



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

SCUOLA DI MEDICINA E CHIRURGIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN MEDICINA E CHIRURGIA

Dipartimento di Scienze Cardiologiche, Toraciche e Vascolari e di
Sanità Pubblica

Direttore: Prof. Federico Rea

Sede di Medicina Legale

TESI DI LAUREA

**ANALISI MICRORADIOLOGICA *POST-MORTEM* DI COSTE.
ACCURATEZZA, PRECISIONE E APPLICABILITÀ NELLA DIAGNOSI
DIFFERENZIALE DI FRATTURE TRAUMATICHE VS IATROGENE**

Relatore: **Prof. Giovanni Cecchetto**

Correlatore: **Dott. Ludovico Fava**

Laureanda: **Maria Buffon**

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

RIASSUNTO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUZIONE	3
1.1 Fratture costali	3
1.2 Cenni di anatomia.....	3
1.3 Classificazione delle fratture costali.....	4
1.4 Imaging post-mortem.....	9
1.5 Micro-TC	10
2. SCOPO DELLO STUDIO	12
3. MATERIALI E METODI	13
3.1 Casistica	13
3.2 Raccolta dei dati	13
3.2.1 Dati epidemiologici	13
3.2.2 Dati circostanziali	14
3.2.3 Dati necroscopici.....	14
3.3 Preparazione dei campioni.....	14
3.4 Analisi dei campioni.....	15
3.4.1 TC	15
3.4.2 Micro-TC.....	16
3.4.3 Frattografia	16
3.5 Caratteristiche di interesse	17
3.6 Analisi statistica	17
3.6.1 Variabilità inter-operatore.....	17
3.6.2 TC e micro-TC vs Frattografia.....	18
3.6.3 Fratture traumatiche vs Fratture iatrogene	18
4. RISULTATI	19
4.1 Casistica	19
4.2 Dati epidemiologici.....	19
4.3 Dati circostanziali.....	19
4.4 Dati necroscopici	20
4.5 Analisi statistica	23
4.5.1 Variabilità inter-operatore.....	23

4.5.2 TC e micro-TC vs frattografia	29
4.5.3 Fratture traumatiche vs Fratture iatrogene	35
5.DISCUSSIONE	40
5.1 Analisi dei dati necroscopici	40
5.2 Analisi della variabilità inter-operatore	41
5.3 Analisi dell'accuratezza di TC e micro-TC vs frattografia	42
5.4 Analisi di fratture costali traumatiche vs iatrogene	43
5.5 Limiti e prospettive future.....	45
6.CONCLUSIONI	46
BIBLIOGRAFIA.....	47

RIASSUNTO

Background: le fratture costali sono un reperto molto comune in ambito forense. In particolare, sulla base del meccanismo lesivo implicato, è importante distinguere le fratture costali di origine traumatica da quelle di origine iatrogena secondarie a rianimazione cardiopolmonare (RCP).

Scopo dello studio: il presente studio si pone l'obiettivo di indentificare una metodica radiologica (TC o micro-TC), di accuratezza comparabile all'attuale *gold standard* (frattografia), utile all'identificazione dei parametri morfologici che possano concorrere alla diagnosi differenziale tra fratture traumatiche e iatrogene.

Materiali e metodi: dai casi autoptici presi in esame sono stati ricavati 228 focolai di frattura, suddivisi in due gruppi (trauma e RCP). Per ciascuno focolaio sono state valutate diverse caratteristiche morfologiche (tipologia di frattura, numero di frammenti, direzione di frattura sulle superfici esterna, interna e laterale, margini esterno e interno, sbucciature). Le fratture traumatiche sono state analizzate mediante TC e micro-TC da due operatori al fine di determinare la variabilità interindividuale; è stata quindi calcolata l'accuratezza di queste due metodiche rispetto alla frattografia. Sono infine state analizzate alla micro-TC le fratture iatrogene e confrontate con quelle traumatiche.

Risultati: dallo studio delle caratteristiche morfologiche valutate mediante TC e micro-TC è stata ottenuta una bassa variabilità inter-operatore. L'accuratezza della micro-TC in comparazione alla frattografia è risultata superiore rispetto alla TC. Tra i parametri analizzati, elevati valori predittivi positivi sono stati ottenuti per i *margini* di frattura, in particolare *lisci* per la tipologia di natura traumatica (VPP=66,7%), *frastagliati* per quella secondaria a RCP (VPP=79%).

Conclusioni: la micro-TC è risultata essere caratterizzata da bassa variabilità interindividuale ed elevata accuratezza nello studio delle fratture costali. Tale metodica ha inoltre permesso di identificare un parametro morfologico potenzialmente utile alla discriminazione della tipologia di frattura in base al meccanismo di produzione, ovvero i margini di frattura.

ABSTRACT

Background: rib fractures are a common finding in forensics. It is important to distinguish rib fractures based on injury mechanism, classifying these as traumatic or iatrogenic, resulting from cardiopulmonary resuscitation (CPR).

Purpose of the study: the purpose of our study is to identify a radiological method (CT or micro-CT) with an accuracy comparable to the gold standard (fractography), that allows us to determine morphological features which can be used for the differential diagnosis of traumatic vs iatrogenic rib fractures.

Materials and methods: we obtained 228 fracture sites from autptic cases, divided into two groups (trauma and CPR). For each site several morphological features were analysed (type of fracture, number of the bone fragments, fracture orientation on the outer, inner and lateral surfaces, outer and inner edges, peelings). Traumatic fractures were analysed with CT and micro-CT by two different operators to determine the interindividual variability; the accuracy of both methods was then compared to the fractography. Finally, we analysed through micro-CT iatrogenic fractures in comparison to traumatic fractures.

Results: evaluation of morphological features with CT and micro-CT showed a low interindividual variability. Accuracy of micro-CT compared to the fractography resulted to be higher than CT. Among all the parameters analysed, high positive predictive values were obtained in the analyses of fracture edges, specifically *smooth* in the traumatic type (PPV=66,7%) and *rough* in the iatrogenic type (PPV=79%).

Conclusions: micro-CT showed low interindividual variability and high accuracy in rib fractures analysis. This method has also allowed us to identify a morphological parameter (fracture edges) which could be useful for the discrimination of the fracture type based on the injury mechanism.

1. INTRODUZIONE

1.1 Fratture costali

Le fratture costali rappresentano la tipologia più frequente di frattura traumatica, osservandosi in circa il 10-20% dei casi traumatici di qualsiasi tipo e, nello specifico, con un'incidenza del 60-80% nei traumi toracici contusivi (Liebsch et al., 2019). Oltre ai reperti clinici e radiologici in soggetti viventi, le fratture costali vengono frequentemente riscontrate in sede autoptica come conseguenza di traumi toracici (Kissling et al., 2021). I meccanismi di produzione principali sono l'impatto diretto (ad esempio in seguito ad incidenti stradali, cadute dall'alto, traumi da schiacciamento) e la compressione toracica (Bähr et al., 1894; Matti et al., 1931): in quest'ultimo caso, infatti, possono verificarsi *peri o post-mortem* durante le manovre di rianimazione cardio-polmonare (Lardi et al., 2015; Klöss et al., 1983). Si distinguono poi le fratture secondarie a condizioni patologiche sottostanti, quali osteoporosi, tubercolosi o neoplasie (Kissling et al., 2021). Nella maggior parte dei traumi toracici, in particolare nei casi più gravi, le fratture costali non si presentano in modo isolato, ma i frammenti ossei generatisi possono determinare delle concomitanti lesioni potenzialmente letali (Sirmali et al., 2003; Kani et al., 2019), come la rottura dell'aorta e lo pneumotorace (Kani et al., 2019), nonché di altri visceri quali polmoni, fegato, reni e milza (Sirmali et al., 2003; Shorr et al., 1987; Ziegler et al., 1994; Dunham et al., 2015). Le fratture multiple sono importanti indicatori di gravità del trauma, con un aumento della morbilità e della mortalità proporzionale al numero crescente di fratture, specialmente nei soggetti anziani (Senekjian et al., 2017).

È importante ai fini della ricostruzione del meccanismo traumatico, che il patologo forense sia in grado di determinare se la frattura costale sia il risultato di un impatto diretto o di una compressione del torace, ad esempio come artefatto *peri-mortem* (Hädrich et al., 2012).

1.2 Cenni di anatomia

Le coste sono classificate come *vere, false o fluttuanti*, in base all'inserzione anteriore delle rispettive cartilagini costali. Le prime sette coste sono definite *vere*, in quanto possiedono cartilagini costali proprie che si articolano con lo sterno; le

coste 8°, 9° e solitamente 10° sono definite *false*, la cui cartilagine forma una sincondrosi con la cartilagine della costa sovrastante (7° costa), perciò si articolano in modo indiretto allo sterno. Le coste cosiddette *fluttuanti* (11°, 12° e talvolta 10°) non raggiungono lo sterno e le rispettive cartilagini rudimentali terminano nella muscolatura dell'addome (Kani et al., 2019).

Morfologicamente sono classificate come *tipiche* o *atipiche*: le coste *tipiche* (dalla 3° alla 9°) sono composte da testa, collo, tubercolo e corpo, mentre la 1°, 2°, 10° e 12° sono definite *atipiche*, in quanto presentano alcuni caratteri specifici che le distinguono dalle altre (Kani et al., 2019).

1.3 Classificazione delle fratture costali

Dal punto di vista classificatorio, si possono distinguere le fratture costali sulla base di diverse caratteristiche: localizzazione topografica a livello della gabbia toracica, morfologia e meccanismo di produzione.

Una prima classificazione suddivide la gabbia toracica in tre zone, *superiore*, *mediana* ed *inferiore*, ciascuna delle quali può associarsi a lesioni di diverse strutture anatomiche (Talbot et al., 2017).

Le prime quattro coste costituiscono la c.d. *zona superiore*: le fratture in tale sede tipicamente conseguono a traumi ad alta energia e, in ragione dell'elevata entità lesiva necessaria, spesso si presentano in concomitanza con lesioni di altre coste e strutture organiche, quali il plesso brachiale e i grossi vasi, in particolare l'aorta toracica e le arterie succlavie, specialmente nel contesto delle fratture della prima costa (Gupta et al., 1997). Tuttavia, fratture della zona superiore possono verificarsi anche in soggetti con una storia minima o assente di trauma (fratture incidentali della prima costa, ad esempio, sono state descritte nei soldati, probabilmente causate dal trasporto di attrezzature militari pesanti) (Gupta et al., 1997). Le coste dalla 5° alla 9° costituiscono la c.d. *zona mediana* e le rispettive fratture, in tal caso, sono più comunemente associate a complicanze polmonari, pleuriche ed extrapleuriche (ad esempio contusione, lacerazione polmonare, emotorace, pneumotorace, ematoma extrapleurico), mentre le coste dalla 10° alla

12° costituiscono la c.d. *zona inferiore*, le cui fratture possono associarsi a lesioni epatiche, spleniche e renali (Talbot et al., 2017).

Un'ulteriore distinzione topografica viene fatta sulla base della precisa localizzazione toracica del focolaio di frattura, in particolare si definiscono principalmente tre aree: *anteriore*, delimitata dalle linee parasternale e ascellare anteriore, *laterale* delimitata dalle linee ascellare anteriore e ascellare posteriore, e *posteriore* delimitata dalle linee ascellare posteriore e paravertebrale (Kim et al., 2011). Secondo uno studio proposto da Schulze *et al.*, inoltre, si possono considerare due ulteriori linee, ovvero emiclaveare e angoloscapolare, aggiungendo quindi due nuove aree alle precedenti, ovvero *anterolaterale* e *posterolaterale* (Schulze et al., 2013).

Dal punto di vista morfologico, le fratture costali *in primis* possono essere classificate prendendo in considerazione due parametri principali: interruzione della corticale esterna e/o interna (*complete* o *incomplete*) e composizione dei monconi ossei (*scomposte* o *non scomposte*). Inoltre, è possibile valutare l'eventuale esposizione esterna, il numero di frammenti e l'orientamento della rima di frattura.

Le fratture *complete* presentano l'interruzione di entrambi gli strati corticali, esterno e interno, mentre quelle *incomplete* coinvolgono un singolo strato, o esterno o interno (Kani et al., 2019). Nel contesto delle fratture incomplete, l'elasticità intrinseca delle coste le predispone ad un particolare tipo di frattura definita *buckle*, frequentemente riscontrata in seguito alle manovre di rianimazione cardiopolmonare (RCP) e caratterizzata tipicamente dalla introflessione della corticale interna in assenza di interruzione della corticale esterna (Kani et al., 2019), con un *pattern* di coinvolgimento simmetrico e continuo dalla 2° alla 6° o 7° costa lungo la linea emiclaveare (Yang et al., 2011).

Le fratture vengono poi definite *composte* se conservano la propria posizione anatomica, *scomposte* nel caso in cui invece presentino una dislocazione dei monconi ossei, con disallineamento minimo o evidente, solitamente come conseguenza di una maggior intensità traumatica (Talbot et al., 2017).

