della soglia convenzionale di 0.8 che identifica un effetto di grande entità.

Gruppo	n° pazienti	VAS media $\pm$ DS	T value	df	p value
NON OTP	21	3.57 ± 1.78	6.99	35.24	<0.001
OTP	19	6.89 ± 1.20			

Tabella 2 Confronti dei valori VAS tra i gruppi.

6.2.2 ANALISI SCORE ODI

La valutazione della disabilità funzionale, condotta tramite l'*Oswestry Disability Index* (ODI), ha confermato il trend osservato per il dolore residuo, mettendo in luce una marcata divergenza tra le due popolazioni in studio. Nel gruppo dei pazienti osteoporotici (OTP) il punteggio medio è risultato pari a 27.6 ± 7.83 , collocandosi nella fascia di disabilità moderata, mentre nel gruppo dei pazienti non osteoporotici (NON OTP) il valore medio si è attestato a 6.38 ± 4.75 , espressione di una disabilità minima e di un sostanziale recupero funzionale.

Applicando un t-test per campioni indipendenti con correzione di Welch, scelto in considerazione della disomogeneità delle varianze e della differente numerosità

campionaria tra i gruppi, è emersa una differenza altamente significativa ($t = 10.22$; $df = 29.07$; $p < 0.001$). L'effect size, calcolato secondo l'indice d di Cohen, ha raggiunto un valore $d = 3.31$, ampiamente al di sopra della soglia di 0.8 che identifica un effetto di grande entità.

Gruppo	n° pazienti	ODI media $\pm$ DS	T value	df	p value
NON OTP	21	6.38 $\pm$ 4.75	10.22	29.07	<0.001
OTP	19	27.6 $\pm$ 7.83			

Tabella 3 Confronto dei valori ODI tra i gruppi.

6.3 VARIABILI CLINICHE E CHIRURGICHE CATEGORIALI

Le variabili categoriali sono state confrontate tra gruppi OTP e NON OTP mediante test del Chi-quadrato di Pearson con correzione di Yates.

6.3.1 NUMERO LIVELLI STABILIZZATI

L'analisi del numero di livelli vertebrali stabilizzati è stata condotta dicotomizzando i pazienti in due categorie, in base all'estensione del costrutto: interventi a estensione limitata (≤ 3 livelli) e interventi a estensione più ampia (> 3 livelli). Nel gruppo NON OTP la distribuzione è risultata pressoché paritaria, con 10 pazienti sottoposti a stabilizzazione di ≤ 3 livelli e 11 pazienti con costrutto esteso a > 3 livelli; analogamente, nel gruppo OTP sono stati osservati 10 pazienti nella prima categoria e 9 nella seconda.

Il confronto tra le due distribuzioni è stato effettuato mediante test del Chi-quadrato di Pearson con correzione di Yates e non ha evidenziato alcuna differenza significativa tra i gruppi ($\chi^2 = 0.00$; $p = 1.00$).

Gruppo	≤ 3 livelli (0)	> 3 livelli (1)	χ^2	p value
NON OTP	10	11	0.00	1.00
OTP	10	9		

Tabella 4 Confronto del numero di livelli stabilizzati tra i gruppi.

6.3.2 DURATA DELL'UTILIZZO DEL BUSTO

L'analisi della durata dell'immobilizzazione mediante busto ortopedico ha messo in evidenza una differenza marcata tra i due gruppi. Nel gruppo OTP, 17 pazienti su 19 (89.5%) hanno avuto necessità di indossare l'ortesi per un periodo ≥ 4 settimane, contro 11 pazienti su 21 (52.4%) nel gruppo NON OTP. Soltanto 2 pazienti osteoporotici hanno potuto sospendere l'immobilizzazione entro le 4 settimane, a fronte di 10 pazienti non osteoporotici.

Il confronto tra le due distribuzioni è stato effettuato mediante test del chi-quadrato di Pearson con correzione di Yates ed ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i gruppi ($\chi^2 = 4.89$; $p = 0.027$), confermando come la prolungata necessità di immobilizzazione esterna sia un evento significativamente più frequente nel paziente osteoporotico.

Gruppo	< 4 settimane (0)	≥ 4 settimane (1)	χ^2	p value
NON OTP	10	11	4.89	0.027
OTP	2	17		

Tabella 5 Confronto del tempo di utilizzo del busto tra i gruppi.

6.3.3 UTILIZZO DI FARMACI ANALGESICI

L'analisi dell'assunzione di terapia analgesica al follow-up post-operatorio ha messo in evidenza una netta divergenza tra i due gruppi. Nel gruppo OTP, 11 pazienti su 19 (57.9%) hanno riferito la necessità di assumere regolarmente farmaci analgesici, contro 3 pazienti su 21 (14.3%) nel gruppo NON OTP. Specularmente, 18 pazienti su 21 non osteoporotici avevano sospeso la terapia antalgica al momento della rivalutazione, a fronte di soli 8 pazienti osteoporotici.

