

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
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

FRATTURE COSTALI:
STUDIO COMPARATIVO
FRATTOGRAFICO-RADIOLOGICO

Relatore: **Prof. Giovanni Cecchetto**

Correlatore: **Dott. Simone Protani**

Laureanda: **Serena Lorenzo**

Anno accademico 2021/2022

INDICE

RIASSUNTO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUZIONE	3
1.1 FRATTURE COSTALI TRAUMATICHE IN MEDICINA LEGALE	3
1.2 CLASSIFICAZIONE E MORFOLOGIA DELLE FRATTURE COSTALI.....	3
1.3 FATTORI CONDIZIONANTI LE FRATTURE.....	7
1.4 LA FRATTOGRAFIA	8
2. SCOPO DELLO STUDIO	11
3. MATERIALI E METODI	12
3.1 CAMPIONE CASISTICO	12
3.2 RACCOLTA DEI DATI.....	12
3.3 PREPARAZIONE DEL CAMPIONE	14
3.4 ESAME MACROSCOPICO.....	14
3.5 TC	14
3.6 MICRO-TC.....	15
3.7 MACERAZIONE E FRATTOGRAFIA	16
3.8 CARATTERISTICHE DI FRATTURA RICERCATE.....	17
4.1 CAMPIONE CASISTICO	18
4.2 DATI EPIDEMIOLOGICI.....	18
4.3 DATI CLINICO-CIRCOSTANZIALI	18
4.4 DATI NECROSCOPICI.....	19
4.5 RISULTATI FRATTOGRAFIA.....	24
4.6 RISULTATI ANALISI MACROSCOPICA	25
4.7 RISULTATI TC	26
4.8 RISULTATI MICRO-TC	28
4.7 ANALISI STATISTICA	29
5. DISCUSSIONE	39
5.1 ANALISI DEI DATI EPIDEMIOLOGICI, CLINICO-CIRCOSTANZIALI E NECROSCOPICI ..	39
5.2 ANALISI DEI DATI DERIVANTI DALLE METODICHE DIAGNOSTICHE	40
5.3 LIMITI DELLO STUDIO E PROSPETTIVE FUTURE.....	43
6. CONCLUSIONI	45
BIBLIOGRAFIA	47

RIASSUNTO

Stato dell'arte: Le fratture costali sono un reperto comune in ambito medico-legale. L'analisi morfologica della frattura ha un ruolo cruciale nell'identificazione dei mezzi di produzione della lesione.

Scopo dello studio: Il presente studio si pone l'obiettivo di confrontare le potenzialità di alcune metodiche diagnostiche (ispezione macroscopica, TC e micro-TC), nell'identificazione di alcuni parametri morfologici, prendendo come metodo di riferimento l'analisi frattografica.

Materiali e metodi: Sono stati presi in esame 9 casi autoptici, dai quali sono stati ricavati 74 focolai fratturativi costali. Sono stati valutati dati epidemiologici, clinico-circostanziali e necroscopici. Relativamente alla morfologia delle fratture costali, ogni campione è stato analizzato mediante analisi macroscopica, TC, micro-TC e frattografica. Sono stati analizzati numero dei frammenti, tipologia di frattura, direzione della frattura, caratteristiche di margine interni ed esterni, off set e presenza di sbucciature, identificando per ogni parametro l'accuratezza diagnostica rispetto alla valutazione frattografica.

Risultati: Tra le metodiche diagnostiche utilizzate, la micro-TC ha presentato per tutti i parametri analizzati una accuratezza diagnostica superiore al 90%, ad eccezione del rilievo di "sbucciature". La TC ha presentato una accuratezza diagnostica superiore al 90% solamente per quanto attiene il numero di frammenti rilevati (fratture singole o comminute) e la tipologia di frattura (completa-incompleta). Viceversa, l'analisi macroscopica non ha mai fornito risultati soddisfacenti.

Conclusione: Lo studio ha permesso di dimostrare la elevata potenzialità diagnostica della micro-TC, rispetto alle altre metodiche diagnostiche, nell'identificazione dei parametri morfologici delle fratture costali solitamente rilevabili all'analisi frattografica, ovviando ai limiti della stessa quali le tempistiche necessarie per la macerazione e la conseguente alterazione tissutale.

ABSTRACT

Background: Rib fractures are a common forensic finding. The morphological analysis of the fracture is an important mean to understand the genesis of the injury.

Purpose of the study: This study aims to compare different diagnostic methods (macroscopic inspection, CT and micro-CT) to identify morphological parameters, taking the fractography as *gold standard* method.

Materials and methods: We have collected 74 rib fractures from 9 autopsy cases. Epidemiological, clinical-circumstantial and necropsy data were evaluated for each case. Regarding the morphology of rib fractures, the samples were evaluated through macroscopic, CT and micro-CT analyses. Number of fragments, type and direction of the fracture, internal and external margin features, off-set and presence of peeling were identified, estimating the diagnostic accuracy for each parameter compared to the fractographic evaluation.

Results: Among the diagnostic methods used, the micro-CT showed a diagnostic accuracy higher than 90% for all the analyzed parameters, with the exception of the detection of the "peeling". CT showed diagnostic accuracy greater than 90% only with regard to the number of fragments detected (single or comminuted fractures) and the type of fracture (complete-incomplete). On the contrary, macroscopic analysis has never provided satisfactory results.

Conclusions: The study demonstrates the high diagnostic potential of micro-CT, compared to other diagnostic methods in the identification of the morphological parameters of rib fractures generally detectable in the fractographic analysis, avoiding its limits such as the timing necessary for maceration and the consequent tissue alteration.

1. INTRODUZIONE

1.1 Fratture costali traumatiche in medicina legale

Le fratture costali rappresentano un reperto comune in ambito medico-legale, solitamente come conseguenza di traumatismi del torace.