Se la frattura è caratterizzata da almeno due linee di interruzione complete che separano un segmento di osso si parla di frattura *segmentale*; in tal caso, i monconi possono essere dislocati (più frequentemente) oppure rimanere allineati e generalmente conseguono a traumi ad alta energia (Talbot et al., 2017). Questo tipo di frattura può presentare, inoltre, la particolare morfologia a “farfalla”, un tipo di frattura caratterizzata dalla presenza a livello della superficie di trazione dell’osso di una linea trasversa che si ramifica man mano che si propaga verso la superficie opposta. Le fratture segmentali che coinvolgono tre o più coste contigue aumentano il rischio di *volet costale*, una condizione clinica potenzialmente letale, in cui un segmento della parete toracica perde la contiguità con la restante struttura scheletrica, presentando pertanto un movimento paradossale durante l’atto respiratorio (Kani et al., 2019).

In base all’esposizione esterna, possono essere distinte fratture *chiuse* o *esposte*: nelle prime la cute rimane intatta e l’osso non comunica con l’esterno, nelle seconde invece vi è una lacerazione dei tessuti sovrastanti, con conseguente esposizione esterna e aumentato rischio infettivo.

In base al numero di frammenti generati, inoltre, si distinguono fratture *singole* in presenza di due singoli monconi, *comminute* se caratterizzate da due o più frammenti ossei.

Analizzando poi la rima di frattura, si possono definire differenti *pattern* sulla base dell’orientamento perpendicolare o angolato della rima stessa rispetto all’asse longitudinale della costa, rispettivamente conosciute come frattura *trasversa* o *obliqua*.

È importante distinguere le fratture costali anche in base al meccanismo di produzione della lesione: si parla infatti di fratture *traumatiche* e *iatrogene*. Le prime derivano da un trauma contusivo diretto, ad esempio nel contesto di incidenti stradali, mentre le seconde si osservano spesso in seguito a manovre di rianimazione cardio-polmonare (RCP) (Kissling et al., 2021).

Liebsch *et al.* hanno condotto uno studio volto a identificare specifici *pattern* di frattura costale originati in seguito ad un trauma toracico. Sono stati esaminati i reperti derivanti da differenti tipi di trauma, quali incidenti stradali, cadute al

suolo, precipitazioni da altezze elevate e, inoltre, sono state incluse anche le fratture secondarie a RCP. Dai risultati ottenuti è emerso come i diversi *pattern* di frattura sembrano dipendere dalla causa e quindi dallo specifico meccanismo di produzione della lesione.

In particolare, le fratture costali da RCP hanno presentato una distribuzione topografica prevalentemente anterolaterale: questo dato può essere spiegato dal tipico meccanismo compressivo che concentra il carico a livello sternale, provocando uno stress elevato a livello della porzione anteriore delle coste a causa della deformazione della cartilagine costale. Inoltre, anche le fratture secondarie a traumi a bassa energia si concentrano prevalentemente in sede anterolaterale e sono per la maggior parte composte.

Per quanto riguarda le fratture costali traumatiche, invece, sono state esaminate fratture secondarie sia a collisioni automobilistiche frontali, localizzate prevalentemente in sede laterale a causa della maggior superficie di impatto, sia secondarie a cadute dall'alto, osservabili in sede posterolaterale: in quest'ultimo caso, infatti, l'impatto determina un'elevata sollecitazione flessoria a livello della porzione posterolaterale della costa, la quale è caratterizzata da una curvatura maggiore (Figura 1). Rispetto alle fratture da RCP, si tratta prevalentemente di fratture multiframmentarie, derivanti infatti da traumi ad alta energia.

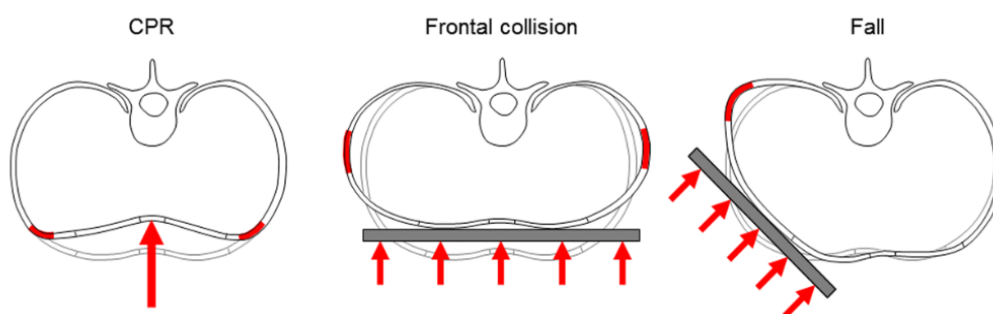


Figura 1: Meccanismi lesivi (RCP, collisioni frontali, cadute dall'alto) e sede di frattura

Tuttavia, nonostante le diverse localizzazioni topografiche riscontrabili in relazione a specifici meccanismi lesivi, la maggior parte delle fratture costali ha coinvolto l'area compresa tra la 4° e la 7° costa, a causa della loro lunghezza che le espone ad un rischio fratturativo più elevato. In aggiunta, è stato osservato che anche

l'orientamento della rima di frattura può presentare una diversa distribuzione a livello toracico, in particolare le fratture trasverse sono state osservate in sede più craniale rispetto a quelle oblique, ipotizzando quindi una correlazione con la posizione anatomica delle coste, ovvero più orizzontale per le coste superiori e più obliqua per quelle inferiori (Liebsch et al., 2019).

In un secondo studio condotto recentemente da Kissling *et al.*, vennero prodotte sperimentalmente delle fratture su coste sane ricavate da casi autoptici, attraverso uno strumento sviluppato *ad hoc* per simulare i due diversi meccanismi d'impatto: diretto e indiretto. Il lavoro si poneva come obiettivo quello di distinguere in sede autoptica le due tipologie di frattura e quindi il meccanismo di danno responsabile, sulla base di alcune caratteristiche morfologiche: *orientamento della rima di frattura* (trasversa/obliqua), *aspetto dei bordi* (frastagliati/lisci) e *offset laterale* (ovvero la distanza in mm tra il punto di frattura localizzato sulla superficie interna e quello sulla superficie esterna, valutata sul piano trasversale). I risultati ottenuti mostrarono significative differenze, in particolare le fratture indirette presentavano un orientamento trasverso o obliquo in proporzioni simili, un *offset* laterale maggiore e bordi esterni frastagliati e interni lisci, viceversa per le fratture dirette, caratterizzate invece da rime di frattura prevalentemente trasverse, con bordi esterni lisci e interni frastagliati (Kissling et al., 2021).

In aggiunta, esiste un altro tipo di lesioni, definite fratture *da stress*, che si distinguono in:

- fratture *da fatica*, tipiche dei soggetti giovani attivi (ad esempio atleti, lavoratori manuali o pazienti con tosse cronica o grave), causate da forze muscolari tensive ripetitive che agiscono su un osso normale (Kani et al., 2019);
- fratture *da insufficienza* che invece derivano da uno stress ripetitivo normale che agisce su un osso anormale (di ridotta resistenza elastica) e che pertanto si osservano solitamente nei soggetti anziani (Kani et al., 2019).

Infine, è necessario differenziare un'ulteriore categoria, rappresentata dalle fratture *patologiche*: esse si sviluppano su un substrato osseo alterato dalla presenza di condizioni patologiche sottostanti, quali osteoporosi, infezioni ossee o tumori ossei, che comportano una maggiore fragilità ossea e, di conseguenza, un aumentato rischio di frattura anche in seguito a traumatismi di minore entità (Talbot et al., 2017).

1.4 Imaging post-mortem

Fin dalla prima descrizione di Wullenweber risalente al 1977 sull'utilizzo dell'imaging nella pratica medico-legale, i professionisti forensi hanno realizzato e appreso positivamente le potenziali applicazioni della tomografia computerizzata in questo campo (Wullenweber et al., 1977). A tal proposito, esiste una letteratura in espansione sul potenziale ruolo della TC applicato alla scienza medico-legale e alla pratica autoptica, introducendo quindi il termine di *tomografia computerizzata post-mortem* (PMCT) (Rutty et al., 2013).

Un ulteriore concetto è quello della c.d. *autopsia virtuale*, che consiste nell'applicare le moderne tecniche di imaging allo studio del cadavere, solitamente prima della sezione autoptica. Il termine *virtopsy* fu ideato nei primi anni 2000 dal Professor Michael J. Thali presso l'Istituto di medicina legale dell'Università di Berna. La tecnica d'elezione in autopsia virtuale è la TC, in quanto maggiormente fruibile sul territorio e, soprattutto, capace di fornire in maniera rapida una rappresentazione completa dell'intero scheletro e, secondariamente, delle lesioni parenchimali maggiori. Gli obiettivi principali dell'autopsia virtuale sono gli stessi ricercati con l'autopsia classica, ovvero la determinazione delle cause, dei mezzi e della modalità del decesso, la descrizione della dinamica dell'evento lesivo, nonché l'identificazione del cadavere e l'elaborazione di analisi antropologiche. Attualmente, l'autopsia virtuale è considerata una modalità investigativa di routine in alcuni Istituti forensi nel mondo, mentre nella maggior parte dei contesti, come in Italia, viene richiesta dall'autorità giudiziaria solo nei casi in cui vi sia sufficiente evidenza scientifica che il suo impiego possa aggiungere dati significativi alle indagini forensi classiche. In particolare, la PMCT si è dimostrata molto utile nei casi di decesso dovuti a grandi traumatismi, per la sua

elevata capacità di delineazione delle lesioni scheletriche, inoltre può essere ritenuta una valida tecnica complementare per lo studio delle ferite d'arma da fuoco, specialmente se riguardanti il distretto cranio-encefalico. L'utilità di questa metodica può essere apprezzata maggiormente in ragione del fatto che consente una migliore identificazione delle fratture scheletriche nei distretti solitamente non esplorati con le tecniche autoptiche classiche (ad esempio colonna vertebrale, bacino, massiccio facciale) (Filograna, 2020).

Schulze *et al.* pubblicarono uno studio che poneva a confronto la sensibilità della PMCT nel rilevamento di fratture costali rispetto al *gold standard*, ovvero l'autopsia. Vennero presi in esame e sottoposti a PMCT 51 casi forensi prima di eseguire l'esame autoptico, ottenendo però una sensibilità piuttosto ridotta per il rilevamento di fratture costali rispetto all'autopsia, in particolare per quelle non associate ad una rilevante dislocazione, con conseguente maggior numero di falsi negativi; viceversa, l'autopsia spesso non permetteva di rilevare le fratture incomplete. Dai risultati così ottenuti si può concludere che, mentre le fratture costali incomplete vengono meglio rilevate alla PMCT, quest'ultima non può sostituire *in toto* l'autopsia per ciò che concerne l'identificazione di tale tipo di lesioni ossee, ma dovrebbe essere utilizzata come supplemento al fine di aumentare la sensibilità complessiva nella rilevazione *post-mortem* (Schulze et al., 2013).

1.5 Micro-TC

Una tecnologia emergente in ambito medico-legale è rappresentata dalla micro-TC, seppure con una disponibilità ancora limitata per i patologi forensi (Rutty et al., 2013).

I principi fondamentali sono analoghi a quelli della tomografia computerizzata clinica (TC), funzionante mediante emissione di raggi X (Kalender et al., 2005), tuttavia la micro-CT fornisce una risoluzione spaziale molto maggiore e quindi supera i limiti per quanto riguarda la qualità e il dettaglio dell'immagine, permettendone un'analisi più precisa. L'informazione tomografica viene ricostruita da una serie di immagini radiografiche, tipicamente da alcune centinaia a poche migliaia, acquisite mentre il campione viene fatto ruotare tra l'emettitore

e il rivelatore (Rutty et al., 2013). Un ulteriore vantaggio è dato dalla non invasività e dalla conservatività di tale tecnica di *imaging*, che la rende molto utile negli studi che misurano le alterazioni della stereologia, del volume e della microarchitettura ossea (Holdsworth et al., 2002).

Rutty *et al.* hanno fornito una panoramica sulle possibili aree di utilizzo della micro-TC nella pratica forense, tra cui la ricostruzione 3D della distribuzione spaziale dei residui di arma da fuoco (GSR) in relazione al foro di ingresso per calcolare il raggio di tiro (Cecchetto et al., 2011), la valutazione di lesioni ossee provocate da arma bianca per determinare forma e dimensione della lama utilizzata (Thali et al., 2003) e la stima dell'età del cadavere e dell'intervallo *post mortem*. Inoltre, la micro-TC permette di ottenere risultati paragonabili all'istologia per quanto riguarda l'analisi di alcune patologie ossee, quali osteomielite cronica, sifilide, iperostosi frontale interna, iperparatiroidismo, osteomielosclerosi (Ruhli et al., 2007).