Il confronto tra le due distribuzioni è stato effettuato mediante test del chi-quadrato di Pearson con correzione di Yates ed ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i gruppi ($\chi^2 = 6.53$; $p = 0.0106$), a conferma di un consumo cronico di analgesici significativamente più elevato nel paziente osteoporotico

Gruppo	No (0)	Sì (1)	χ^2	p value
NON OTP	18	3	6.53	0.0106
OTP	8	11		

***Tabella 6** Confronto dell'utilizzo di farmaci analgesici tra i gruppi.*

7 DISCUSSIONE

Il presente studio propone di valutare l'outcome clinico nei pazienti sottoposti a trattamento chirurgico di artrodesi ad accesso posteriore mediante viti trans-peduncolari e barre para-vertebrali in seguito a frattura vertebrale toraco-lombare post-traumatica, confrontando risultati di pazienti con osteoporosi e senza osteoporosi.

Dal punto di vista della tecnica chirurgica, dell'approccio e dei materiali utilizzati (viti e barre in titanio) i due gruppi sono omogenei. Infatti, i livelli vertebrali stabilizzati sono sovrapponibili tra i due gruppi, in quanto scelti sulla base del livello di frattura (giunzionale o extra-giunzionale) e non sono riportate differenze relativamente a dimensioni della strumentazione utilizzata e necessità di ricorrere ad ulteriori tecniche di stabilizzazione dei mezzi di sintesi, come ad esempio inserire delle guaine per la tenuta delle viti trans-peduncolari. Questo approccio deriva dall'esperienza maturata dalla Clinica di Neurochirurgia di Torrette, che adotta una tecnica standardizzata per tutti i pazienti, riscontrando comunque una stabilizzazione ottimale anche nei pazienti osteoporotici, seppur con tempi di recupero post-operatorio dilatati rispetto ai pazienti non osteoporotici, come dimostrato in questo studio. Per valutare se sia preferibile estendere il numero di livelli stabilizzati nel paziente osteoporotico, sarebbe opportuno condurre uno studio che stratifichi i pazienti in base all'estensione del costruito, valutando quale sottogruppo presenti gli outcome più favorevoli.

Tuttavia, da un punto di vista clinico, analizzando i due gruppi in termini di dolore residuo, disabilità funzionale e necessità di trattamento post-operatorio, è emerso che il gruppo di pazienti OTP abbia valori significativamente più elevati sia sulla scala VAS sia nell'indice ODI. Ciò suggerisce un peggior outcome clinico e funzionale della popolazione osteoporotica sottoposta a questo tipo di intervento rispetto alla popolazione non osteoporotica. Inoltre, i pazienti OTP hanno mostrato la necessità di utilizzare più a lungo il busto ortopedico e di ricorrere più spesso a soluzioni farmacologiche prolungate per il trattamento del dolore residuo, manifestando come il recupero post-operatorio sia più complesso e lento.

Per quanto riguarda l'analisi del dolore percepito secondo la scala VAS, i pazienti OTP hanno mostrato valori significativamente più elevati, suggerendo che la patologia

osteoporotica, e quindi la diminuita qualità dell'osso possa influenzare in maniera negativa il recupero post-operatorio e contribuire alla persistenza della sintomatologia dolorosa. Infatti, la ridotta capacità di resistenza ai carichi assiali e la minore capacità di consolidare ed osteo-integrare i mezzi di sintesi tipica di un osso osteoporotico, influiscono negativamente sulla biomeccanica e sulla stabilità delle vertebre. Vi possono essere residue micro-instabilità e una diminuzione della resistenza allo stress da carico a livello dei segmenti stabilizzati, fattori che contribuiscono alla persistenza del dolore. I risultati ottenuti sono in linea i dati presenti in letteratura. Infatti, Filley et al. hanno evidenziato, in una revisione sistematica, che l'osteoporosi viene associata a peggiori outcome clinici, visto il maggior rischio di mobilizzazione della strumentazione e fallimento meccanico dei mezzi di sintesi in seguito ad artrodesi. (67) Analogamente, Cho et al. hanno descritto come gli outcome clinici e funzionali fossero peggiori nei pazienti osteoporotici sottoposti a fusione intersomatica lombare posteriore (PLIF) rispetto a quelli non osteoporotici, evidenziando una differenza di VAS prossima alla significatività nei due gruppi (3.3 vs. 2.2, $p = 0.062$) soprattutto entro un 6 mesi dall'intervento chirurgico, attribuita ad una minore stabilità e ritardo di osteointegrazione dei mezzi di sintesi nei pazienti osteoporotici, rispetto a quelli non osteoporotici. (68)

L'analisi dell'indice ODI rispecchia come i pazienti OTP abbiano più difficoltà a riprendere le attività di vita quotidiana con la stessa efficacia del periodo preoperatorio. Oltre al dolore quindi, la patologia ha un impatto globale sull'autonomia e sulla funzionalità della persona. I valori ODI maggiori riscontrati nel gruppo di pazienti OTP sono da ricondurre ad una limitazione delle attività quotidiane per via del dolore residuo e biomeccanicamente per via di eventuali deformità residue che alterano la colonna vertebrale. Anche questi dati sono in linea con la letteratura scientifica. Nell'analisi retrospettiva di Wang et al., su 6 casi di pazienti osteoporotici trattati per frattura vertebrale toraco-lombare mediante decompressione anteriore e fissazione posteriore unilaterale, emergono valori di ODI post-operatorio, nel gruppo di pazienti osteoporotici, sostanzialmente confrontabili a quelli riscontrati in questo studio (25.93 ± 2.69 a 3 mesi e 21.85 ± 3.27 a 12 mesi). (69) Secondo la metanalisi di Qin et al. sull'utilizzo delle viti cementate per migliorare la tenuta delle stesse nei pazienti osteoporotici, emerge come la maggiore stabilità data da questo espediente tecnico

influisca positivamente su questo score, e pertanto risulti in una minore disabilità funzionale nel post-operatorio rispetto ai pazienti trattati con strumentazione convenzionale. (70)