Il trauma toracico può essere distinto secondo il tipo di lesione in contusivo o penetrante (1). I traumi contusivi rappresentano oltre il 90% dei traumi toracici, e sono comunemente secondari ad incidenti automobilistici (MVA), cadute dall'alto, lesioni da schiacciamento o esplosione mentre i traumi penetranti, caratterizzati da una ferita che mette in comunicazione il cavo pleurico con l'esterno, sono classicamente provocati dalle ferite da arma da fuoco o da arma bianca. Le fratture costali rappresentano le fratture traumatiche più frequenti, osservandosi in circa il 10-20% dei casi, ed in particolar modo, con un'incidenza del 60-80%, nei traumi toracici contusivi (2).

In aggiunta, circa il 60% dei soggetti politraumatizzati presenta un trauma toracico, con una mortalità del 20%-25% (1,3).

I traumi toraci, e le fratture costali ad esso spesso associate, oltre ad essere particolarmente frequenti, risultano infatti gravati da un'alta mortalità, ancor più per i traumi toracici penetranti (4). Nei traumatismi contusivi, invece, la mortalità sembra dipendere dall'età del soggetto coinvolto, dal numero di fratture costali e dalle lesioni toraciche associate (3,5,6).

Tra queste ultime si includono emotorace, pneumotorace, ematoma extrapleurico, contusione polmonare, danno vascolare acuto e danno d'organo addominale interessando dunque anche fegato, reni e milza (6).

1.2 Classificazione e morfologia delle fratture costali

Secondo il substrato osseo nel quale si sviluppano, le fratture costali possono essere distinte in fratture traumatiche e patologiche. Le fratture traumatiche si verificano in conseguenza di un trauma esterno dotato di un'intensità tale da generare la rottura di un segmento osseo sano. Viceversa, le fratture patologiche occorrono su un tessuto osseo già gravato da patologie strutturali per cui, anche traumatismi di lieve entità, altrimenti insufficienti a generare una frattura, risultano in grado di vincere la resistenza ossea. Le malattie alla base delle fratture patologiche sono varie e includono demineralizzazione, diminuzione della massa ossea, riassorbimento

osseo anomalo, rimodellamento atipico e distruzione ossea dovuta a processi benigni, maligni o infettivi (6).

Dal punto di vista **morfologico**, numerose sono le caratteristiche che consentono di distinguere le fratture costali considerando, ad esempio, l'interessamento della corticale, il numero dei frammenti generati, i *pattern* di presentazione, l'eventuale spostamento dei monconi di frattura e la loro esposizione esterna.

Si parla di fratture complete quando la lesione interessa a tutto spessore entrambi gli strati corticali, mentre di fratture incomplete quando la frattura presenta unicamente l'interruzione di uno strato corticale, interno o esterno (7). Nel caso in cui siano presenti più di due fratture complete sulla medesima costa, si sviluppa la cosiddetta frattura segmentale: in questa situazione i monconi possono rimanere allineati mantenendo la conformazione anatomica, oppure parzialmente o significativamente disallineati. Le fratture costali segmentali, che interessano tre o più livelli costali contigui, sono associate ad un aumentato rischio di volet costale e pertanto risultano potenzialmente letali (6).

Le fratture vengono definite composte, quando conservano la loro posizione anatomica, mentre saranno scomposte nel caso in cui si verifica una dislocazione, anche minima, dei monconi ossei (7) (Figura 1).

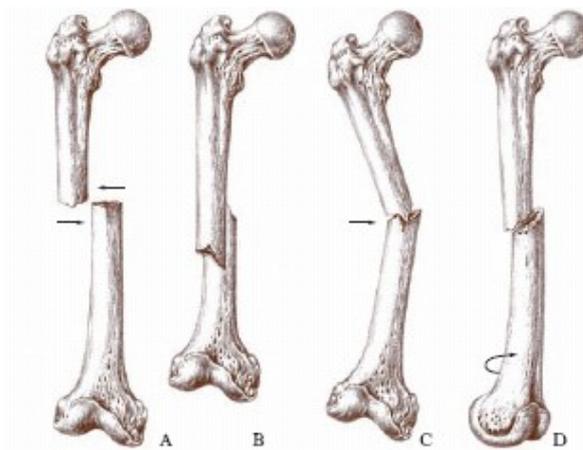


Figura 1: Fratture scomposte

Inoltre, in base alla presenza o meno di infiltrati emorragici peri-fratturativi, le fratture saranno infiltrate o non infiltrate.

La frattura viene detta invece semplice, se interessa solo il tessuto osseo, mentre complicata se provoca un danno alle strutture circostanti (vasi, nervi);

Una frattura è instabile se esistono forze deformanti, come ad esempio la forza muscolare, che fanno assumere ai monconi ossei una posizione errata impedendone il contatto reciproco, alternativamente si definirà stabile.

Le fratture sono definite chiuse, quando le strutture ossee non comunicano con l'esterno, ed esposte, se vi è lacerazione dei tessuti ed esposizione dell'osso.

In base al numero dei frammenti generati si contraddistinguono fratture singole, con due unici monconi, e fratture pluriframmentarie o comminute (Figura 2) qualora si generino più frammenti ossei.



Figura 2: Frattura pluriframmentaria

Le coste poi, a seconda della direzione della rima di frattura, possono presentare diversi *pattern* fratturativi, ovvero distinguendo fratture trasversali, longitudinali, oblique, spiroidi, a farfalla, *buckle* e *buckle* inverse.

- Le fratture trasversali presentano una rima di frattura perpendicolare all'asse longitudinale dell'osso (Figura 3A).
- le fratture longitudinali hanno una linea di frattura parallela all'asse maggiore della costa.
- le fratture costali oblique presentano una rima di frattura che attraversa l'asse maggiore dell'osso in maniera obliqua (Figura 3B).
- Le fratture spiroidi si caratterizzano per delineare un decorso a spirale lungo il segmento osseo (Figura 3C).
- le fratture costali "a farfalla" presentano una linea di frattura che comincia trasversale e poi termina sulla superficie opposta con due elementi lineari obliqui (Figura 3D).