2. SCOPO DELLO STUDIO

Per il patologo forense può risultare di fondamentale importanza riuscire a determinare se una frattura costale sia il risultato di un impatto diretto o di una compressione toracica come artefatto perimortale, al fine di ricostruire dinamica e meccanismo di produzione della lesione e, in particolare, di discriminare le fratture costali di tipo traumatico da quelle di tipo iatrogeno (Hädrich et al., 2012). Allo stato attuale, la metodica principalmente utilizzata nello studio delle fratture costali *post-mortem* è la frattografia, caratterizzata da elevata accuratezza e precisione (Rutty et al., 2013) e, pertanto, riconosciuta come *gold standard*. Nonostante le emergenti potenzialità dell'*imaging* radiologico in campo forense, in questo specifico ambito di applicazione gli studi presenti in letteratura sono, ad oggi, ancora estremamente limitati. In particolare, esistono pochissimi dati relativi all'utilizzo della micro-TC, metodica particolarmente promettente per la sua elevata risoluzione spaziale, soprattutto su casistica autoptica reale e non sperimentale.

Pertanto, sulla base delle suddette considerazioni, il presente studio si pone i seguenti obiettivi:

1. Analizzare con tre differenti metodiche (TC, micro-TC e frattografia) fratture costali rilevate in sede di accertamento autoptico, per le quali risultava noto il meccanismo di produzione, alternativamente traumatico o da rianimazione cardiopolmonare;
2. Valutare la *variabilità inter-operatore* nell'analisi di specifiche caratteristiche morfologiche di frattura costale, mediante l'utilizzo di due metodiche radiologiche, TC e micro-TC;
3. Definire l'*accuratezza* della TC e della micro-TC nell'analisi delle stesse caratteristiche di frattura, in comparazione al *gold standard*, ovvero sia la frattografia;
4. Identificare i parametri morfologici di tipo qualitativo rilevabili all'indagine micro-radiologica che possano concorrere alla diagnosi del meccanismo lesivo implicato, differenziando quindi le due tipologie di frattura: *traumatica vs iatrogena*.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Casistica

Il presente studio è stato condotto a partire dai campioni prelevati in sede autoptica nel corso di indagini effettuate presso le Sedi di Medicina Legale di Padova e Bologna e presso l'Istituto di Medicina Legale di Friburgo (Germania), nel periodo 2021-2023.

Nello studio sono state prese in considerazione fratture costali di diversa tipologia, in particolare i campioni esaminati comprendevano fratture complete e incomplete, singole e comminute, prelevate da entrambi gli emitoraci e distinte in base alla specifica sede di localizzazione del focolaio di frattura.

I casi selezionati sono stati suddivisi in due gruppi, sulla base del meccanismo di danno implicato:

1. **GRUPPO 1:** fratture costali traumatiche, causate da traumi toracici contusivi diretti;
2. **GRUPPO 2:** fratture costali iatrogene, secondarie a manovre di rianimazione cardiopolmonare.

3.2 Raccolta dei dati

Per ogni caso sono state raccolte e inserite all'interno di un database creato attraverso il software *Microsoft Excel*® le seguenti informazioni:

- dati epidemiologici;
- dati circostanziali;
- dati necroscopici.

3.2.1 Dati epidemiologici

Per quanto riguarda i dati epidemiologici, sono stati considerati il sesso (maschio/femmina) e l'età, quest'ultima suddivisa in 5 classi in base alla fascia d'età: 0-18 anni, 19-40 anni, 41-60 anni, 61-80 anni e > 80 anni.

3.2.2 Dati circostanziali

Dalla disamina dei verbali autoptici si sono ricavate informazioni relative alla *dinamica* (omicidio/suicidio/accidentale) e allo specifico *meccanismo lesivo* responsabile dell'evento traumatico (precipitazione, caduta al suolo, sinistro stradale, corpo contundente, schiacciamento, RCP).

3.2.3 Dati necroscopici

Per quanto riguarda i dati necroscopici, sono state considerate le *cause del decesso* e le informazioni relative alle fratture costali, in particolare il *numero totale di coste fratturate* e dei singoli *focolai di frattura*, la *distinzione tra i due emitoraci* e la *localizzazione* precisa a livello della gabbia toracica, secondo il modello topografico proposto da Schulze *et al.* in cinque aree (anteriore, anterolaterale, laterale, posterolaterale, posteriore) (Schulze et al., 2013).

3.3 Preparazione dei campioni

In sede autoptica sono state prelevate le singole coste fratturate di entrambi gli emitoraci (destro e sinistro), in seguito sono stati isolati i focolai di frattura tramite l'utilizzo di un costotomo, al fine di ottenere dei segmenti ossei della stessa dimensione (circa 7 cm). Per orientare correttamente i campioni durante la successiva osservazione delle immagini TC e micro-TC, è stata creata manualmente, con l'uso di un seghetto, un'incisione sulla superficie esterna della costa, in prossimità dell'estremità vertebrale.

In una prima fase, i campioni così ottenuti sono stati conservati in soluzione acquosa di formalina tamponata al 10% all'interno di barattoli monouso, riportanti ciascuno un'etichetta identificativa.

In una seconda fase, dopo l'acquisizione delle immagini mediante le metodiche radiologiche, i campioni sono stati sottoposti a macerazione per un periodo di circa 2 mesi all'interno di appositi barattoli riempiti d'acqua, per facilitare la rimozione dei tessuti molli, necessaria alla successiva analisi frattografica delle caratteristiche di frattura ricercate.

3.4 Analisi dei campioni

Le fratture costali traumatiche (Gruppo 1) sono state esaminate con l'utilizzo di tre differenti metodiche diagnostiche: TC, micro-TC e frattografia. Nello specifico, lo studio radiologico e micro-radiologico è stato svolto individualmente da parte di due differenti operatori (*MB, LF*). L'analisi frattografica, invece, è stata eseguita da un unico operatore (*MB*).

Le fratture costali iatrogene (Gruppo 2), invece, sono state analizzate unicamente dal punto di vista micro-radiologico mediante micro-TC.

3.4.1 TC

I campioni sono stati disposti sul letto della **TC** per l'acquisizione delle immagini radiologiche, ciascuno affiancato da un'etichetta identificativa (Figura 2) e, contestualmente, sono state effettuate delle fotografie, utili alla successiva comparazione dei campioni nella ricostruzione 3D.

È stata utilizzata a tale scopo una TC multi-slice (*siemens somatom sensation MSV-128 strati*) collocata presso la UOC di Radiologia dell'Azienda Ospedaliera di Padova, avente la seguente configurazione:

- 100 kV
- 200 mAs
- Spessore strato 0,5 mm.

Le immagini così ricavate sono state poi "ritagliate" e analizzate singolarmente tramite l'utilizzo delle funzioni di *volume rendering 3D e crop* del software *Horos®*.



Figura 2: TC

3.4.2 Micro-TC

Similmente all'acquisizione delle immagini in TC, è stata utilizzata una **micro-TC** ad alta risoluzione (*Skyscan 1275, Bruker, Kontich, Belgio*) (Figura 3) collocata presso il Dipartimento di Medicina dell'Università di Padova.

La micro-TC a disposizione presenta la seguente configurazione:

- 15,7 micron image pixel size
- 83 kV
- 120 mA
- Exposure 6413 ms
- Rotation step 0,7°
- Frame averaging 2
- 1280 x 1024 pixel Field of view

Infine, per la valutazione delle immagini micro-radiologiche ricavate si è utilizzato il software *CTVox®*.



Figura 3: Micro-TC

3.4.3 Frattografia

Una volta terminato il processo di macerazione, sono stati rimossi manualmente i tessuti molli per isolare la struttura ossea delle singole coste e avviare così l'analisi frattografica delle caratteristiche di frattura, presso l'obitorio dell'Istituto di Medicina Legale di Padova. La frattografia, in particolare, ha previsto una visualizzazione macroscopica in aggiunta all'utilizzo di una lente di ingrandimento 3x dotata di luce led.

3.5 Caratteristiche di interesse

Per ciascun campione e per ciascuna delle tre metodiche diagnostiche sopra riportate, sono state esaminate le seguenti variabili dicotomiche qualitative:

- tipologia di frattura (*completa/incompleta*)
- numero di frammenti (*singola/comminuta*)
- direzione della rima di frattura sulla superficie esterna (*trasversa/obliqua*)
- direzione della rima di frattura sulla superficie interna (*trasversa/obliqua*)
- direzione della rima di frattura sulla superficie laterale (*trasversa/obliqua*)
- aspetto del margine esterno di frattura (*liscio/frastagliato*)
- aspetto del margine interno di frattura (*liscio/frastagliato*)
- presenza di sbucciature (*sì/no*)

Le rispettive valutazioni sono state riportate all'interno di un database realizzato tramite il software *Microsoft Excel®*, per procedere successivamente all'analisi statistica.

3.6 Analisi statistica

Le analisi statistiche sono state effettuate avvalendosi del software *IBM SPSS Statistics 26*.

3.6.1 Variabilità inter-operatore

Per valutare la variabilità inter-operatore nell'analisi di fratture costali mediante TC e micro-TC, sono state create delle tabelle di contingenza per ogni caratteristica morfologica esaminata. Contestualmente è stata calcolata la *Kappa di Cohen*, un indice statistico che misura il grado di concordanza tra due valutazioni qualitative, mediante la seguente formula:

$$K = \frac{\text{Accordo osservato} - \text{Accordo atteso}}{1 - \text{Accordo atteso}}$$

La scala utilizzata per interpretare il grado di concordanza sulla base del valore di Kappa è quella proposta da Landis e Koch (Landis et al., 1977) (Tabella I).

STATISTICA KAPPA	FORZA DELLA CONCORDANZA
<0	Nulla
0-0,20	Scarsa
0,21-0,40	Modesta
0,41-0,60	Moderata
0,61-0,80	Sostanziale
0,81-1	Quasi perfetta

Tabella I: Interpretazione del Kappa

3.6.2 TC e micro-TC vs Frattografia

Per valutare l'accuratezza delle due metodiche radiologiche nell'analisi morfologica delle caratteristiche di frattura in comparazione alla frattografia, sono state create delle tabelle di contingenza, rispettivamente per TC e micro-TC, e sono stati calcolati *Kappa di Cohen* (per calcolo e interpretazione vedasi paragrafo precedente) e *accuratezza*, della quale si riporta di seguito la formula.

$$\text{Accuratezza} = \frac{VP+VN}{\text{totale}}$$

3.6.3 Fratture traumatiche vs Fratture iatrogene

Infine, sono state create delle tabelle di contingenza per valutare l'associazione tra ciascuna variabile dicotomica qualitativa delle caratteristiche morfologiche indagate e la tipologia di frattura costale (traumatica e iatrogena). Per quanto riguarda la valutazione dei margini, in aggiunta alla singola valutazione dei margini esterno e interno, essi sono stati valutati anche nella loro globalità, definendoli come *liscio* se entrambi lisci o *frastagliato* se almeno uno dei due frastagliato. Sulla base delle suddette tabelle sono state calcolate *sensibilità (Se)*, *specificità (Sp)*, *valore predittivo positivo (VPP)* e *valore predittivo negativo (VPN)*.

4. RISULTATI

4.1 Casistica

Sono stati presi in esame 34 casi autoptici totali, composti da soggetti presentanti fratture costali di diversa tipologia, in particolare 21 casi di origine traumatica e 13 casi di origine iatrogena.

4.2 Dati epidemiologici

Relativamente al sesso, i casi di sesso *maschile* (n=19) hanno dimostrato una lieve prevalenza rispetto ai casi di sesso *femminile* (n=15) (Figura 4).

Per quanto riguarda la distribuzione per *fasce d'età*, invece, la classe più numerosa è risultata quella *41-60 anni*, con il 35,3% dei casi (n=12), mentre la classe *0-18 anni* è risultata la meno numerosa, con un singolo caso (n=1); i rimanenti casi sono distribuiti equamente tra le classi *19-40*, *61-80* e *>80 anni*, ciascuna rappresentante il 20,6% dei casi (n=7) (Figura 5).

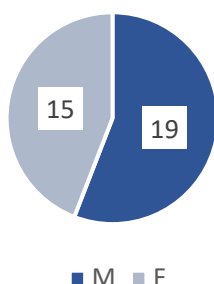


Figura 4: Distribuzione per sesso

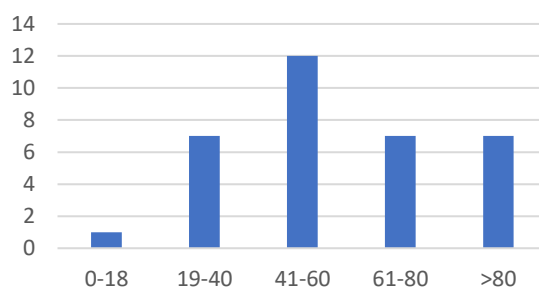


Figura 5: Distribuzione per fasce d'età

4.3 Dati circostanziali

Tra le possibili dinamiche, la maggior parte è di natura *accidentale* (n=26), seguita da *omicidio* (n=8), mentre nessun caso esaminato è secondario a *suicidio*.