Dall'analisi dettagliata dei punteggi ottenuti nei dieci item dell'*Oswestry Disability Index* (ODI), emerge con chiarezza che le limitazioni funzionali più significative riscontrate dai pazienti riguardano le attività che impongono uno stress meccanico e uno sforzo fisico di entità moderata o intensa. Nello specifico, le maggiori difficoltà si palesano nella capacità di camminare per distanze prolungate senza la necessità di soste frequenti e nell'atto di sollevare e movimentare pesi. Tali compromissioni non restano circoscritte alla sola sfera fisica, ma si ripercuotono sulla percezione soggettiva di sicurezza e sul grado di autonomia e indipendenza del paziente. Questa ridotta fiducia nelle proprie capacità motorie si riflette negativamente anche su altre dimensioni essenziali della qualità della vita, quali la partecipazione ad attività sociali, la capacità di viaggiare e, più in generale, la conduzione di una vita di relazione soddisfacente.

Inoltre, l'analisi relativa alla necessità di ricorrere a trattamenti analgesici continuativi prolungati e all'utilizzo del busto ortopedico per una durata sensibilmente maggiore (> 4 settimane) nel corso della fase post-operatoria fornisce un ulteriore e robusto supporto alla tesi secondo cui i pazienti affetti da osteoporosi (OTP) vadano incontro a un outcome clinico complessivamente peggiore. L'esigenza di protrarre tali presidi terapeutici oltre i tempi standard deriva principalmente dalla persistenza di un dolore residuo più marcato e dalla necessità biomeccanica di garantire un supporto meccanico supplementare in contesti caratterizzati da elevata fragilità ossea. Tali misure si rendono utili a favorire il delicato processo di consolidamento osseo e per mitigare il rischio di complicanze, confermando come il percorso di recupero per il paziente osteoporotico sia intrinsecamente più tortuoso e richieda un monitoraggio clinico particolarmente attento e prolungato. In letteratura, l'utilizzo delle ortesi spinali nei pazienti osteoporotici affetti da fratture vertebrali è ampiamente descritto, sebbene le evidenze definitive circa la loro efficacia rimanga controversa, come sottolineato da Pieroh et al. (71) Autori come Jacobs et al., suggeriscono che il busto possa migliorare la postura, l'allineamento sagittale e la percezione di stabilità del rachide, riducendo il carico meccanico sulle vertebre coinvolte derivante da una postura scorretta e da escursioni

eccessive nei movimenti del busto. (72) Tuttavia, Skoch et al. in una revisione sistematica sull'uso del busto dopo stabilizzazione chirurgica di fratture toraco-lombari, non ha riscontrato differenze significative in termini di dolore residuo e recupero funzionale tra pazienti trattati con o senza ortesi, concludendo che l'uso prolungato (mediamente circa tre mesi) riflette più le abitudini di pratica clinica, sicurezza ed analgesia del paziente che evidenze consolidate. (73)

Il bisogno di dover ricorrere a farmaci analgesici viene confermato nel lavoro di Gregson et al., che evidenziano come nei pazienti osteoporotici sia molto frequente la necessità di una terapia analgesica fin dal primo periodo post-operatorio con un utilizzo spesso a lungo termine. (74) Tale necessità deriva dalla fragilità strutturale intrinseca dell'osso osteoporotico, che può determinare una persistenza della sintomatologia dolorosa legata a fenomeni di micro-instabilità dei mezzi di sintesi o a un rallentato processo di osteointegrazione. La gestione del dolore in questi soggetti richiede pertanto un approccio terapeutico personalizzato e prolungato, volto non solo al controllo della fase acuta post-traumatica, ma anche al supporto del recupero funzionale nel lungo periodo, riducendo l'impatto della disabilità nelle attività della vita quotidiana.

I limiti del seguente studio devono essere considerati nell'interpretazione finale dei risultati ottenuti. La natura retrospettiva e monocentrica dello studio in primis, limita la generalizzabilità dei dati, in quanto derivano dall'esperienza di un unico centro e possono essere influenzati dalle specifiche strategie clinico-chirurgiche adottate e dai criteri di selezione dei pazienti.

Un ulteriore limite è rappresentato dalla ridotta numerosità del campione, costituito da 40 pazienti complessivi: questo aspetto potrebbe aver influenzato la potenza statistica e la possibilità di estendere i dati alla popolazione generale, riducendo la capacità di identificare eventuali differenze tra i gruppi studiati.

Lo studio si è inoltre concentrato prevalentemente su variabili cliniche e funzionali, non considerando valutazioni radiologiche standardizzate del follow-up, come la perdita di correzione sagittale, stabilità dei mezzi di sintesi impiantati o alterazione dell'allineamento vertebrale, non consentendo una correlazione diretta tra dati clinici ed eventuali modificazioni strutturali post-operatorie.

Ulteriori fattori non analizzati come il grado di severità della malattia, comorbidità

associate e aderenza al trattamento dei pazienti nel periodo post-operatorio potrebbero aver influito sugli outcome considerati. La mancanza di questi dati potrebbe aver introdotto un bias di confondimento, influenzando i risultati osservati e limitando l'attribuzione delle differenze emerse esclusivamente all'osteoporosi.