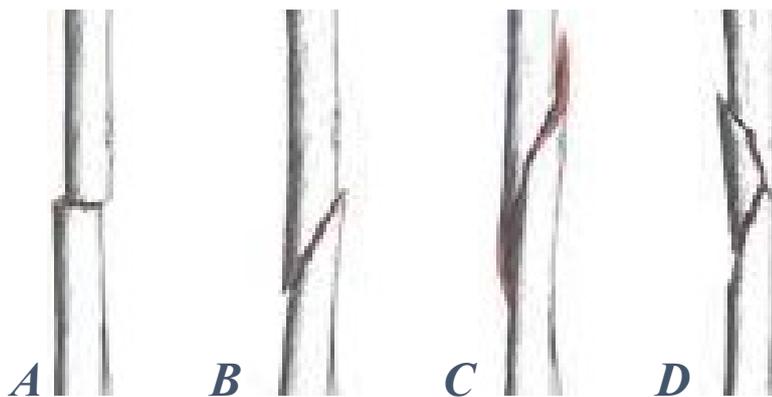


Figura 3, A: Frattura trasversa; B: frattura obliqua;
C: frattura spiroide D: frattura a farfalla

- le fratture buckle sono delle particolari fratture incomplete che possono verificarsi nelle coste per via della loro elasticità, particolarmente descritte nelle fratture costali da rianimazione cardiopolmonare (RCP). Queste si caratterizzano dalla introflessione della corticale interna in assenza di frattura nella corticale esterna, viceversa le fratture buckle inverse dimostrano morfologia opposta, ovvero flessura della corticale esterna senza interessare la corticale interna (Figura 4) (8).

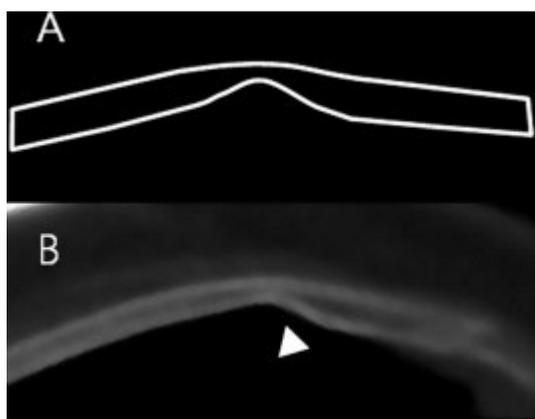


Figura 4, A: Frattura buckle disegnata; B: frattura buckle in TC, la freccia indica il punto di introflessione.

È necessario classificare le fratture costali anche in base alla loro precisa localizzazione a livello toracico, ed in letteratura sono descritti due principali modelli topografici:

- Il primo modello prevede la distinzione topografica della gabbia toracica utilizzando la delimitazione definita dalle linee parasternale, ascellare anteriore, ascellare posteriore e paravertebrale. In questo modo la gabbia toracica risulta

suddivisa in tre aree: anteriore, laterale e posteriore (9,10). In alternativa, l'identificazione delle tre aree può essere effettuata tramite la divisione in terzi della lunghezza costale in esame (8).

- Il secondo modello, considerando anche le linee emiclaveare ed angoloscapolare, aggiunge, rispetto alle tre aree sopracitate, le porzioni anterolaterale e posterolaterale (11). In alternativa, la suddivisione in aree può essere effettuata radiologicamente identificando, da sezioni ricavate sul piano trasversale, cinque settori circolari di angolo pari a circa 36° (2).

1.3 Fattori condizionanti le fratture

Numerosi sono gli studi in letteratura volti ad identificare gli elementi distintivi delle fratture costali con l'intento di suggerirne fattori predisponenti o suggestivi della dinamica della loro genesi.

Liebsch *et al.* (12) in un recente studio hanno esplorato i potenziali determinanti della fragilità costale in soggetti anziani. Sono stati esaminati vari parametri durante la compressione antero-posteriore eseguita su 89 coste sane, fino a quando non è sopraggiunta la frattura. È emerso che la fragilità costale, dipenda maggiormente dallo spessore corticale ridotto e dalla densità minerale e in misura minore dal livello costale. Viceversa, il sesso ed il lato della gabbia toracica non sono risultati significativi.

Nel complesso, i coefficienti di correlazione dei singoli parametri erano relativamente bassi, indicando potenzialmente una loro dipendenza reciproca. Pertanto, è stato presupposto che non vi sia un determinante definito della fragilità costale, ma ci siano, invece, una combinazione di diversi fattori, pur con pesi diversi.

Un altro studio (2) ha invece riportato le sedi più a rischio di frattura costale, esaminando reperti derivanti sia dai traumi che da rianimazione cardio-polmonare (RCP). In generale, le coste dalla quarta alla settima hanno concentrato il maggior numero di fratture, ipotizzando come la distribuzione delle lesioni possa dipendere dalla lunghezza delle coste, costituendo queste ultime le coste con maggiore estensione. Gli autori suppongono pertanto che la loro lunghezza sia il fattore che le esponga ad una maggiore sollecitazione meccanica e di conseguenza ad un maggior rischio di frattura. In aggiunta, è stata descritta una maggiore presenza di

fratture trasversali più cranialmente ed anteriormente rispetto alle fratture oblique, presumibilmente per via della posizione più orizzontale delle coste superiori rispetto a quelle inferiori. Nello specifico, le fratture da trauma sono state rilevate in zona laterale e postero-laterale a seconda della dinamica: ad esempio, nei traumi ad elevata energia, come le precipitazioni da altezze elevate, si sono riscontrate perlopiù fratture multiframmentate in sede posterolaterale. Diversamente, le fratture causate da RCP, prevalentemente composte, sono state evidenziate maggiormente in sede anterolaterale.