Per quanto riguarda il meccanismo lesivo e i mezzi responsabili della produzione di fratture costali, si distinguono *sinistri stradali* (n=14), *corpi contundenti* (n=2), *precipitazione* (n=1), *caduta al suolo* (n=1) e *schacciamento* (n=1) per il gruppo delle fratture costali traumatiche, e infine *manovre di rianimazione cardiopolmonare* (n=15) prodotte manualmente da personale sanitario per il gruppo delle fratture costali iatrogene.

4.4 Dati necroscopici

Le *cause del decesso* ricavate dalla disamina dei verbali autoptici sono rappresentate per la maggior parte da *shock ipovolemico emorragico* (n=8), *shock neurogeno ed emorragico* (n=8) e *insufficienza respiratoria acuta* (n=8), e in misura minore da *shock neurogeno* (n=4), *scompenso cardiaco* (n=2), *asfissia* (n=1), *shock cardiogeno/ostruttivo* (n=1), *aritmia* (n=1) e *annegamento + intossicazione da xenobiotici* (n=1).

In merito alle *fratture costali*, dai 34 casi autoptici sono state rilevate 203 coste fratturate, di cui 127 di origine traumatica (gruppo 1) e 76 di origine iatrogena (gruppo 2) (Figura 6).

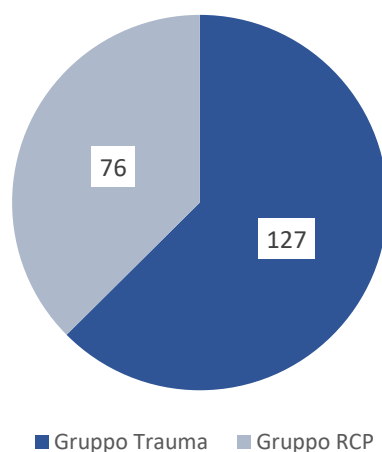


Figura 6: Numero di coste fratturate

In particolare, nel primo gruppo le coste dalla 3° alla 6° sono quelle maggiormente fratturate, complessivamente in concordanza con quanto riportato dallo studio di Liebsch *et al.*, in cui il numero più elevato di fratture coinvolgeva l'area compresa tra la 4° e la 7° costa, similmente nel secondo gruppo, con il maggior numero di coste fratturate dalla 3° alla 5°. Le coste meno frequentemente fratturate comprendono la 1° e l'area dalla 8° alla 12°, in particolare in nessun caso sono state rilevate fratture delle ultime due coste, inoltre nel gruppo di origine iatrogena non è mai stata coinvolta l'area dalla 9° alla 12° costa, con un solo caso di frattura dell'8° (Figura 7 e Figura 8).

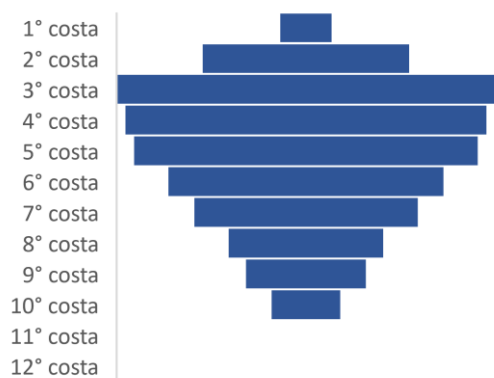


Figura 7: Prevalenza di fratture nel Gruppo Trauma

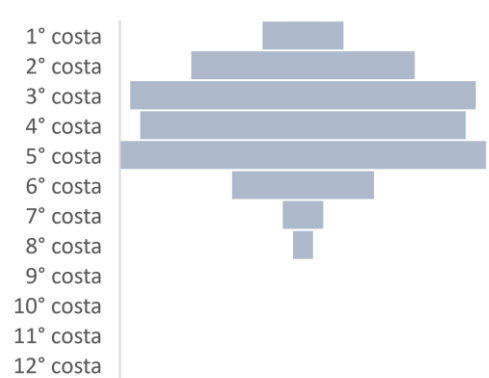


Figura 8: Prevalenza di fratture nel Gruppo RCP

Entrando nello specifico dei *focolai di frattura* identificati e successivamente isolati mediante taglio con costotomo, il numero totale corrisponde a 228, di cui 147 di origine traumatica (64,47%) e 81 di origine iatrogena (35,53%) (Figura 9).

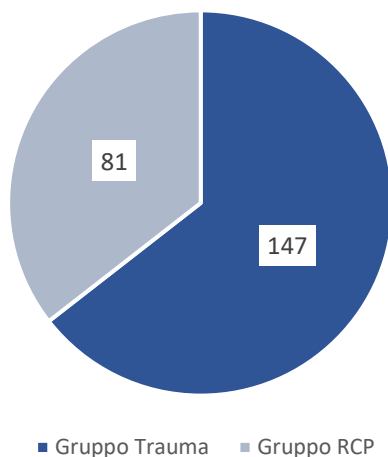


Figura 9: Numero di focolai di frattura

Per ciò che concerne la *distinzione tra i due emitoraci (dx/sn)*, 56 focolai di frattura di origine traumatica provengono dall'emitorace destro (38,1%) e 91 dall'emitorace sinistro (61,9%), mentre 34 focolai di origine iatrogena provengono dall'emitorace destro (42%) e 47 dall'emitorace sinistro (58%) (Figura 10 e Figura 11).

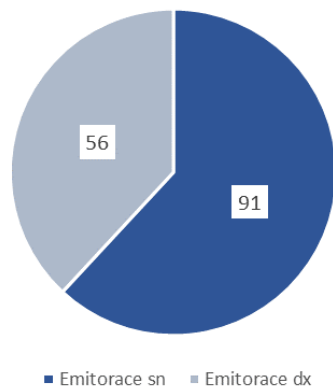


Figura 10: Distribuzione emitoracica Gruppo Trauma

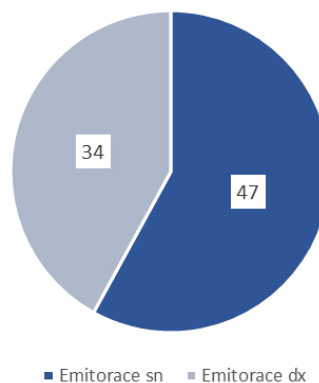


Figura 11: Distribuzione emitoracica Gruppo RCP

In 18 casi su 34 totali si riscontrano fratture costali bilaterali, provenienti quindi da entrambi gli emitoraci, in particolare 11 nei casi di origine traumatica (32,35%) e 7 nei casi di origine iatrogena (20,59%).

Per quanto riguarda la precisa *localizzazione* dei focolai di frattura costale di origine traumatica, 83 focolai fratturativi sono situati in sede anteriore (56,46%), 36 in sede anterolaterale (24,49%), 16 in sede laterale (10,88%), 2 in sede posterolaterale (1,36%) e 10 in sede posteriore (6,8%); per i focolai di origine iatrogena, invece, 51 focolai fratturativi sono situati in sede anteriore (62,96%) e 30 in sede anterolaterale (37,04%), mentre nessun focolaio è stato riscontrato nelle aree laterale, posterolaterale e posteriore (Figura 12 e Figura 13).

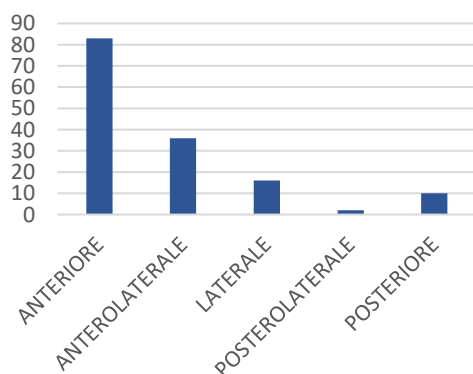


Figura 12: Distribuzione topografica Gruppo Trauma

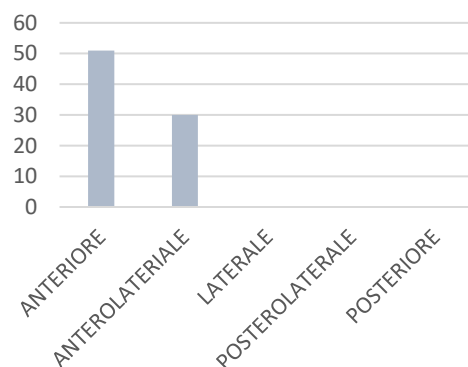


Figura 13: Distribuzione topografica Gruppo RCP

4.5 Analisi statistica

4.5.1 Variabilità inter-operatore

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi statistica svolta per la valutazione della variabilità inter-operatore nell'indagine mediante TC delle diverse caratteristiche morfologiche di frattura (Tabelle II, III, IV, V, VI, VII, VIII).

Tavola di contingenza Operatore 1 TC Tipologia di frattura* Operatore 2 TC Tipologia di frattura						
			Operatore 2 TC Tipologia di frattura		Totale	Kappa di Cohen
			Completa	Incompleta		
Operatore 1 TC Tipologia di frattura	Completa	Conteggio	123	0	123	1
		Conteggio previsto	105,8	17,2	123,0	
	Incompleta	Conteggio	0	20	20	
		Conteggio previsto	17,2	2,8	20,0	
Totale		Conteggio	123	20	143	
		Conteggio previsto	123,0	20,0	143,0	

Tabella II

Per la *tipologia di frattura* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 1 (*concordanza perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 TC Numero di frammenti * Operatore 2 TC Numero di frammenti						
			Operatore 2 TC Numero di frammenti		Totale	Kappa di Cohen
			Singola	Comminuta		
Operatore 1 TC Numero di frammenti	Singola	Conteggio	108	0	108	1
		Conteggio previsto	81,6	26,4	108,0	
	Comminuta	Conteggio	0	35	35	
		Conteggio previsto	26,4	8,6	35,0	
Totale		Conteggio	108	35	143	
		Conteggio previsto	108,0	35,0	143,0	

Tabella III

Per il *numero di frammenti* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 1 (*concordanza perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 TC Direzione di frattura superficie esterna * Operatore 2 TC Direzione di frattura superficie esterna						
			Operatore 2 TC Direzione di frattura superficie esterna		Totale	Kappa di Cohen
			Obliqua	Trasversa		
Operatore 1 TC Direzione di frattura superficie esterna	Obliqua	Conteggio	115	0	115	0,952381
		Conteggio previsto	105,0	10,0	115,0	
	Trasversa	Conteggio	1	11	12	
		Conteggio previsto	11,0	1,0	12,0	
Totale		Conteggio	116	11	127	
		Conteggio previsto	116,0	11,0	127,0	

Tabella IV

Per la *direzione di frattura sulla superficie esterna* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,9524 (*concordanza quasi perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 TC Direzione di frattura superficie interna * Operatore 2 TC Direzione di frattura superficie interna						
			Operatore 2 TC Direzione di frattura superficie interna		Totale	Kappa di Cohen
			Obliqua	Trasversa		
Operatore 1 TC Direzione di frattura superficie interna	Obliqua	Conteggio	116	3	119	0,9142857
		Conteggio previsto	100,0	19,0	119,0	
	Trasversa	Conteggio	0	19	19	
		Conteggio previsto	16,0	3,0	19,0	
Totale		Conteggio	116	22	138	
		Conteggio previsto	116,0	22,0	138,0	

Tabella V

Per la *direzione di frattura sulla superficie interna* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,9143 (*concordanza quasi perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 TC Direzione di frattura superficie laterale * Operatore 2 TC Direzione di frattura superficie laterale						
			Operatore 2 TC Direzione di frattura superficie laterale		Totale	Kappa di Cohen
			Obliqua	Trasversa		
Operatore 1 TC Direzione di frattura superficie laterale	Obliqua	Conteggio	112	1	113	0,8913043
		Conteggio previsto	103,8	9,2	113,0	
	Trasversa	Conteggio	1	9	10	
		Conteggio previsto	9,2	0,8	10,0	
Totale		Conteggio	113	10	123	
		Conteggio previsto	113,0	10,0	123,0	

Tabella VI

Per la *direzione di frattura sulla superficie laterale* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,8913 (*concordanza quasi perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 TC Margine esterno * Operatore 2 TC Margine esterno						
			Operatore 2 TC Margine esterno		Totale	Kappa di Cohen
			Liscio	Frastagliato		
Operatore 1 TC Margine esterno	Liscio	Conteggio	101	2	103	0,9264706
		Conteggio previsto	82,1	20,9	103,0	
	Frastagliato	Conteggio	1	24	25	
		Conteggio previsto	19,9	5,1	25,0	
Totale		Conteggio	102	26	128	
		Conteggio previsto	102,0	26,0	128,0	

Tabella VII

Per il *marginale esterno* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,9265 (*concordanza quasi perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 TC Margine interno * Operatore 2 TC Margine interno						
			Operatore 2 TC Margine interno		Totale	Kappa di Cohen
			Liscio	Frastagliato		
Operatore 1 TC Margine interno	Liscio	Conteggio	115	1	116	0,9415205
		Conteggio previsto	98,9	17,1	116,0	
	Frastagliato	Conteggio	1	19	20	
		Conteggio previsto	17,1	2,9	20,0	
Totale		Conteggio	116	20	136	
		Conteggio previsto	116,0	20,0	136,0	

Tabella VIII

Per il *marginale interno* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,9415 (*concordanza quasi perfetta*).