Infine, occorre considerare l'assenza di un follow-up clinico rigorosamente omogeneo per tutti i pazienti inclusi nello studio: la differente durata del periodo di osservazione tra i soggetti, ad esempio, potrebbe aver influenzato in modo determinante la valutazione finale. Tale eterogeneità temporale rischia di aver introdotto un ulteriore bias sistematico nella misurazione dell'intensità del dolore residuo percepito, nella stima del recupero funzionale complessivo e nella valutazione della necessità di ricorrere a trattamenti analgesici o ortesici nel periodo post-operatorio. Una durata del follow-up non standardizzata potrebbe infatti non aver colto appieno l'evoluzione a lungo termine della stabilità dei mezzi di sintesi, specialmente nel paziente osteoporotico, dove i tempi di integrazione ossea sono notoriamente più dilatati. Nello studio di Wang et al. infatti, vengono presi in considerazione due differenti periodi di follow-up, a 3 e 12 mesi, permettendo un controllo nel miglioramento o meno della situazione clinica nello stesso paziente. (69)

Nonostante tali limitazioni, lo studio è clinicamente e statisticamente significativo riguardo al confronto tra i due gruppi di pazienti osteoporotici e non osteoporotici, con risultati ottenuti allineati alla letteratura internazionale, confermando la necessità di tener conto della presenza di questa patologia all'interno del percorso terapeutico del paziente.

8 CONCLUSIONI

I risultati di questo studio retrospettivo evidenziano che l'osteoporosi rappresenta un importante fattore prognostico nei pazienti sottoposti a trattamento chirurgico per fratture vertebrali toraco-lombari traumatiche. I valori della scala VAS e dello score ODI considerati in questo studio sono significativamente più elevati in questo gruppo di pazienti, indicando un maggior dolore residuo e una funzionalità maggiormente compromessa. Come effetto di questa maggiore disabilità residua si è reso pertanto necessario prolungare il trattamento farmacologico analgesico e con busto ortopedico nel post-operatorio. Dunque, emerge che il decorso post-operatorio in questa popolazione sia più lento e complesso. Non sono emerse differenze significative nel numero di livelli stabilizzati tra i due gruppi, dimostrando quanto nel paziente osteoporotico non sia necessario a priori estendere la lunghezza del sistema di artrodesi a causa di una minore tenuta dei mezzi di sintesi, fondando pertanto la scelta sulla base della sede e del tipo di frattura ossea.

Nel complesso, i risultati ottenuti confermano l'importanza di una valutazione accurata della presenza di osteoporosi nei pazienti affetti da fratture toraco-lombari traumatiche e sottolineano la necessità di un approccio terapeutico personalizzato in questi soggetti per la ridotta qualità ossea, al fine di ottimizzare gli outcome clinici e funzionali. Infine, per una maggiore solidità e generalizzabilità dei dati sono necessari studi prospettici e multicentrici, in grado di ridurre i bias di selezione del paziente e i bias legati all'esperienza di un singolo centro, che non sempre consente di attribuire all'osteoporosi il giusto peso negli outcome funzionali e clinici, pur a fronte dell'eterogeneità delle esperienze chirurgiche dei diversi centri.

BIBLIOGRAFIA

1. Katsuura Y, Osborn JM, Cason GW. The epidemiology of thoracolumbar trauma: A meta-analysis. *J Orthop.* dicembre 2016;13(4):383–8.
doi:10.1016/j.jor.2016.06.019
2. AO Spine Classification Systems—the complete guides.
<https://www.aofoundation.org/spine/clinical-library-and-tools/aospine-classification-systems>
3. Dvorak MF, Öner CF, Dandurand C, Schnake KJ, Bransford RJ, Popescu EC, et al. Surgical versus Non-Surgical Treatment of Thoracolumbar Burst Fractures in Neurologically Intact Patients: A Prospective International Multicentre Cohort Study. *Glob Spine J.* 1 gennaio 2026;16(1):628–38. doi:10.1177/21925682251356910
4. Zileli M, Sharif S, Fornari M. Incidence and Epidemiology of Thoracolumbar Spine Fractures: WFNS Spine Committee Recommendations. *Neurospine.* 31 dicembre 2021;18(4):704–12. doi:10.14245/ns.2142418.209
5. Charron B, Ross M, Thornley P. Patient-Reported Outcomes Measures in Spine Surgery. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 17 maggio 2025;18(11):491–503.
doi:10.1007/s12178-025-09981-8 PubMed PMID: 40381171; PubMed Central PMCID: PMC12361016.
6. Morroni M. Anatomia funzionale e imaging. Sistema locomotore. Milano: Edizioni Ermes s.r.l.; 2017.
7. Gigante A. Ortopedia, Traumatologia & medicina Fisica e Riabilitazione. Roma: Delfino Editore; 2022.
8. Aebi M, Arlet V, Webb JK. AOSPINE MANUAL PRINCIPLES AND TECHNIQUES (VOL 1). Vol. 1. 1.
9. Spine Anatomy, Anatomy of the Human Spine. <https://mayfieldclinic.com/pe-anatospine.htm>