1.4 La frattografia

L'autopsia è considerata l'indagine *gold standard* per chiarire la causa della morte e stabilire il nesso causale fra il trauma ed il decesso (13). L'esame microscopico, viceversa, rappresenta la metodica più accurata per valutare le lesioni ossee consentendo di datare con precisione le fratture perfino nelle prime fasi di guarigione. Pur rappresentando una metodica altamente sensibile però, l'indagine istologica delle fratture costali rimane una tecnica difficilmente applicabile in maniera routinaria, giacché laboriosa, distruttiva (con inevitabile perdita di materiale), e priva di contenuto 3D (particolarmente utile nell'ambito forense al fine di ricostruire in maniera più semplice e chiara il meccanismo di produzione delle lesioni, la dinamica o la corrispondenza tra lesività interne ed esterne) (14,15). Per questo, nel tempo, altre metodiche si sono contraddistinte ai fini dell'indagine forense, come l'analisi macroscopica attraverso la frattografia, che permette di esaminare ed investigare, utilizzando microscopi ottici ed elettronici a scansione (SEM), la morfologia che si è generata sulla superficie di rottura durante il danneggiamento.

È un metodo consolidato e convalidato nello studio dei materiali per indagarne le proprietà e comprendere i meccanismi di cedimento, ed ha successivamente trovato spazio anche nell'analisi forense, integrandosi agli approcci tradizionali, per valutare ed interpretare i modelli di frattura scheletrica ed il tipo di trauma. La frattografia consente infatti di studiare direttamente la morfologia della frattura a livello della superficie ossea e la sua relazione con la direzione dell'impatto, risultando affidabile e poco costosa.

I parametri morfologici sono stati presi come riferimento da Kissling *et al.* (16) per differenziare le fratture costali traumatiche da quelle associate a RCP sono stati: **orientamento della linea di frattura (dritta/obliqua), aspetto dei bordi di frattura (frastagliati/lisci) e offset laterale**, ovvero la distanza fra il punto di frattura localizzato a livello della superficie interna e quello rilevabile sulla superficie esterna, valutata sul piano trasversale ed espressa in millimetri

La frattografia, inoltre, sempre attraverso il rilevamento di alcuni parametri morfologici, può aiutare a determinare il momento in cui un trauma scheletrico è occorso, ovvero se questo si sia verificato in epoca *perimortem* o *post mortem*.

A tal proposito, Scheirs *et al.* hanno condotto uno studio (17) su coste fratturate, comparando fratture costali rilevate in corso di autopsia, derivanti da diverse circostanze (incidenti stradali e ferroviari, cadute e manovre di RCP), con fratture costali riprodotte sperimentalmente su 30 coste sane, dalla quarta alla sesta, sia di tipo *fresh* che *dry*. L'osservazione macroscopica, era finalizzata all'identificazione di alcuni parametri quali:

- **le fratture incomplete;**
- **i differenti bordi di frattura tra superfici interna ed esterna;**
- **le sbucciature (peels):** fratture caratterizzate dalla stratificazione della corteccia, con permanenza su un moncone dello strato superficiale, ovvero la "buccia", e sull'altro moncone la restante parte corticale (Figura 5);



Figura 5: Frattura con sbucciatura. La freccia indica la "buccia", ovvero la parte superficiale della corticale che si è distaccata dalla restante parte.

- **le pieghe (folds):** introflessione vicino la frattura (Figura 6);



Figura 6: Frattura con piega. Le frecce indicano la zona piegata.

- **le linee longitudinali:** linee che seguono l'asse osseo, prevalentemente localizzate sul lato pleurico (Figura 7);



Figura 7: Frattura con linea longitudinale, indicata dalle frecce.

In conclusione, la frattografia permette un'attenta analisi morfologica, tuttavia questa metodica necessita, prima della diretta valutazione della superficie, della preparazione del campione, ovvero dell'isolamento dell'osso dai tessuti circostanti. Sebbene esistano numerosi metodi che possano essere utilizzati per rimuovere i tessuti molli ed esporre la superficie dell'osso fratturato, ciò potrebbe non essere pratico in alcuni casi, comportando certamente un aumento dei tempi di indagine (18).

2. SCOPO DELLO STUDIO

Pur essendo presenti in Letteratura numerosi studi che, al variare dell'entità del trauma, identificano la sede topografica maggiormente interessata da una frattura costale, manca una solida trattatistica sulle caratteristiche morfologiche delle fratture costali utili all'identificazione di parametri suggestivi di un trauma e nessuno studio ha ancora saggiato, a tal proposito, le potenzialità di una metodica in auge in ambito forense, quale la micro-TC.

Allo stato attuale, il metodo *gold standard* per lo studio delle fratture è l'analisi frattografica, ovvero l'analisi in stereo-microscopia dei monconi ossei, al fine di individuare le caratteristiche morfologiche di superficie utili all'identificazione dei mezzi di produzione.

In alternativa, lo studio delle fratture può essere eseguito direttamente in sede di esame autoptico o mediante esami radiologici, quali l'esame TC del distretto toracico cadaverico.

La micro-TC invece, è una metodica emergente nel rilevamento delle lesioni scheletriche in quanto in grado di fornire immagini digitali tridimensionali con elevata risoluzione spaziale, tali da determinare la microstruttura trabecolare e consentire di individuare eventuali microtraumatismi, con lo stesso livello di dettaglio dell'esame istologico, senza però la necessità di dissezione tissutale.

I campi di utilizzo forense della micro-TC in relazione al tessuto osseo sono molteplici, tra cui valutare l'età del cadavere, determinare la tempistica della lesione in relazione alla morte, analizzare le lesioni sia da arma bianca che da arma da fuoco, ricostruire specifici dettagli anatomici, descrivere eventuali patologie ossee presenti e riconoscere alcuni dettagli tipici della guarigione (19–21).