Allo stesso modo, si riportano di seguito i risultati dell'analisi statistica svolta per la valutazione della variabilità inter-operatore nell'indagine mediante *micro-TC* delle diverse caratteristiche morfologiche di frattura (Tabelle IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV).

Tavola di contingenza Operatore 1 Micro-TC Tipologia di frattura * Operatore 2 Micro-TC Tipologia di frattura						
			Operatore 2 Micro-TC Tipologia di frattura		Totale	Kappa di Cohen
			Completa	Incompleta		
Operatore 1 Micro-TC Tipologia di frattura	Completa	Conteggio	124	1	125	0,973822
		Conteggio previsto	105,4	19,6	125,0	
	Incompleta	Conteggio	0	22	22	
		Conteggio previsto	18,6	3,4	22,0	
Totale		Conteggio	124	23	147	
		Conteggio previsto	124,0	23,0	147,0	

Tabella IX

Per la *tipologia di frattura* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,9738 (*concordanza quasi perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 Micro-TC Numero di frammenti * Operatore 2 Micro-TC Numero di frammenti						
			Operatore 2 Micro-TC Numero di frammenti		Totale	Kappa di Cohen
			Singola	Comminuta		
Operatore 1 Micro-TC Numero di frammenti	Singola	Conteggio	109	3	112	0,9454545
		Conteggio previsto	83,0	29,0	112,0	
	Comminuta	Conteggio	0	35	35	
		Conteggio previsto	26,0	9,0	35,0	
Totale		Conteggio	109	38	147	
		Conteggio previsto	109,0	38,0	147,0	

Tabella X

Per il *numero di frammenti* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,9455 (*concordanza quasi perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 Micro-TC Direzione di frattura superficie esterna * Operatore 2 Micro-TC Direzione di frattura superficie esterna						
			Operatore 2 Micro-TC Direzione di frattura superficie esterna		Totale	Kappa di Cohen
			Obliqua	Trasversa		
Operatore 1 Micro-TC Direzione di frattura superficie esterna	Obliqua	Conteggio	118	1	119	0,8571429
		Conteggio previsto	109,0	10,0	119,0	
	Trasversa	Conteggio	2	10	12	
		Conteggio previsto	11,0	1,0	12,0	
Totale		Conteggio	120	11	131	
		Conteggio previsto	120,0	11,0	131,0	

Tabella XI

Per la *direzione di frattura sulla superficie esterna* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,8571 (*concordanza quasi perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 Micro-TC Direzione di frattura superficie interna * Operatore 2 Micro-TC Direzione di frattura superficie interna						
			Operatore 2 Micro-TC Direzione di frattura superficie interna		Totale	Kappa di Cohen
			Obliqua	Trasversa		
Operatore 1 Micro-TC Direzione di frattura superficie interna	Obliqua	Conteggio	113	4	117	0,7527473
		Conteggio previsto	99,3	17,7	117,0	
	Trasversa	Conteggio	5	17	22	
		Conteggio previsto	18,7	3,3	22,0	
Totale		Conteggio	118	21	139	
		Conteggio previsto	118,0	21,0	139,0	

Tabella XII

Per la *direzione di frattura sulla superficie interna* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,7527 (*concordanza sostanziale*).

Tavola di contingenza Operatore 1 Micro-TC Direzione di frattura superficie laterale * Operatore 2 Micro-TC Direzione di frattura superficie laterale						
			Operatore 2 Micro-TC Direzione di frattura superficie laterale		Totale	Kappa di Cohen
			Obliqua	Trasversa		
Operatore 1 Micro-TC Direzione di frattura superficie laterale	Obliqua	Conteggio	115	1	116	0,6969697
		Conteggio previsto	110,4	5,6	116,0	
	Trasversa	Conteggio	3	5	8	
		Conteggio previsto	7,6	0,4	8,0	
Totale		Conteggio	118	6	124	
		Conteggio previsto	118,0	6,0	124,0	

Tabella XIII

Per la *direzione di frattura sulla superficie laterale* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,6967 (*concordanza sostanziale*).

Tavola di contingenza Operatore 1 Micro-TC Margine esterno * Operatore 2 Micro-TC Margine esterno						
			Operatore 2 Micro-TC Margine esterno		Totale	Kappa di Cohen
			Liscio	Frastagliato		
Operatore 1 Micro-TC Margine esterno	Liscio	Conteggio	89	5	94	0,8689139
		Conteggio previsto	65,8	28,2	94,0	
	Frastagliato	Conteggio	2	34	36	
		Conteggio previsto	25,2	10,8	36,0	
Totale		Conteggio	91	39	130	
		Conteggio previsto	91,0	39,0	130,0	

Tabella XIV

Per il *margin* esterno il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,8689 (*concordanza quasi perfetta*).

Tavola di contingenza Operatore 1 Micro-TC Margine interno * Operatore 2 Micro-TC Margine interno						
			Operatore 2 Micro-TC Margine interno		Totale	Kappa di Cohen
			Liscio	Frastagliato		
Operatore 1 Micro-TC Margine interno	Liscio	Conteggio	111	5	116	0,832536
		Conteggio previsto	93,6	22,4	116,0	
	Frastagliato	Conteggio	2	22	24	
		Conteggio previsto	19,4	4,6	24,0	
Totale		Conteggio	113	27	140	
		Conteggio previsto	113,0	27,0	140,0	

Tabella XV

Per il *margin* interno il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,8325 (*concordanza quasi perfetta*).

4.5.2 TC e micro-TC vs frattografia

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi statistica svolta per definire l'accuratezza della TC in comparazione alla frattografia, nella valutazione delle diverse caratteristiche morfologiche di frattura (Tabelle XVI, XVII, XVIII, XIX, XX, XXI, XXII).

Tavola di contingenza TC Tipologia di frattura * Frattografia Tipologia di frattura								
			Frattografia Tipologia di frattura		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Completa	Incompleta				
TC Tipologia di frattura	Completa	Conteggio	115	8	123	<0,001	0,534883 7	0,8881119
		Conteggio previsto	105,8	17,2	123,0			
	Incompleta	Conteggio	8	12	20			
		Conteggio previsto	17,2	2,8	20,0			
Totale		Conteggio	123	20	143			
		Conteggio previsto	123,0	20,0	143,0			

Tabella XVI

Per la *tipologia di frattura*, il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,5349 (*concordanza moderata*), l'accuratezza è 0,8881.

Tavola di contingenza TC Numero di frammenti * Frattografia Numero di frammenti								
			Frattografia Numero di frammenti		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Singola	Comminuta				
TC Numero di frammenti	Singola	Conteggio	96	12	108	<0,001	0,6363 636	0,86014
		Conteggio previsto	78,5	29,5	108,0			
	Comminuta	Conteggio	8	27	35			
		Conteggio previsto	25,5	9,5	35,0			
Totale		Conteggio	104	39	143			
		Conteggio previsto	104,0	39,0	143,0			

Tabella XVII

Per il *numero di frammenti* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,6364 (*concordanza sostanziale*), l'accuratezza è 0,8601.

Tavola di contingenza TC Direzione di frattura superficie esterna * Frattografia Direzione di frattura superficie esterna								
			Frattografia Direzione di frattura superficie esterna		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Obliqua	Trasversa				
TC Direzione di frattura superficie esterna	Obliqua	Conteggio	108	4	112	<0,001	0,8747 168	0,9349593
		Conteggio previsto	102,0	10,0	112,0			
	Trasversa	Conteggio	4	7	11			
		Conteggio previsto	10,0	1,0	11,0			
Totale		Conteggio	112	11	123			
		Conteggio previsto	112,0	11,0	123,0			

Tabella XVIII

Per la *direzione di frattura sulla superficie esterna* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,8747 (*concordanza quasi perfetta*), l'accuratezza è 0,9350.

Tavola di contingenza TC Direzione di frattura superficie interna * Frattografia Direzione di frattura superficie interna								
			Frattografia Direzione di frattura superficie interna		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Obliqua	Trasversa				
TC Direzione di frattura superficie interna	Obliqua	Conteggio	112	3	115	<0,001	0,640522 9	0,9185185
		Conteggio previsto	102,2	12,8	115,0			
	Trasversa	Conteggio	8	12	20			
		Conteggio previsto	17,8	2,2	20,0			
Totale		Conteggio	120	15	135			
		Conteggio previsto	120,0	15,0	135,0			

Tabella XIX

Per la *direzione di frattura sulla superficie interna* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,6405 (*concordanza sostanziale*), l'accuratezza è 0,9185.

Tavola di contingenza TC Direzione di frattura superficie laterale * Frattografia Direzione di frattura superficie laterale								
			Frattografia Direzione di frattura superficie laterale		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Obliqua	Trasversa				
TC Direzione di frattura superficie laterale	Obliqua	Conteggio	105	0	105	<0,001	0,43548 39	0,9391304
		Conteggio previsto	102,3	2,7	105,0			
	Trasversa	Conteggio	7	3	10			
		Conteggio previsto	9,7	0,3	10,0			
Totale		Conteggio	112	3	115			
		Conteggio previsto	112,0	3,0	115,0			

Tabella XX

Per la *direzione di frattura sulla superficie laterale* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,4355 (*concordanza moderata*), l'accuratezza è 0,9391.

Tavola di contingenza TC Margine esterno * Frattografia Margine esterno								
			Frattografia Margine esterno		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Liscio	Frastagliato				
TC Margine esterno	Liscio	Conteggio	80	18	98	<0,001	0,543568 5	0,8211382
		Conteggio previsto	66,9	31,1	98,0			
	Frastagliato	Conteggio	4	21	25			
		Conteggio previsto	17,1	7,9	25,0			
Totale		Conteggio	84	39	123			
		Conteggio previsto	84,0	39,0	123,0			

Tabella XXI

Per il *margin* esterno il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,5436 (concordanza moderata), l'accuratezza è 0,8211.

Tavola di contingenza TC Margine interno * Frattografia Margine interno								
			Frattografia Margine interno		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Liscio	Frastagliato				
TC Margine interno	Liscio	Conteggio	102	11	113	<0,001	0,528795 8	0,8656716
		Conteggio previsto	91,9	21,1	113,0			
	Frastagliato	Conteggio	7	14	21			
		Conteggio previsto	17,1	3,9	21,0			
Totale		Conteggio	109	25	134			
		Conteggio previsto	109,0	25,0	134,0			

Tabella XXII

Per il *margin* interno il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,5288 (concordanza moderata), l'accuratezza è 0,8657.

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi statistica svolta per definire l'accuratezza della *micro-TC* in comparazione alla frattografia, nella valutazione delle diverse caratteristiche morfologiche di frattura (Tabelle XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX).

Tavola di contingenza Micro-TC Tipologia di frattura * Frattografia Tipologia di frattura								
			Frattografia Tipologia di frattura		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Completa	Incompleta				
Micro-TC Tipologia di frattura	Completa	Conteggio	124	1	125	<0,001	0,973822	0,9931973
		Conteggio previsto	105,4	19,6	125,0			
	Incompleta	Conteggio	0	22	22			
		Conteggio previsto	18,6	3,4	22,0			
Totale		Conteggio	124	23	147			
		Conteggio previsto	124,0	23,0	147,0			

Tabella XXIII

Per la *tipologia di frattura* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,9738 (*concordanza quasi perfetta*), l'accuratezza è 0,9932.

Tavola di contingenza Micro-TC Numero di frammenti * Frattografia Numero di frammenti								
			Frattografia Numero di frammenti		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Singola	Comminuta				
Micro-TC Numero di frammenti	Singola	Conteggio	106	6	112	<0,001	0,855596	0,9455782
		Conteggio previsto	82,3	29,7	112,0			
	Comminuta	Conteggio	2	33	35			
		Conteggio previsto	25,7	9,3	35,0			
Totale		Conteggio	108	39	147			
		Conteggio previsto	108,0	39,0	147,0			

Tabella XXIV

Per il *numero di frammenti* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,8556 (*concordanza quasi perfetta*), l'accuratezza è 0,9456.

Tavola di contingenza Micro-TC Direzione di frattura superficie esterna * Frattografia Direzione di frattura superficie esterna								
			Frattografia Direzione di frattura superficie esterna		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Obliqua	Trasversa				
Micro-TC Direzione di frattura superficie esterna	Obliqua	Conteggio	116	2	118	<0,001	0,7787611	0,9618321
		Conteggio previsto	107,2	10,8	118,0			
	Trasversa	Conteggio	3	10	13			
		Conteggio previsto	11,8	1,2	13,0			
Totale		Conteggio	119	12	131			
		Conteggio previsto	119,0	12,0	131,0			

Tabella XXV

Per la *direzione di frattura sulla superficie esterna* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,7788 (*concordanza sostanziale*), l'accuratezza è 0,9618.