10. Palipana D. Radiopaedia- Typical thoracic vertebrae | Radiology Reference Article | Radiopaedia.org. <https://radiopaedia.org/articles/typical-thoracic-vertebrae> doi:10.53347/rID-43226
11. Wong A. Radiopaedia. Lumbar spine | Radiology Reference Article | Radiopaedia.org. <https://radiopaedia.org/articles/lumbar-spine> doi:10.53347/rID-33183
12. McCarthy J, Davis A. Diagnosis and Management of Vertebral Compression Fractures.
13. Le fratture vertebrali | Radiologia Ortopedica. <https://www.radiologiaortopedica.it/node/69>
14. Zhang A, Chauvin BJ. Denis Classification. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544310/> PubMed PMID: 31335030.
15. Aebi M. Classification of thoracolumbar fractures and dislocations. Eur Spine J. marzo 2010;19(Suppl 1):2–7. doi:10.1007/s00586-009-1114-6 PubMed PMID: 19851793; PubMed Central PMCID: PMC2899723.
16. van der Roer N, de Lange ESM, Bakker FC, Vet HCW de, van Tulder MW. Management of traumatic thoracolumbar fractures: a systematic review of the literature. Eur Spine J. agosto 2005;14(6):527–34. doi:10.1007/s00586-004-0847-5 PubMed PMID: 15690209; PubMed Central PMCID: PMC3489239.
17. Reinhold M, Audigé L, Schnake KJ, Bellabarba C, Dai LY, Oner FC. AO spine injury classification system: a revision proposal for the thoracic and lumbar spine. Eur Spine J. ottobre 2013;22(10):2184–201. doi:10.1007/s00586-013-2738-0 PubMed PMID: 23508335; PubMed Central PMCID: PMC3804719.
18. Aebi M. AO spine classification system for thoracolumbar fractures. Eur Spine J. ottobre 2013;22(10):2147–8. doi:10.1007/s00586-013-3062-4 PubMed PMID: 24113998; PubMed Central PMCID: PMC3804686.

19. Grigoryan M, Guermazi A, Roemer FW, Delmas PD, Genant HK. Recognizing and reporting osteoporotic vertebral fractures. *Eur Spine J.* ottobre 2003;12(Suppl 2):S104–12. doi:10.1007/s00586-003-0613-0 PubMed PMID: 13680316; PubMed Central PMCID: PMC3591834.

20. Jiménez-Almonte JH, King JD, Luo TD, Cassidy RC, Aneja A. Classifications in Brief: Thoracolumbar Injury Classification and Injury Severity Score System. *Clin Orthop.* giugno 2018;476(6):1352–8. doi:10.1007/s11999-00000000000000088 PubMed PMID: 29419629; PubMed Central PMCID: PMC6263590.

21. Lee JY, Vaccaro AR, Lim MR, Oner FC, Hulbert RJ, Hedlund R, et al. Thoracolumbar injury classification and severity score: a new paradigm for the treatment of thoracolumbar spine trauma. *J Orthop Sci Off J Jpn Orthop Assoc.* novembre 2005;10(6):671–5. doi:10.1007/s00776-005-0956-y PubMed PMID: 16307197; PubMed Central PMCID: PMC2779435.

22. Joaquim AF, de Almeida Bastos DC, Jorge Torres HH, Patel AA. Thoracolumbar Injury Classification and Injury Severity Score System: A Literature Review of Its Safety. *Glob Spine J.* febbraio 2016;6(1):80–5. doi:10.1055/s-0035-1554775 PubMed PMID: 26835205; PubMed Central PMCID: PMC4733384.

23. Lems WF, Paccou J, Zhang J, Fuggle NR, Chandran M, Harvey NC, et al. Vertebral fracture: epidemiology, impact and use of DXA vertebral fracture assessment in fracture liaison services. *Osteoporos Int.* 2021;32(3):399–411. doi:10.1007/s00198-020-05804-3 PubMed PMID: 33475820; PubMed Central PMCID: PMC7929949.

24. Rajasekaran S, Kanna RM, Shetty AP. Management of thoracolumbar spine trauma: An overview. *Indian J Orthop.* 2015;49(1):72–82. doi:10.4103/0019-5413.143914 PubMed PMID: 25593358; PubMed Central PMCID: PMC4292328.

25. Schubert R. Radiopaedia. Osteoporotic vertebral fractures - recent and old | Radiology Case | Radiopaedia.org. <https://radiopaedia.org/cases/osteoporotic-vertebral-fractures-recent-and-old> doi:10.53347/rID-18198