Ad oggi, invece, sussiste una carenza di studi mediante strumenti ad alta risoluzione che valutino la morfologia di fratture costali.

Pertanto, scopo dello studio analizzare fratture costali prelevate in sede autoptica mediante analisi macroscopica, radiologica e micro-radiologica, al fine di identificare i parametri morfologici usualmente rilevati all'analisi frattografica, valutandone l'accuratezza diagnostica.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Campione casistico

La casistica presa in esame nel suddetto lavoro è stata ricavata dalle indagini autoptiche effettuate nelle Sedi di Medicina Legale di Padova e Bologna, tra il periodo di febbraio 2020 e febbraio 2022.

Sono stati **inclusi** nello studio tutti i casi di decessi avvenuti immediatamente dopo un trauma di natura violenta.

Sono stati **esclusi** dallo studio, invece, le lesioni costali presenti nella popolazione pediatrica e quelli potenzialmente associabili a manovre iatrogene, come la rianimazione cardio-polmonare e/o in seguito ad interventi chirurgici.

3.2 Raccolta dei dati

Per ogni caso sono stati raccolti dati epidemiologici, clinico-circostanziali e necroscopici. Tutti i contenuti sono stati inseriti in un database creato attraverso il software Microsoft Excel®.

I dati epidemiologici analizzati sono stati il **sex** (maschio/femmina) e l'**età**. Quest'ultima è stata suddivisa in 4 classi, ovvero 18-40 anni, 41-60 anni, 61-80 anni e >81 anni (Tabella I).

Dati epidemiologici	
Sesso	Maschio
	Femmina
Età	18-40
	41-60
	61-80
	>81

Tabella I: Dati epidemiologici

Invece, per quanto riguarda i **dati clinico-circostanziali** è stata approfondita sia la **dinamica dell'evento traumatico** che ha generato la lesione ossea (aggressione, precipitazione, caduta dalle scale, incidente stradale, etc) che l'eventuale presenza di **patologia sottostante** (presenza/assenza) associabile ad un deterioramento del tessuto osseo (Tabella II).

Dati clinico-circostanziali	
Evento traumatico	Condizioni patologiche sottostanti

Tabella II: Dati clinico-circostanziali

Sono stati inoltre considerati i **dati necroscopici** in merito alla **causa di morte**, l'eventuale **presenza di lesioni toraciche esterne** (ecchimosi ed escoriazioni) e **lesioni toraciche interne** (frattura sternale, contusione o lacerazione polmonare, emotorace, pneumotorace, emopericardio, lacerazione pericardica, lacerazione miocardica e lacerazioni aortiche), nonché le informazioni relative alle **fratture costali** come il **numero** totale di coste fratturate e dei **focolai** di frattura, la **distinzione tra i due emitoraci**, la **localizzazione** (seguendo il modello di Schulze *et al.* (11) si sono ricavate 5 aree, ovvero l'area anteriore, l'area anterolaterale, l'area laterale, l'area posterolaterale e l'area posteriore grazie all'utilizzo della linea parasternale, emiclaveare, ascellare anteriore, ascellare posteriore, angolo-scapolare e paravertebrale) ed infine l'eventuale **scomposizione** dei monconi di frattura e la possibile presenza di **infiltrazione** nei tessuti molli circostanti la lesione (Tabella III).

Dati necroscopici	
Causa di morte	
Lesività toraciche esterne	Presenza di ecchimosi
	Presenza di escoriazioni
	Presenza di ecchimosi ed escoriazioni
	Assenza di lesività toraciche esterne
Lesività toraciche interne	
Fratture costali	Numero coste fratturate
	Numero focolai di frattura
	Distribuzione in emitorace
	Localizzazione della frattura
	Allineamento
	Infiltrazione

Tabella III: Dati necroscopici

3.3 Preparazione del campione

Ogni costa fratturata è stata isolata mediante un costotomo formando campioni ossei con una dimensione massima di 7 cm ed incidendo attraverso un seghetto a mano la superficie esterna verso l'estremità più prossimale alla colonna vertebrale, ottenendo un punto di repere per identificare il lato della superficie e permettere il giusto orientamento (Figura 8).

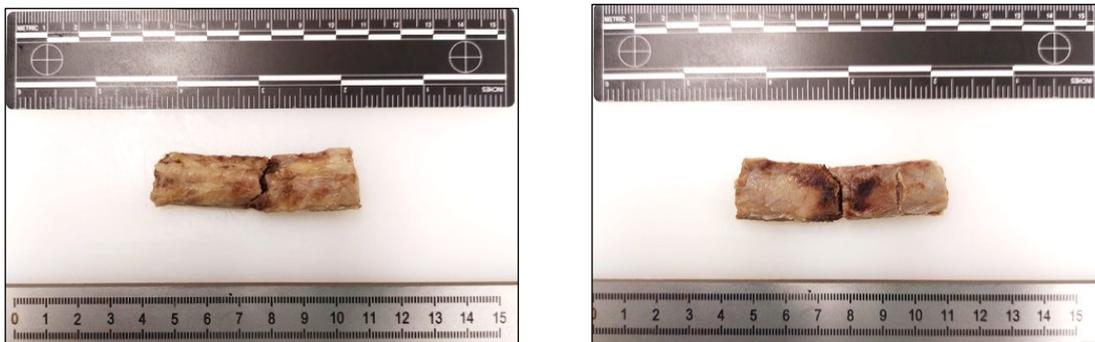


Figura 8: Esempio di campione preparato: a sinistra la costa vista dall'interno, a destra la costa vista dall'esterno.

Ogni campione è stato fotografato e posto in formalina in un barattolo ermetico con codice identificativo.