Tavola di contingenza Micro-TC Direzione di frattura superficie interna * Frattografia Direzione di frattura superficie interna								
			Frattografia Direzione di frattura superficie interna		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Obliqua	Trasversa				
Micro-TC Direzione di frattura superficie interna	Obliqua	Conteggio	115	2	117	<0,001	0,674556 2	0,9214286
		Conteggio previsto	103,6	13,4	117,0			
	Trasversa	Conteggio	9	14	23			
		Conteggio previsto	20,4	2,6	23,0			
Totale		Conteggio	124	16	140			
		Conteggio previsto	124,0	16,0	140,0			

Tabella XXVI

Per la *direzione di frattura sulla superficie interna* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,6746 (*concordanza sostanziale*), l'accuratezza è 0,9214.

Tavola di contingenza Micro-TC Direzione di frattura superficie laterale * Frattografia Direzione di frattura superficie laterale								
			Frattografia Direzione di frattura superficie laterale		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Obliqua	Trasversa				
Micro-TC Direzione di frattura superficie laterale	Obliqua	Conteggio	119	0	119	<0,001	1	1
		Conteggio previsto	113,3	5,7	119,0			
	Trasversa	Conteggio	0	6	6			
		Conteggio previsto	5,7	0,3	6,0			
Totale		Conteggio	119	6	125			
		Conteggio previsto	119,0	6,0	125,0			

Tabella XXVII

Per la *direzione di frattura sulla superficie laterale* il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 1 (*concordanza perfetta*), così come l'accuratezza (1).

Tabella di contingenza Micro-TC Margine esterno* Frattografia Margine esterno								
			Frattografia Margine esterno		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Liscio	Frastagliato				
Micro-TC Margine esterno	Liscio	Conteggio	86	8	94	<0,001	0,76102 94	0,9007634
		Conteggio previsto	65,3	28,7	94,0			
	Frastagliato	Conteggio	5	32	37			
		Conteggio previsto	25,7	11,3	37,0			
Totale		Conteggio	91	40	131			
		Conteggio previsto	91,0	40,0	131,0			

Tabella XVIII

Per il *margin* esterno il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,7610 (*concordanza sostanziale*), l'accuratezza è 0,9008.

Tabella di contingenza Micro-TC Margine interno* Frattografia Margine interno								
			Frattografia Margine interno		Totale	p	Kappa di Cohen	Accuratezza
			Liscio	Frastagliato				
Micro-TC Margine interno	Liscio	Conteggio	110	5	115	<0,001	0,75609 76	0,9285714
		Conteggio previsto	94,5	20,5	115,0			
	Frastagliato	Conteggio	5	20	25			
		Conteggio previsto	20,5	4,5	25,0			
Totale		Conteggio	115	25	140			
		Conteggio previsto	115,0	25,0	140,0			

Tabella XXIX

Per il *margin* interno il coefficiente Kappa di Cohen calcolato è 0,7561 (*concordanza sostanziale*), l'accuratezza è 0,9286.

4.5.3 Fratture traumatiche vs Fratture iatrogene

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi statistica svolta per valutare l'associazione tra le caratteristiche morfologiche indagate e la tipologia di frattura costale (traumatica e iatrogena) (Tabelle XXX, XXXI, XXXII, XXXIII, XXXIV, XXXV, XXXVI, XXXVII, XXXVIII, XXXIX, XL, XLI, XLII, XLIII, XLIV, XLV).

Tavola di contingenza Tipologia di trauma * Tipologia di frattura						
			Tipologia di frattura		Totale	p
			Incompleta	Completa		
Tipologia di trauma	Trauma	Conteggio	22	125	147	<0,001
		Conteggio previsto	32,9	114,1	147,0	
	RCP	Conteggio	29	52	81	
		Conteggio previsto	18,1	62,9	81,0	
Totale		Conteggio	51	177	228	
		Conteggio previsto	51,0	177,0	228,0	

Tabella XXX

	Sensibilità	Specificità	VPP	VPN
Completa*Trauma	70,6%	56,9%	85,0%	35,8%
Completa*RCP	29,4%	43,1%	64,2%	15,0%
Incompleta*Trauma	43,1%	29,4%	15,0%	64,2%
Incompleta*RCP	56,9%	70,6%	35,8%	85,0%

Tabella XXXI

Per la variabile *tipologia di frattura completa* il VPP ottenuto è dell'85% per le fratture di tipo traumatico, tuttavia il VPN è del 35,8%; similmente per le fratture di tipo iatrogeno (RCP), con VPP del 64,2% e VPN del 15%.

Tavola di contingenza Tipologia di trauma * Numero di frammenti						
			Numero di frammenti		Totale	p
			Singola	Comminuta		
Tipologia di trauma	Trauma	Conteggio	112	35	147	<0,005
		Conteggio previsto	119,9	27,1	147,0	
	RCP	Conteggio	74	7	81	
		Conteggio previsto	66,1	14,9	81,0	
Totale		Conteggio	186	42	228	
		Conteggio previsto	186,0	42,0	228,0	

Tabella XXXII

	Sensibilità	Specificità	VPP	VPN
Singola*Trauma	60,2%	16,7%	76,2%	8,6%
Singola*RCP	39,8%	83,3%	91,4%	23,8%
Comminuta*Trauma	83,3%	39,8%	23,8%	91,4%
Comminuta*RCP	16,7%	60,2%	8,6%	76,2%

Tabella XXXIII

Per la variabile *numero di frammenti- frattura singola* il VPP ottenuto è del 76,2% per le fratture di tipo traumatico, tuttavia il VPN è dell'8,6%; similmente per le fratture di tipo iatrogeno, con VPP del 91,4% e VPN del 23,8%.

Tavola di contingenza Tipologia di trauma * Direzione frattura superficie esterna						
			Direzione frattura superficie esterna		Totale	p
			Obliqua	Trasversa		
Tipologia di trauma	Trauma	Conteggio	119	12	131	<0,025
		Conteggio previsto	114,3	16,7	131,0	
	RCP	Conteggio	45	12	57	
		Conteggio previsto	49,7	7,3	57,0	
Totale		Conteggio	164	24	188	
		Conteggio previsto	164,0	24,0	188,0	

Tabella XXXIV

	Sensibilità	Specificità	VPP	VPN
Obliqua*Trauma	72,6%	50,0%	90,8%	21,1%
Obliqua*RCP	27,4%	50,0%	78,9%	9,2%
Trasversa*Trauma	50,0%	27,4%	9,2%	78,9%
Trasversa*RCP	50,0%	72,6%	21,1%	90,8%

Tabella XXXV

Per la variabile *direzione di frattura obliqua sulla superficie esterna* il VPP ottenuto è del 90,8% per le fratture di tipo traumatico, tuttavia il VPN è del 21,1%; similmente per le fratture di tipo iatrogeno, con un VPP del 78,9% e un VPN del 9,2%.

Tavola di contingenza Tipologia di trauma * Direzione frattura superficie interna						
			Direzione frattura superficie interna		Totale	p
			Obliqua	Trasversa		
Tipologia di trauma	Trauma	Conteggio	118	23	141	<0,009
		Conteggio previsto	110,5	30,5	141,0	
	RCP	Conteggio	52	24	76	
		Conteggio previsto	59,5	16,5	76,0	
Totale		Conteggio	170	47	217	
		Conteggio previsto	170,0	47,0	217,0	

Tabella XXXVI

	Sensibilità	Specificità	VPP	VPN
Obliqua*Trauma	69,4%	51,1%	83,7%	31,6%
Obliqua*RCP	30,6%	48,9%	68,4%	16,3%
Trasversa*Trauma	48,9%	30,6%	16,3%	68,4%
Trasversa*RCP	51,1%	69,4%	31,6%	83,7%

Tabella XXXVII

Per la variabile *direzione di frattura obliqua sulla superficie interna* il VPP ottenuto è dell'83,7% per le fratture di tipo traumatico, tuttavia il VPN è del 31,6%; similmente per le fratture di tipo iatrogeno, con un VPP del 68,4% e un VPN del 16,3%.

Tavola di contingenza Tipologia di trauma * Direzione frattura superficie laterale						
			Direzione frattura superficie laterale		Totale	p
			Obliqua	Trasversa		
Tipologia di trauma	Trauma	Conteggio	119	6	125	<0,017
		Conteggio previsto	115,1	9,9	125,0	
	RCP	Conteggio	44	8	52	
		Conteggio previsto	47,9	4,1	52,0	
Totale		Conteggio	163	14	177	
		Conteggio previsto	163,0	14,0	177,0	

Tabella XXXVIII

	Sensibilità	Specificità	VPP	VPN
Obliqua*Trauma	73,0%	57,1%	95,2%	15,4%
Obliqua*RCP	27,0%	42,9%	84,6%	4,8%
Trasversa*Trauma	42,9%	27,0%	4,8%	84,6%
Trasversa*RCP	57,1%	73,0%	15,4%	95,2%

Tabella XXXIX

Per la variabile *direzione di frattura obliqua sulla superficie laterale* il VPP ottenuto è del 95,2% per le fratture di tipo traumatico, tuttavia il VPN è del 15,4%;

similmente per le fratture di tipo iatrogeno, con un VPP dell'84,6% e un VPN del 4,8%.

Tavola di contingenza Tipologia di trauma * Margine esterno						
			Margine esterno		Totale	p
			Liscio	Frastagiato		
Tipologia di trauma	Trauma	Conteggio	94	37	131	<0,001
		Conteggio previsto	70,4	60,6	131,0	
	RCP	Conteggio	7	50	57	
		Conteggio previsto	30,6	26,4	57,0	
Totale		Conteggio	101	87	188	
		Conteggio previsto	101,0	87,0	188,0	

Tabella XL

	Sensibilità	Specificità	VPP	VPN
Liscio*Trauma	93,1%	57,5%	71,8%	87,7%
Liscio*RCP	6,9%	42,5%	12,3%	28,2%
Frastagiato*Trauma	42,5%	6,9%	28,2%	12,3%
Frastagiato*RCP	57,5%	93,1%	87,7%	71,8%

Tabella XLI

Per la variabile *marginе esterno liscio* il VPP ottenuto è del 71,8% per le fratture di tipo traumatico, mentre per la variabile *marginе esterno frastagiato* il VPP è del 87,7% per le fratture di tipo iatrogeno (RCP).

Tavola di contingenza Tipologia di trauma * Margine interno						
			Margine interno		Totale	p
			Liscio	Frastagiato		
Tipologia di trauma	Trauma	Conteggio	116	25	141	<0,001
		Conteggio previsto	93,6	47,4	141,0	
	RCP	Conteggio	28	48	76	
		Conteggio previsto	50,4	25,6	76,0	
Totale		Conteggio	144	73	217	
		Conteggio previsto	144,0	73,0	217,0	

Tabella XLII

	Sensibilità	Specificità	VPP	VPN
Liscio*Trauma	80,6%	65,8%	82,3%	63,2%
Liscio*RCP	19,4%	34,2%	36,8%	17,7%
Frastagiato*Trauma	34,2%	19,4%	17,7%	36,8%
Frastagiato*RCP	65,8%	80,6%	63,2%	82,3%

Tabella XLIII

Per la variabile *marginе interno liscio* il VPP ottenuto è dell'82,3% per le fratture di tipo traumatico, mentre per la variabile *marginе interno frastagiato* il VPP è del 63,2% per le fratture di tipo iatrogeno (RCP).

Tavola di contingenza Tipologia di trauma * Margini						
			Margini		Totale	p
			Liscio	Frastagliato		
Tipologia di trauma	Trauma	Conteggio	98	49	147	<0,001
		Conteggio previsto	74,1	72,9	147,0	
	RCP	Conteggio	17	64	81	
		Conteggio previsto	40,9	40,1	81,0	
Totale		Conteggio	115	113	228	
		Conteggio previsto	115,0	113,0	228,0	

Tabella XLIV

	Sensibilità	Specificità	VPP	VPN
Liscio*Trauma	85,2%	56,6%	66,7%	79,0%
Liscio*RCP	14,8%	43,4%	21,0%	33,3%
Frastagliato*Trauma	43,4%	14,8%	33,3%	21,0%
Frastagliato*RCP	56,6%	85,2%	79,0%	66,7%

Tabella XLV

Considerando i margini esterno ed interno globalmente, per la variabile *margini lisci* il VPP ottenuto è del 66,7% per le fratture di tipo traumatico, mentre per la variabile *margini frastagliati* il VPP è del 79% per le fratture di tipo iatrogeno (RCP).