26. Vilà-Canet G, García de Frutos A, Covaro A, Ubierna MT, Caceres E. Thoracolumbar fractures without neurological impairment. *EFORT Open Rev.* 22 settembre 2016;1(9):332–8. doi:10.1302/2058-5241.1.000029 PubMed PMID: 28507775; PubMed Central PMCID: PMC5414848.
27. springermr. Il ventaglio degli accertamenti con Imaging per le fratture vertebrali. *MR – Giornale Italiano di Medicina Riabilitativa.* 14 febbraio 2022. <https://springerhealthplus.it/mr/archivio/il-ventaglio-degli-accertamenti-con-imaging-per-le-fratture-vertebrali/>
28. Davy SW, Bergin D. Opportunistic diagnosis of osteoporotic vertebral fractures on standard imaging performed for alternative indications. *BJR Open.* 17 dicembre 2021;3(1):20210053. doi:10.1259/bjro.20210053 PubMed PMID: 35707752; PubMed Central PMCID: PMC9185849.
29. Viola R, Aslan S, Al-Smadi MW, Süvegh D, Viola Á. From Detection to Decision: How STIR Sequence MRI Influences Treatment Strategies for Osteoporotic Vertebral Fractures. *J Clin Med.* 6 giugno 2024;13(11):3347. doi:10.3390/jcm13113347 PubMed PMID: 38893058; PubMed Central PMCID: PMC11172803.
30. Joaquim AF, Patel AA. Thoracolumbar spine trauma: Evaluation and surgical decision-making. *J Craniovertebral Junction Spine.* 2013;4(1):3–9. doi:10.4103/0974-8237.121616 PubMed PMID: 24381449; PubMed Central PMCID: PMC3872658.
31. Wood K, Buttermann G, Mehbod A, Garvey T, Jhanjee R, Sechriest V. Operative compared with nonoperative treatment of a thoracolumbar burst fracture without neurological deficit. A prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am.* maggio 2003;85(5):773–81. doi:10.2106/00004623-200305000-00001 PubMed PMID: 12728024.
32. Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, Dvorak M, Schnake K, Bellabarba C, et al. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine.* 1 novembre 2013;38(23):2028–37. doi:10.1097/BRS.0b013e3182a8a381 PubMed PMID: 23970107.

33. Schnake KJ, Schroeder GD, Vaccaro AR, Oner C. AOSpine Classification Systems (Subaxial, Thoracolumbar). *J Orthop Trauma*. settembre 2017;31:S14. doi:10.1097/BOT.0000000000000947
34. Rossini M, Adami S, Bertoldo F, Diacinti D, Gatti D, Giannini S, et al. Guidelines for the diagnosis, prevention and management of osteoporosis. *Reumatismo*. 23 giugno 2016;68(1):1–39. doi:10.4081/reumatismo.2016.870
35. Tu KN, Lie JD, Wan CKV, Cameron M, Austel AG, Nguyen JK, et al. Osteoporosis: A Review of Treatment Options. *Pharm Ther*. febbraio 2018;43(2):92–104. PubMed PMID: 29386866; PubMed Central PMCID: PMC5768298.
36. Rosen CJ. The Epidemiology and Pathogenesis of Osteoporosis. In: Feingold KR, Adler RA, Ahmed SF, Anawalt B, Blackman MR, Chrousos G, et al., curatori. *Endotext*. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2000. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279134/> PubMed PMID: 25905357.
37. Föger-Samwald U, Dovjak P, Azizi-Semrad U, Kerschman-Schindl K, Pietschmann P. Osteoporosis: Pathophysiology and therapeutic options. *EXCLI J*. 20 luglio 2020;19:1017–37. doi:10.17179/excli2020-2591 PubMed PMID: 32788914; PubMed Central PMCID: PMC7415937.
38. US Preventive Services Task Force, Nicholson WK, Silverstein M, Wong JB, Chelmow D, Coker TR, et al. Screening for Osteoporosis to Prevent Fractures: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement. *JAMA*. 11 febbraio 2025;333(6):498–508. doi:10.1001/jama.2024.27154 PubMed PMID: 39808425.
39. Adami S, Bertoldo F, Brandi ML, Cepollaro C, Filippini P, Fiore E, et al. [Guidelines for the diagnosis, prevention and treatment of osteoporosis]. *Reumatismo*. 2009;61(4):260–84. doi:10.4081/reumatismo.2009.260 PubMed PMID: 20143003.
40. Siris ES, Adler R, Bilezikian J, Bolognese M, Dawson-Hughes B, Favus MJ, et al. The clinical diagnosis of osteoporosis: a position statement from the National Bone Health Alliance Working Group. *Osteoporos Int*. 2014;25(5):1439–43.

doi:10.1007/s00198-014-2655-z PubMed PMID: 24577348; PubMed Central PMCID: PMC3988515.

41. Kanis JA, Cooper C, Rizzoli R, Reginster JY. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporos Int*. 2019;30(1):3–44. doi:10.1007/s00198-018-4704-5 PubMed PMID: 30324412; PubMed Central PMCID: PMC7026233.

42. Gaillard F. Radiopaedia. Vertebral body fracture - dual energy CT | Radiology Case | Radiopaedia.org. <https://radiopaedia.org/cases/vertebral-body-fracture-dual-energy-ct> doi:10.53347/rID-164696

43. Knipe H. Radiopaedia. Osteoporosis (DEXA) | Radiology Case | Radiopaedia.org. Disponibile su: <https://radiopaedia.org/cases/osteoporosis-dexa> doi:10.53347/rID-45996

44. Osterhoff G, Schenk P, Katscher S, Schnake KJ, Bäumlein M, Zimmermann V, et al. Treatment and Outcome of Osteoporotic Thoracolumbar Vertebral Fractures With Anterior or Posterior Tension Band Failure (OF 5): Short-Term Results From the Prospective EOFTT Multicenter Study. *Glob Spine J*. aprile 2023;13(1 Suppl):44S-51S. doi:10.1177/21925682221127956 PubMed PMID: 37084351; PubMed Central PMCID: PMC10177311.