Successivamente sono stati analizzati macroscopicamente, scansionati in TC e micro-TC e, previa macerazione, valutati mediante ingrandimento ottico (frattografia).

3.4 Esame macroscopico

I campioni sono stati valutati macroscopicamente e fotografati anteriormente e posteriormente, descrivendo l'eventuale presenza di infiltrazione, scomposizione ed altre caratteristiche eventualmente rilevabili.

3.5 TC

E' stata utilizzata una TC multi-slice (siemens somatom sensation MSV-128 strati) locata presso la UOC di Radiologia dell'AOPD con la seguente configurazione:

- voltaggio 100 KV;
- intensità 200 mAs;
- spessore strato 0.5 mm.

Sul letto della TC sono state posizionate delle lastre di polistirolo ricoperte con teli sterili su cui sono state adagiate le coste, ognuna identificata con apposita etichetta

(Figura 9). Dopo l'acquisizione delle immagini, le coste sono state valutate individualmente con *volume rendering* utilizzando il software Horos®.



Figura 9: Disposizione delle coste durante la TC.

3.6 Micro-TC

È stata utilizzata una micro-TC ad alta risoluzione (Skyscan 1275, Bruker, Kontich, Belgio) (figura 10) presente nel Dipartimento di Medicina dell'Università di Padova, avente le seguenti caratteristiche:

- 15,7 micron image pixel size;
- 83 Kv;
- 120 mA;
- Exposure 6413ms;
- Rotation step 0.7°;
- Frame averaging 2;
- 1280 x 1024 pixel Field of view.

Le immagini sono state ricostruite mediante il software CTVox.



Figura 10: Micro-TC

3.7 Macerazione e frattografia

Dopo il rilevamento radiologico è stato svolto il processo di macerazione. Questo ha previsto la rimozione delle coste dalla formalina e l'inserimento delle stesse in barattoli contenente acqua. Periodicamente l'acqua è stata cambiata ed alcuni frammenti tessutali, che a seguito del processo di macerazione risultavano asportabili, sono stati rimossi meccanicamente. Il processo è durato 12 giorni fino a quando non sono state ottenute le coste scheletrate, cioè prive di tutti gli elementi non ossei. Infine, è stata svolta l'analisi frattografica presso il Dipartimento di Medicina Legale di Padova, mediante l'utilizzo di lente di ingrandimento 3x e 45x e microscopio digitale ADSM301 (Andonstar Technology Co.) ed elaborate grazie al software Microscope Measure (Figura 11).



*Figura 11: A sinistra, lente di ingrandimento dotata di luce Led.
A destra, microscopio digitale ADSM301 Andonstar Technology Co*

3.8 Caratteristiche di frattura ricercate

In accordo alla letteratura scientifica, in tema di analisi frattografica delle fratture costali, su ogni campione e per ogni tipologia di indagine, sono state valutate le seguenti caratteristiche:

- 1) Tipologia di frattura (completa/ incompleta);
- 2) numero di frammenti (semplice, pluriframmentata);
- 3) direzione della frattura (trasversa, obliqua o farfalla);
- 4) margine esterno di frattura (liscio o frastagliato);
- 5) margine interno di frattura (liscio o frastagliato);
- 6) *offset* laterale;
- 7) sbucciature.

I risultati sono stati inseriti in un'apposita tabella creata con Microsoft Excel®, valutando veri positivi, veri negativi, falsi positivi e falsi negativi, e calcolando per ogni parametro analizzato macroscopicamente, in TC e micro-TC, **l'accuratezza**, assumendo come valore di riferimento l'analisi frattografica.

4. RISULTATI

4.1 Campione casistico

Sono stati inclusi nello studio 9 casi autoptici. Da questi, sono stati ricavati 74 campioni di coste fratturate.

4.2 Dati epidemiologici

Il sesso dei casi è stato pressoché equivalente, 5 per il *Sesso maschile* e 4 per il *Sesso femminile* (Grafico 1).

Mentre per quanto riguarda **l'età**, la classe prevalente è stata quella *18-40 anni*, che ha rappresentato il 44 % dei casi (n=4), segue la classe *61-80 anni* con 3 casi, mentre 2 casi per la classe *>80 anni*. Nessuno invece è rientrato nella categoria *41-60 anni* (Grafico 2).

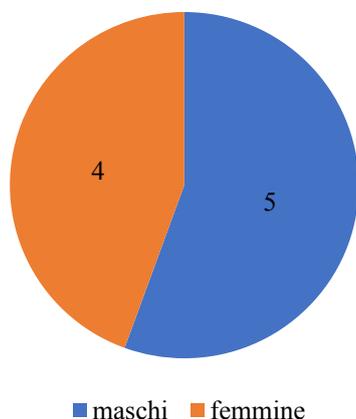


Grafico 1: Distribuzione per sesso

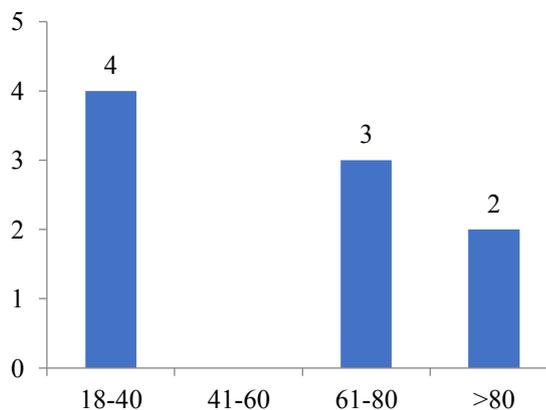


Grafico 2: Distribuzione per età

4.3 Dati clinico-circostanziali

Tra le **condizioni patologiche sottostanti** associabili ad un deterioramento osseo in grado di favorire il processo di fratturazione, si è rilevata soltanto la presenza di *osteoporosi* (n=2).