TC



Micro-TC



Frattografia

Figura 14: Frattura completa singola

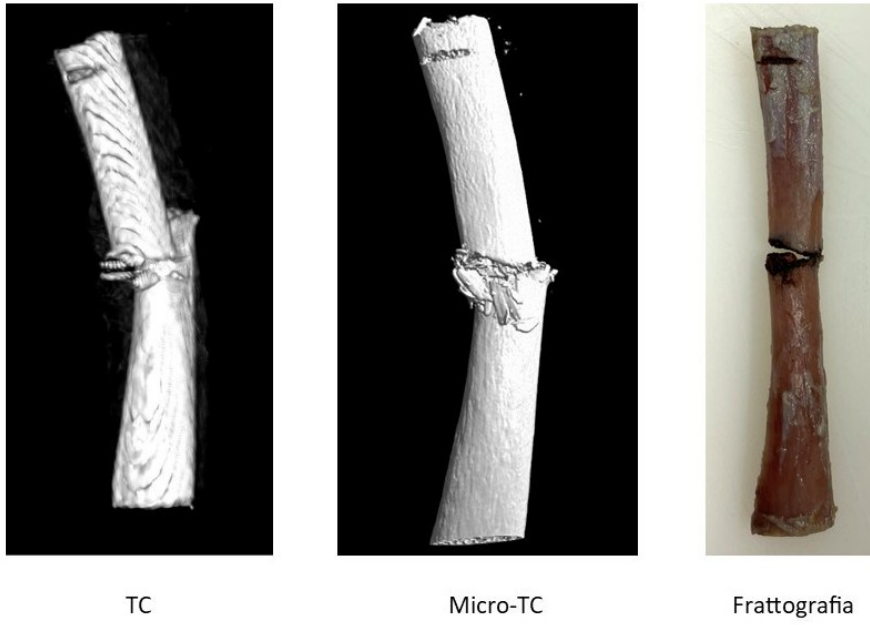


Figura 15: Frattura completa comminuta.

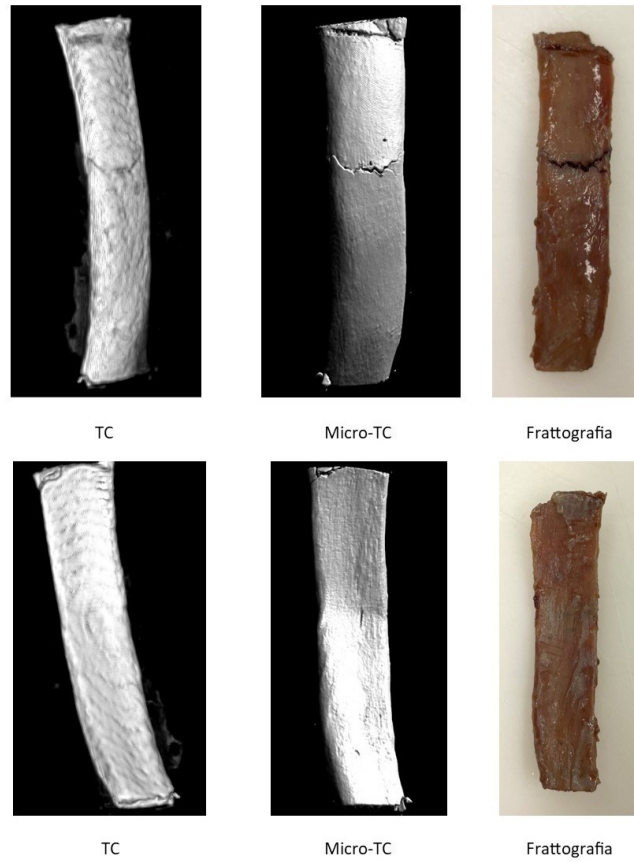
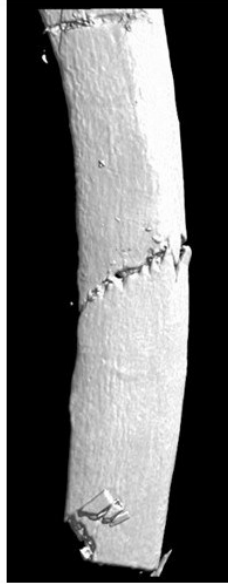


Figura 16: Frattura incompleta: superficie esterna (sopra), superficie interna (sotto)



TC

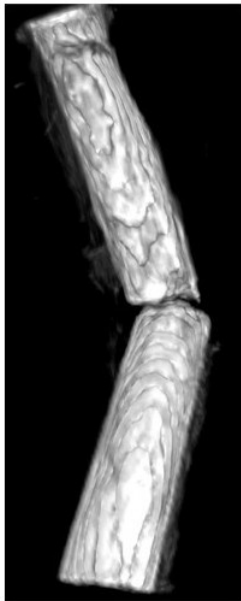


Micro-TC



Frattografia

Figura 17: Frattura obliqua



TC

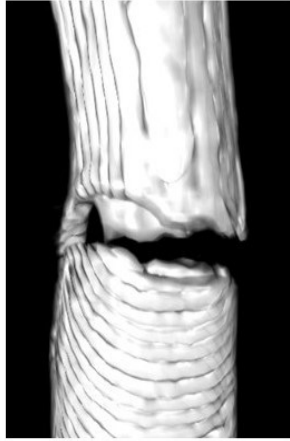


Micro-TC

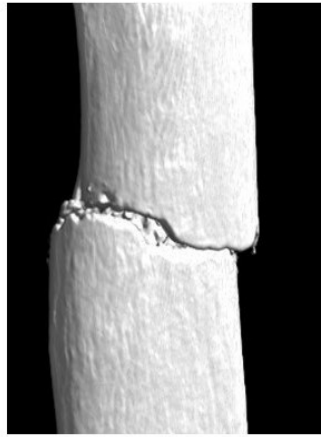


Frattografia

Figura 18: Frattura trasversa



TC

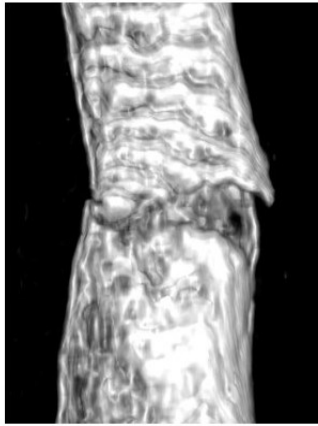


Micro-TC

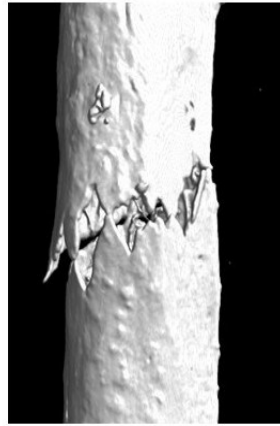


Frattografia

Figura 19: Margini lisci



TC



Micro-TC



Frattografia

Figura 20: Margini frastagliati

5.DISCUSSIONE

In ambito forense è importante distinguere il meccanismo di produzione delle fratture costali, che può essere di tipo traumatico, secondario ad eventi traumatici di diversa natura, o iatrogeno, secondario a manovre di rianimazione cardiopolmonare. In letteratura vi sono diversi studi (Bähr et al., 1894; Matti et al., 1931; Hädrich et al., 2012; Liebsch et al., 2019; Kissling et al., 2021) relativi alla valutazione di specifiche caratteristiche morfologiche di frattura, le stesse da noi analizzate, quali *tipologia* (completa o incompleta), *numero di frammenti* (singola o comminuta), *direzione della rima di frattura* (obliqua o trasversa) e aspetto dei *margini* (liscio o frastagliato), al fine di determinare quale sia il meccanismo lesivo implicato. A tale scopo, la metodica maggiormente utilizzata è la frattografia, tuttavia esistono anche metodiche di tipo radiologico, come la TC *multi-slice* e tecniche più innovative quali la micro-TC, per la quale però, allo stato attuale, non si dispone di sufficienti dati relativi ad un suo potenziale utilizzo nell'analisi di fratture costali *post-mortem*.

Nel presente studio si è cercato di identificare quelli che potrebbero essere i parametri morfologici di tipo qualitativo utilizzabili al fine di porre una corretta diagnosi differenziale tra le due tipologie di frattura costale (traumatica vs iatrogena), e se esiste una metodica diversa dall'attuale *gold standard* (frattografia), ma altrettanto valida, per perseguire tale scopo.

5.1 Analisi dei dati necroscopici

In merito alla localizzazione dei focolai fratturativi esaminati, è emerso come nel gruppo di fratture iatrogene questi fossero tutti situati in sede anteriore (62,96%) o anterolaterale (37,04%), a differenza del gruppo di fratture traumatiche in cui i focolai si collocavano anche nelle altre aree toraciche considerate (laterale, postero-laterale e posteriore). Tale dato è facilmente giustificabile in quanto le manovre di rianimazione cardiopolmonare si concentrano specificatamente nella regione sternale e parasternale; al contrario, gli eventi traumatici presentano una maggiore variabilità in relazione a dinamiche di diversa natura e intensità. Tali osservazioni risultano inoltre coerenti con i risultati ottenuti dal gruppo di Liebsch

(Liebsch et al., 2019) che aveva rilevato una prevalenza di distribuzione anterolaterale delle fratture costali da RCP e viceversa laterale e posterolaterale nelle fratture traumatiche.

Tuttavia, appare evidente come in un soggetto che subisca un trauma e venga successivamente sottoposto a manovre rianimatorie, la sola localizzazione topografica per le fratture in sede anteriore e anterolaterale non ne permetta di distinguere il meccanismo di produzione. Pertanto, risulta necessario prendere in considerazione altre caratteristiche di frattura, ovvero sia i parametri morfologici.

5.2 Analisi della variabilità inter-operatore

In primis si è proceduto a valutare la variabilità inter-operatore nell'analisi radiologica (TC) e micro-radiologica (micro-TC) di specifiche caratteristiche morfologiche di frattura costale di tipo traumatico. Sono stati infatti esaminati 147 focolai fratturativi prelevati in corso di accertamento necroscopico e derivanti da soggetti vittime di traumatismi toracici di diversa tipologia e, pertanto, ascrivibili al gruppo di fratture costali traumatiche.

A tale scopo, il calcolo della Kappa di Cohen ha permesso di valutare la forza della concordanza tra i due operatori, secondo la scala proposta da Landis e Koch (vedasi paragrafo 3.6.1).

Nello specifico, tutte le caratteristiche analizzate mediante TC hanno riportato valori di Kappa all'interno del range 0,81-1, evidenziando quindi una concordanza *quasi perfetta*, in particolare quest'ultima è risultata *perfetta* (Kappa=1) in due casi, ovvero *tipologia di frattura e numero di frammenti*. Pertanto, anche a fronte di una minor definizione della ricostruzione tridimensionale del campione dalle immagini acquisite con la TC, si è rilevata una minima variabilità interindividuale.

Per quanto riguarda la variabilità inter-operatore nell'indagine mediante micro-TC, anche in tal caso si è riscontrata una concordanza molto elevata tra i due operatori in tutte le caratteristiche morfologiche analizzate.

Sulla base dei valori ottenuti e delle concordanze nel complesso *quasi perfette*, si può quindi constatare una bassa variabilità inter-operatore nell'analisi delle suddette caratteristiche di frattura costale, sia mediante TC che micro-TC.

5.3 Analisi dell'accuratezza di TC e micro-TC vs frattografia

Il secondo obiettivo è stato definire l'accuratezza diagnostica delle due metodiche di imaging, TC e micro-TC, in comparazione alla frattografia, nell'analisi delle stesse caratteristiche morfologiche di frattura costale traumatica di cui sopra. Come riportato in Letteratura, infatti, la metodica principalmente utilizzata e pertanto *gold standard* nello studio di fratture costali *post-mortem* è la frattografia.

L'accuratezza della TC è risultata buona per la maggior parte dei parametri indagati. Tuttavia, il valore più basso è stato riscontrato nella valutazione dell'aspetto morfologico del *marginе esterno* (Accuratezza=82,11%), in quanto spesso non facilmente discriminabile tra *liscio* e *frastagliato*, in particolare per quest'ultimo la minor risoluzione dell'immagine non ha permesso di apprezzarne l'eventuale presenza di frastagliatura, classificando pertanto il margine come *liscio*, a differenza dell'analisi frattografica. Per le stesse motivazioni, un valore analogo è stato riscontrato nella valutazione del *marginе interno* (Accuratezza=86,57%).

La valutazione mediante micro-TC, invece, ha riportato valori di accuratezza superiori rispetto alla TC per tutte le caratteristiche morfologiche esaminate, fino a valori del 99,32 % per quanto riguarda la *tipologia di frattura* e del 100% per la *direzione di frattura sulla superficie laterale*.

Tali risultati concordano con quanto riportato in Letteratura e sono determinati dal fatto che la micro-TC fornisce una risoluzione spaziale molto maggiore rispetto alla TC, superandone i limiti di qualità e dettaglio dell'immagine (Rutty et al., 2013). Pertanto, l'elevata accuratezza della micro-TC la rende una valida metodica diagnostica, sovrapponibile alla frattografia nello studio delle fratture costali e, in particolare, delle caratteristiche di interesse ricercate.

Tuttavia, per quanto riguarda il parametro *sbucciature*, non è stata possibile la loro identificazione attraverso le metodiche di *imaging*. L'unica metodica in grado di apprezzarne la presenza rimane quella frattografica, che permette una visione diretta del campione e quindi dell'eventuale scollamento della superficie corticale.