45. Watts NB. Osteoporotic vertebral fractures.

46. Löffler MT, Kallweit M, Niederreiter E, Baum T, Makowski MR, Zimmer C, et al. Epidemiology and reporting of osteoporotic vertebral fractures in patients with long-term hospital records based on routine clinical CT imaging. *Osteoporos Int J Establ Result Coop Eur Found Osteoporos Natl Osteoporos Found USA*. marzo 2022;33(3):685–94. doi:10.1007/s00198-021-06169-x PubMed PMID: 34648040; PubMed Central PMCID: PMC8844161.

47. Spiegl UJ, Jarvers JS, Osterhoff G, Kobbe P, Hölbing PL, Schnake KJ, et al. Effect of subsequent vertebral body fractures on the outcome after posterior stabilization of unstable geriatric fractures of the thoracolumbar spine. *BMC*

Musculoskelet Disord. 5 dicembre 2022;23:1064. doi:10.1186/s12891-022-06031-z
PubMed PMID: 36471332; PubMed Central PMCID: PMC9721076.

48. Shea TM, Laun J, Gonzalez-Blohm SA, Doulgeris JJ, Lee WE, Aghayev K, et al. Designs and Techniques That Improve the Pullout Strength of Pedicle Screws in Osteoporotic Vertebrae: Current Status. *BioMed Res Int.* 2014;2014:748393. doi:10.1155/2014/748393 PubMed PMID: 24724097; PubMed Central PMCID: PMC3958762.

49. Kweh BTS, Tee JW, Dandurand C, Vaccaro AR, Lorin BM, Schnake K, et al. The AO Spine Thoracolumbar Injury Classification System and Treatment Algorithm in Decision Making for Thoracolumbar Burst Fractures Without Neurologic Deficit. *Glob Spine J.* febbraio 2024;14(1 Suppl):32S-40S. doi:10.1177/21925682231195764 PubMed PMID: 38324601; PubMed Central PMCID: PMC10867534.

50. spine, Trauma, Thoracic and lumbar trauma, Basic technique.
<https://surgeryreference.aofoundation.org/spine/trauma/thoracolumbar/basic-technique/posterior-decompression-techniques>

51. Boswell S, Sather M, Kebriaei M, Lydiatt K, Bowdino B, Tomes D, et al. Combined open decompressive laminectomy and vertebroplasty for treatment of thoracolumbar fractures retrospective review of 41 cases. *Clin Neurol Neurosurg.* 1 settembre 2012;114(7):902–6. doi:10.1016/j.clineuro.2012.01.043

52. Guo D, Yu M, Zhang S, Tang Y, Tian Y, Li D, et al. Novel Surgical Strategy for Treating Osteoporotic Vertebral Fractures with Cord Compression. *Orthop Surg.* 21 novembre 2019;11(6):1082–92. doi:10.1111/os.12558 PubMed PMID: 31750626; PubMed Central PMCID: PMC6904606.

53. Lin CL, Chou PH, Fang JJ, Huang KY, Lin RM. Short-segment decompression and fixation for thoracolumbar osteoporotic fractures with neurological deficits. *J Int Med Res.* agosto 2018;46(8):3104–13. doi:10.1177/0300060518772422 PubMed PMID: 29882444; PubMed Central PMCID: PMC6134660.

54. Chandra RV, Maingard J, Asadi H, Slater LA, Mazwi TL, Marcia S, et al. Vertebroplasty and Kyphoplasty for Osteoporotic Vertebral Fractures: What Are the Latest Data? *AJNR Am J Neuroradiol.* maggio 2018;39(5):798–806.
doi:10.3174/ajnr.A5458 PubMed PMID: 29170272; PubMed Central PMCID: PMC7410658.
55. Sudo H, Ito M, Kaneda K, Abumi K, Kotani Y, Nagahama K, et al. Anterior decompression and strut graft versus posterior decompression and pedicle screw fixation with vertebroplasty for osteoporotic thoracolumbar vertebral collapse with neurologic deficits. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* dicembre 2013;13(12):1726–32.
doi:10.1016/j.spinee.2013.05.041 PubMed PMID: 23850130.
56. Uchida K, Kobayashi S, Matsuzaki M, Nakajima H, Shimada S, Yayama T, et al. Anterior versus posterior surgery for osteoporotic vertebral collapse with neurological deficit in the thoracolumbar spine. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* dicembre 2006;15(12):1759–67.
doi:10.1007/s00586-006-0106-z PubMed PMID: 16676156.
57. Scherer J, Joaquim A, Vaccaro A, Kanna R, El-Sharkawi M, Takahata M, et al. AO Spine-DGOU Osteoporotic Fracture Classification System: Internal Validation by the AO Spine Knowledge Forum Trauma. *Glob Spine J.* maggio 2025;15(4):2152–7.
doi:10.1177/21925682241288187 PubMed PMID: 39327898; PubMed Central PMCID: PMC11559773.
58. Kato S, Rocos B, Yoshida G, Sardar Z, Jones KE, Oe S, et al. AO Spine Clinical Practice Recommendations: Evaluation, Implications and Management of Osteoporosis in Adult Spinal Deformity. *Glob Spine J.* 14 luglio 2025;16(2):854–61.
doi:10.1177/21925682251357200 PubMed PMID: 40658112; PubMed Central PMCID: PMC12259592.
59. ZHANG GQ, GAO YZ, ZHENG J, LUO JP, TANG C, CHEN SL, et al. Posterior decompression and short segmental pedicle screw fixation combined with vertebroplasty for Kümmell’s disease with neurological deficits. *Exp Ther Med.*

febbraio 2013;5(2):517–22. doi:10.3892/etm.2012.833 PubMed PMID: 23403724;
PubMed Central PMCID: PMC3570129.