Mentre gli **eventi traumatici** che hanno provocato le fratture costali sono stati di vario genere: *incidenti stradali* (n=3), *aggressioni* (n=3), *precipitazioni* (n=2) e *caduta dalle scale* (n=1) (Grafico 3).

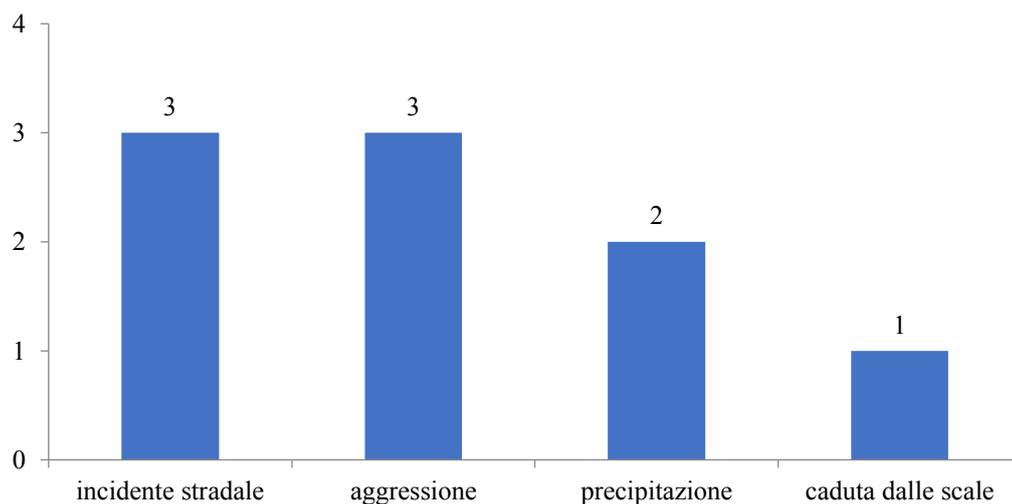


Grafico 3: Cause di fratture costali traumatiche

4.4 Dati necroscopici

Le **lesività toraciche esterne** rilevabili all'ispezione sono state *ecchimosi* in 2 casi, *escoriazione* in 2 casi, *ecchimosi ed escoriazione* in 3 casi, e *assenza di lesività* in 2 casi (Grafico 4).

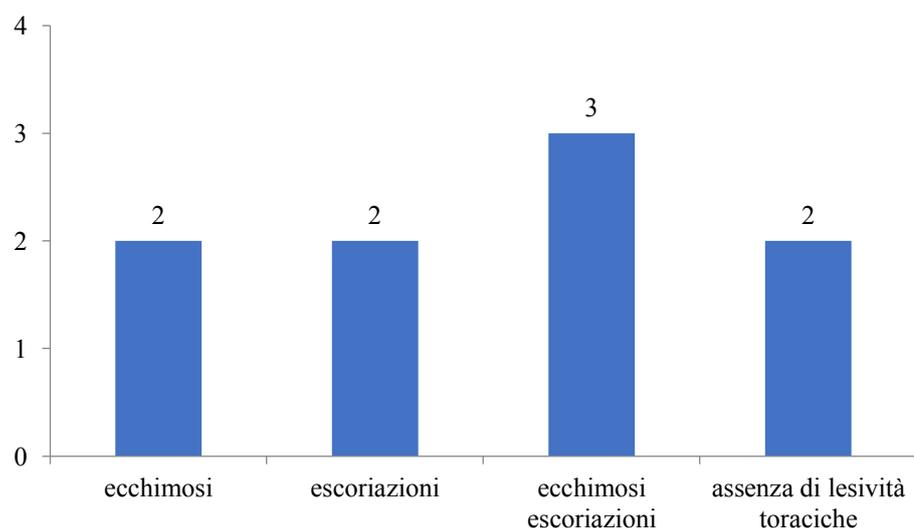


Grafico 4: Distribuzione lesioni toraciche interne

Nella tabella IV sono mostrate le lesività toraciche esterne per ogni caso.

	ISPEZIONE TORACICA ESTERNA
<i>Caso 1</i>	Ecchimosi
<i>Caso 2</i>	ecchimosi ed escoriazioni
<i>Caso 3</i>	ecchimosi ed escoriazioni
<i>Caso 4</i>	ecchimosi
<i>Caso 5</i>	ecchimosi ed escoriazioni
<i>Caso 6</i>	assenza di lesività toraciche esterne
<i>Caso 7</i>	escoriazioni
<i>Caso 8</i>	assenza di lesività toraciche esterne
<i>Caso 9</i>	escoriazione

Tabella IV: Lesività toraciche esterne

Le **lesioni viscerali a livello toracico** si sono riscontrate in 6 casi, quindi nel 66% dei casi esaminati. Per quanto riguarda invece le **lesioni toraciche ossee** associate alle fratture costali, queste sono state rappresentate da lesioni a carico dello sterno e del rachide. In 3 casi è stata rilevata la presenza di sola *frattura sternale*, in 2 casi solo *fratture vertebrali*, in altri 2 casi l'associazione di *fratture sternali e vertebrali* mentre nella restante parte dei casi (n=2) erano *assenti lesioni toraciche ossee* (Grafico 5).