5.4 Analisi di fratture costali traumatiche vs iatrogene

Alla luce dei risultati ottenuti relativi alla micro-TC, in particolare la minima variabilità interindividuale e l'elevata accuratezza in comparazione alla frattografia, tale metodica è stata scelta al fine di differenziare le due tipologie di meccanismo lesivo (traumatico e iatrogeno), in particolare selezionando i parametri morfologici potenzialmente utilizzabili a tale scopo. Sono stati presi in esame un totale di 228 focolai fratturativi, dei quali 147 di origine traumatica e 81 di origine iatrogena (RCP) e, per ciascun parametro morfologico analizzato, sono stati calcolati i valori di *sensibilità*, *specificità*, *valore predittivo positivo* e *valore predittivo negativo*.

Nello studio di Kissling *et al.*, condotto su fratture costali prodotte sperimentalmente su coste sane prelevate in sede autoptica al fine di distinguere i diversi meccanismi di impatto, sono state indagate diverse caratteristiche morfologiche, quali *orientamento della rima di frattura* (trasversa/obliqua), *aspetto dei bordi* (frastagliati/lisci) e *offset laterale*. Gli autori hanno osservato che le fratture indirette (da RCP) presentavano un orientamento trasverso o obliquo in proporzioni simili, un *offset* laterale maggiore e bordi esterni frastagliati e interni lisci, mentre le fratture dirette (da trauma) erano caratterizzate da rime di frattura prevalentemente trasverse, con bordi esterni lisci e interni frastagliati (Kissling *et al.*, 2021).

Nel nostro studio, a differenza di quello sopracitato, non sono stati utilizzati campioni di fratture prodotte sperimentalmente, bensì appartenenti a casi autoptici, sia per il gruppo di fratture traumatiche che per quello di rianimazione cardio-polmonare.

Dai risultati ottenuti per la *tipologia di frattura*, è stato rilevato un maggior numero di fratture costali *complete* in entrambi i gruppi, traumatiche e iatrogene, con un VPP rispettivamente dell'85% e del 64,2%, e, in particolare, si può notare una lieve prevalenza di fratture *incomplete* nel gruppo secondario a RCP (29 incomplete su 52 complete) rispetto a quello di origine traumatica (22 incomplete su 125), presumibilmente come conseguenza del minor impatto lesivo determinato dalle compressioni toraciche manuali effettuate in corso di RCP. Per quanto concerne il *numero di frammenti*, si sono riscontrate per la maggior parte

fratture *singole*, con un VPP rispettivamente di 76,2% per le fratture traumatiche e di 91,4% per quelle iatrogene. Similmente, VPP positivi più elevati sono stati rilevati per la direzione di frattura *obliqua* rispetto a quella *trasversa*, su tutte le superfici costali analizzate (esterna, interna, laterale) e per entrambe le tipologie di frattura.

Pertanto, sulla base dei valori ottenuti, i suddetti parametri non risultano sufficientemente validi ai fini della diagnosi differenziale delle due tipologie di frattura.

Per i *margini*, invece, considerati globalmente tra superficie esterna e interna, si è riscontrato un VPP del 66,7% per la variabile *liscio* nelle fratture di tipo traumatico e del 79% per la variabile *frastagliato* in quelle di tipo iatrogeno. Tali risultati si discostano solo parzialmente da quanto osservato da Kissling *et al.* nello studio di cui sopra, che riportava una prevalenza maggiore di margini esterni lisci ed interni frastagliati per le fratture traumatiche, viceversa esterni frastagliati e interni lisci per le fratture da RCP. Tale discordanza può essere verosimilmente spiegata dalla differenza tra i campioni ossei presi in esame nel nostro studio e in quello di Kissling *et al.*, rispettivamente fratture costali secondarie ad eventi traumatici reali e di diversa tipologia, e fratture prodotte meccanicamente in maniera standardizzata.

In generale, la maggior prevalenza di margini frastagliati per le fratture di tipo iatrogeno, indipendentemente dalla superficie costale considerata, può essere spiegata dal differente meccanismo di produzione della lesione, in particolare le manovre di rianimazione cardiopolmonare determinano un traumatismo ripetuto, di tipo compressivo e a bassa energia, applicato ad una precisa zona toracica, come da tipica procedura; le fratture di tipo traumatico, invece, derivano da impatti diretti e, solitamente, a energia più elevata, con conseguente frattura più "netta" e quindi con margini dall'aspetto liscio.

Pertanto, in relazione alle suddette considerazioni, il parametro potenzialmente utilizzabile nell'indagine mediante micro-TC per differenziare le due tipologie di frattura costale, traumatica e iatrogena, è rappresentato dall'aspetto dei *margini*.

5.5 Limiti e prospettive future

Un innegabile vantaggio della micro-TC è dato dalla non invasività e dalle diverse tempistiche di preparazione dei campioni: infatti, mentre la frattografia richiede un periodo di macerazione delle coste prima conservate in formalina e la successiva rimozione manuale dei tessuti molli, la micro-TC non necessita di tali processi ma solamente di un'iniziale rimozione più grossolana dei tessuti adiacenti alla superficie ossea, per rendere più efficace l'individuazione dei focolai di frattura in sede di selezione dei campioni da analizzare.

Tuttavia, nell'ottica di una possibile sistematica applicazione della micro-TC in ambito forense e non unicamente a livello sperimentale per la differenziazione di fratture costali traumatiche e iatrogene, sussistono oggettive limitazioni quali la ridotta disponibilità di macchinari e di personale adeguatamente formato al loro utilizzo, nonché gli elevati costi associati.

In riferimento alla differenziazione della natura traumatica o iatrogena delle fratture costali, non sono state prese in considerazione le possibili patologie ossee sottostanti o altre condizioni cliniche che possano aver condizionato l'aspetto morfologico dei pattern di frattura rilevati sia nel contesto di fratture secondarie a trauma che a RCP, non permettendo quindi una corretta discriminazione tra le due.

Pertanto, al fine di rendere maggiormente affidabile il ruolo dei *margini* di frattura come potenziale parametro di differenziazione diagnostica tra i due meccanismi lesivi in oggetto, si propone di analizzare quanto presentato prendendo in considerazione anche gli aspetti prettamente ascrivibili alle condizioni cliniche dei soggetti, mediante la stessa micro-TC che, come osservato, rappresenta una valida alternativa all'analisi frattografica.

6.CONCLUSIONI

Come riportato in Letteratura, le fratture costali rappresentano la tipologia più frequente di frattura traumatica riscontrata nel contesto di traumi toracici; pertanto, gli studi sviluppati in tale ambito rivestono un'elevata importanza in campo medico-legale. In particolare, è fondamentale discriminare le diverse tipologie di frattura per risalire al meccanismo di produzione responsabile delle stesse, distinguendo le fratture derivanti da eventi traumatici da quelle secondarie a manovre di rianimazione cardiopolmonare.

Il nostro studio ha voluto quindi identificare i possibili parametri morfologici applicabili alla diagnosi differenziale in oggetto, partendo dall'analisi di numerosi campioni prelevati in sede autoptica e distinti nei due gruppi di frattura (traumatica e iatrogena), attraverso diverse metodiche, TC, micro-TC e frattografia.

La minima variabilità inter-operatore riscontrata e l'elevata accuratezza rilevata all'indagine micro-TC in comparazione al *gold standard*, la frattografia, ha permesso di selezionare tale metodica radiologica innovativa come possibile applicazione nello studio differenziale suddetto, risultando molto promettente nell'analisi di precise caratteristiche morfologiche: in particolare, la descrizione dei *margini esterni* ed *interni* della rima di frattura si è rivelato un valido parametro di tipo qualitativo utile alla distinzione dei due meccanismi lesivi, ponendo le basi per una futura applicabilità in tale importante ambito.

BIBLIOGRAFIA

1. Bähr F: Ueber den Mechanismus der Rippenbrüche. Deutsche Zeitschrift für Chirurgie 1894; 39(3):251-280
2. Cecchetto G, Giraudo C, Amagliani A, Viel G, Fais P, Cavarzeran F, Feltrin G, Ferrara SD, Montisci M: Estimation of the firing distance through micro-CT analysis of gunshot wounds. Int. J. Legal Med 2011; 125: 245-251
3. Dunham C, Hileman B, Ransom K, Malik R: Trauma patient adverse outcomes are independently associated with rib cage fracture burden and severity of lung, head, and abdominal injuries. Int J Burns Trauma 2015; 5: 46-55
4. Filograna L: Elementi di radiologia forense. In: Itinerari di medicina legale e delle responsabilità in campo sanitario. Oliva A e Caputo M eds Giappichelli G Publ, Torino, 2020, pp 157-164
5. Gupta A, Jamshidi M, Rubin JR: Traumatic first rib fracture: is angiography necessary? A review of 730 cases. Cardiovasc. Surg. 1977; 5(1): 48-53
6. Hädrich C, Banaschak S, Dreßler J: Perimortale Artefakte. Rechtsmedizin 2012; 22(1): 17-23
7. Holdsworth DW, Thornton MM: Micro-CT in small animal and specimen imaging. Trends Biotechnol 2002; 20: 534-539
8. Kalender WA: Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image Quality Applications, Publicis Corporate Publishing, Erlangen, Germany, 2005
9. Kani KK, Mulcahy H, Porrino JA, Chew FS: Thoracic cage injuries. Eur J Radiol. 2019 Jan; 110: 225-232
10. Kim EY, Yang HJ, Sung YM, Cho SH, Kim JH, Kim HS, Choi HY: Multidetector CT findings of skeletal chest injuries secondary to cardiopulmonary resuscitation. Resuscitation 2011 Oct; 82(10): 1285-8
11. Kissling S, Hausmann R: Morphology of direct and indirect rib fractures. Int J Legal Med 2021 Jan; 135(1): 213-222
12. Klöss T, Püschel K, Wischhusen F, Welk I, Roewer N, Jungck E: Reanimationsverletzungen. AINS Anästhesiologie Intensivmedizin Notfallmedizin Schmerztherapie 1983; 18(04): 199-203
13. Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 1977 Mar; 33(1): 159-74

14. Lardi C, Egger C, Larribau R, Niquille M, Mangin P, Fracasso T: Traumatic injuries after mechanical cardiopulmonary resuscitation (LUCAS™2): a forensic autopsy study. *Int J Legal Med* 2015; 129(5): 1035-1042
15. Liebsch C, Seiffert T, Vlcek M, Beer M, Huber-Lang M, Wilke H-J: Patterns of serial rib fractures after blunt chest trauma: an analysis of 380 cases. *PLOS ONE* 19 dicembre 2019; 14(12): e0224105
16. Matti H: *Die Knochenbrüche und ihre Behandlung*. Springer, Heidelberg 1931
17. Ruhli FJ, Kuhn G, Evison R, Muller R, Schultz M: Diagnostic value of micro-CT in comparison with histology in the qualitative assessment of historical human skull bone pathologies, *Am. J. Phys. Anthropol.* 2007; 133: 1099-1111
18. Ruttly GN, Brough A, Biggs MJ, Robinson C, Lawes SD, Hainsworth SV: The role of micro-computed tomography in forensic investigations. *Forensic Sci Int.* 2013 Feb 10; 225(1-3): 60-6
19. Schulze C, Hoppe H, Schweitzer W, Schwendener N, Grabherr S, Jackowski C: Rib fractures at postmortem computed tomography (PMCT) validated against the autopsy. *Forensic Sci Int.* 2013 Dec 10; 233(1-3): 90-8
20. Senekjian L, Nirula R, Rib fracture fixation: indications and outcomes. *Crit. Care Clin.* 2017; 33(1): 153-165
21. Shorr R, Crittenden M, Indeck M, Hartunian S, Rodriguez A: Blunt thoracic trauma. Analysis of 515 patients. *Ann Surg.* 1987; 206: 200-205
22. Sirmali M, Tu"ru" t H, Topcu S, Gu"lhan E, Yazici U, Kaya S, et al: A comprehensive analysis of traumatic rib fractures: morbidity, mortality and management. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2003; 24: 133-138
23. Talbot BS, Gange CP Jr, Chaturvedi A, Klionsky N, Hobbs SK, Chaturvedi A: Traumatic rib injury: patterns, imaging pitfalls, complications, and treatment. *Radiographics* 2017; 37(2): 628-651
24. Thali MJ, Taubenreuther U, Karolczak M, Braun M, Brueschweiler W, Kalender WA, Dirnhofner R: Forensic microradiology: micro-computed tomography (Micro-CT) and analysis of patterned injuries inside of bone. *J. Forensic Sci.* 2003; 48: 1336-1342
25. Wullenweber R, Schenider V, Grumme T: A computer-tomographical examination of cranial bullet wounds. *Z. Rechtsmed* 1977; 80: 227-246

26. Yang KM, Lynch M, O'Donnell C: "Buckle" rib fracture: An artifact following cardio-pulmonary resuscitation detected on postmortem CT. *Leg. Med. (Tokyo)* 2011; 13(5): 233-239
27. Ziegler D, Agarwal N: The morbidity and mortality of rib fractures. *J Trauma* 1994; 37: 975-979