60. Heini PF, Berlemann U, Kaufmann M, Lippuner K, Fankhauser C, van Landuyt P. Augmentation of mechanical properties in osteoporotic vertebral bones--a biomechanical investigation of vertebroplasty efficacy with different bone cements. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* aprile 2001;10(2):164–71. doi:10.1007/s005860000204 PubMed PMID: 11345639; PubMed Central PMCID: PMC3611488.

61. Weill A, Chiras J, Simon JM, Rose M, Sola-Martinez T, Enkaoua E. Spinal metastases: indications for and results of percutaneous injection of acrylic surgical cement. *Radiology.* aprile 1996;199(1):241–7. doi:10.1148/radiology.199.1.8633152 PubMed PMID: 8633152.

62. Marx WF, Kallmes DF, Kaufmann TJ, Jensen ME. Percutaneous Vertebroplasty Age of Fracture and Clinical Outcomes of.

63. Lindsay R, Silverman SL, Cooper C, Hanley DA, Barton I, Broy SB, et al. Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture. *JAMA.* 17 gennaio 2001;285(3):320–3. doi:10.1001/jama.285.3.320 PubMed PMID: 11176842.

64. Huskisson EC. Measurement of pain. *Lancet.* 9 novembre 1974;2(7889):1127–31. doi:10.1016/s0140-6736(74)90884-8 PubMed PMID: 4139420.

65. Fairbank JC, Couper J, Davies JB, O'Brien JP. The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy.* agosto 1980;66(8):271–3. PubMed PMID: 6450426.

66. Dahlan RH, Ompusunggu SE, Yudoyono F, Malau LG. Correlation Analysis of Extensive Foraminotomy of Lumbar Foramina Stenosis Patients to Improvement of Visual Analogue Scale (VAS) And Oswestry Disability Index (ODI). *Open Access J Neurol Neurosurg.* 28 agosto 2018;8(4):1–6. doi:10.19080/OAJNN.2018.08.555745

67. Filley A, Baldwin A, Ben-Natan AR, Hansen K, Arora A, Xiao A, et al. The influence of osteoporosis on mechanical complications in lumbar fusion surgery: a

systematic review. *North Am Spine Soc J.* giugno 2024;18:100327.

doi:10.1016/j.xnsj.2024.100327 PubMed PMID: 38962714; PubMed Central PMCID: PMC11219986.

68. Cho JH, Hwang CJ, Kim H, Joo YS, Lee DH, Lee CS. Effect of osteoporosis on the clinical and radiological outcomes following one-level posterior lumbar interbody fusion. *J Orthop Sci Off J Jpn Orthop Assoc.* novembre 2018;23(6):870–7.

doi:10.1016/j.jos.2018.06.009 PubMed PMID: 30431006.

69. Wang HW, Hu YC, Wu ZY, Wu HR, Ma JQ, Jian HQ, et al. One Approach Anterior Decompression and Fixation with Posterior Unilateral Pedicle Screw Fixation for Thoracolumbar Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Orthop Surg.*

maggio 2021;13(3):908–19. doi:10.1111/os.12947 PubMed PMID: 33787067; PubMed Central PMCID: PMC8126897.

70. Qin G, Hu L, Liang Z, Li J, Bao X, Lin S, et al. Bone cement-augmented vs. conventional pedicle screws for osteoporotic lumbar spondylolisthesis: a meta-analysis. *Front Surg.* 12:1692448. doi:10.3389/fsurg.2025.1692448 PubMed PMID: 41560940;

PubMed Central PMCID: PMC12815443.

71. Pieroh P, Spiegl UJA, Völker A, Märdian S, von der Höh NH, Osterhoff G, et al. Spinal Orthoses in the Treatment of Osteoporotic Thoracolumbar Vertebral Fractures in the Elderly: A Systematic Review With Quantitative Quality Assessment. *Glob Spine J.* aprile 2023;13(1_suppl):59S-72S. doi:10.1177/21925682221130048 PubMed PMID: 37084346; PubMed Central PMCID: PMC10177312.

72. Jacobs E, Senden R, McCrum C, van Rhijn LW, Meijer K, Willems PC. Effect of a semirigid thoracolumbar orthosis on gait and sagittal alignment in patients with an osteoporotic vertebral compression fracture. *Clin Interv Aging.* 2019;14:671–80.

doi:10.2147/CIA.S199853 PubMed PMID: 31043773; PubMed Central PMCID: PMC6469477.

73. Skoch J, Zoccali C, Zaninovich O, Martirosyan N, Walter CM, Maykowski P, et al. Bracing After Surgical Stabilization of Thoracolumbar Fractures: A Systematic

Review of Evidence, Indications, and Practices. *World Neurosurg.* 1 settembre 2016;93:221–8. doi:10.1016/j.wneu.2016.05.067

74. Gregson CL, Armstrong DJ, Avgerinou C, Bowden J, Cooper C, Douglas L, et al. The 2024 UK clinical guideline for the prevention and treatment of osteoporosis. *Arch Osteoporos.* 2025;20(1):119. doi:10.1007/s11657-025-01588-3 PubMed PMID: 40921943; PubMed Central PMCID: PMC12417299.