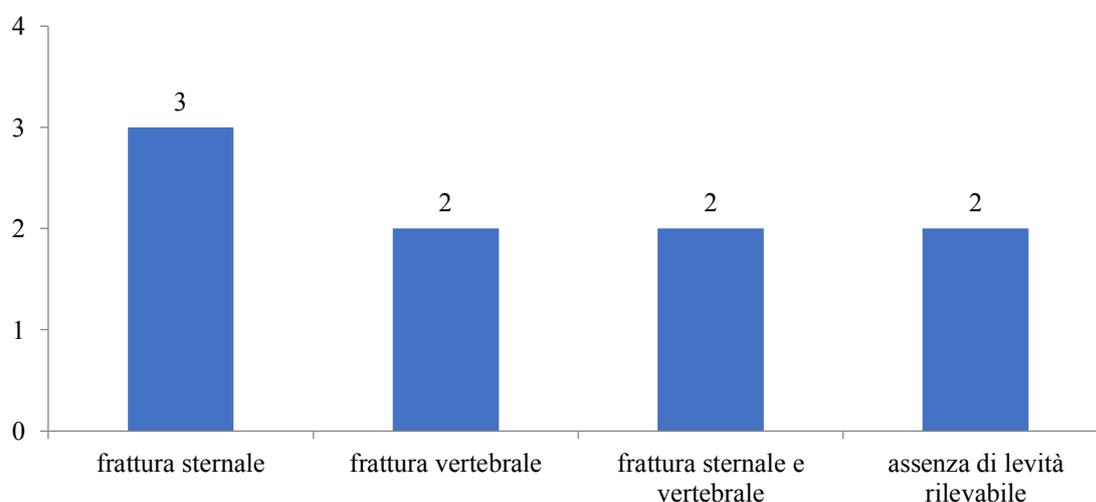


Grafico 5: Lesività ossee

Nella tabella V sono mostrate, caso per caso, le lesività ossee associate alle fratture costali.

	LESIVITÀ OSSEE
Caso 1	fratture vertebrali (C1, T4, T5)
Caso 2	frattura sternale
Caso 3	assenza di lesività ossee rilevabili
Caso 4	assenza di lesività ossee rilevabili
Caso 5	frattura sternale
Caso 6	frattura sternale
Caso 7	frattura sternale, frattura vertebrale (T12)
Caso 8	Frattura vertebrale, in plurimi segmenti toracici
Caso 9	frattura sternale, frattura vertebrale (T7)

Tabella V: Lesività ossee

Lo studio delle fratture costali è stato svolto su 64 coste appartenenti ai sopracitati casi, i quali hanno in totale mostrato 74 focolai di frattura, ognuno preso come campione da esaminare. Di questi 32 appartenevano all'emitorace destro e 42 nell'emitorace sinistro (Grafico 6).

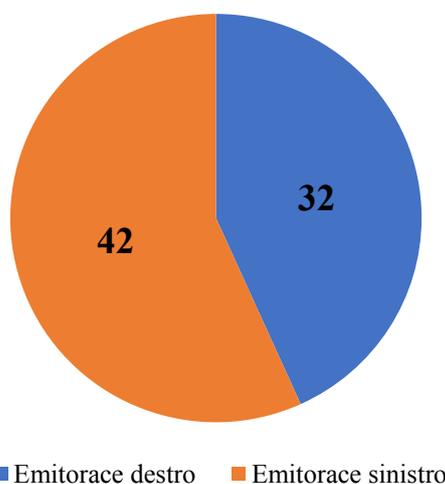


Grafico 6: Distribuzione emitoracica dei focolai di fratture costali

In media il numero di campioni presi in esame per caso è stato 8.22, (1-16). In tabella VI sono mostrati i campioni ricavati da ogni caso, suddivisi per emitorace.

In 6 casi la frattura è stata bilaterale.

	NUMERO FRATTURE COSTALI ESAMINATE		
	Emitorace destro	Emitorace sinistro	Totale
Caso 1	9	1	10
Caso 2	2	6	8
Caso 3	0	6	6
Caso 4	0	2	2
Caso 5	6	8	14
Caso 6	5	6	11
Caso 7	5	1	6
Caso 8	4	12	16
Caso 9	1	0	1
TOTALE	32	42	74

Tabella VI: numero di fratture costali esaminate

In merito alla **distribuzione topografica** del torace in 5 sezioni, 34 focolai sono stati riscontrati in sede anteriore (46%), 25 in sede anterolaterale (34%), 9 in sede laterale (12%), 2 in sede posterolaterale (3%) e 4 in sede posteriore (5%) (Grafico 7).

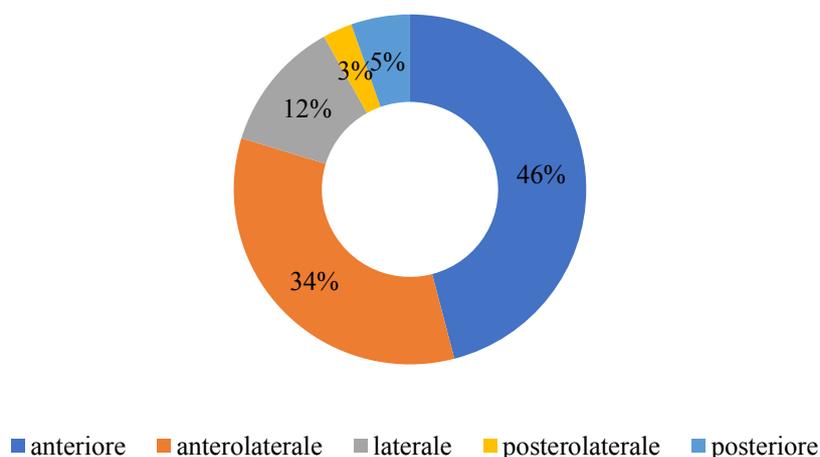


Grafico 7: Distribuzione topografica dei focolai di frattura costale

Più nello specifico, le 32 fratture dell'emitorecchio destro sono state localizzate esclusivamente nella sede anteriore (n=9), anterolaterale (n=14) e laterale (n=9). Invece, le 42 fratture dell'emitorecchio sinistro sono state localizzate prevalentemente nella sede anteriore (n=25) e nelle sedi anterolaterale (n=11), mentre nessuna frattura in sede laterale, 2 in sede posterolaterale e 5 in sede posteriore (Grafico 8).

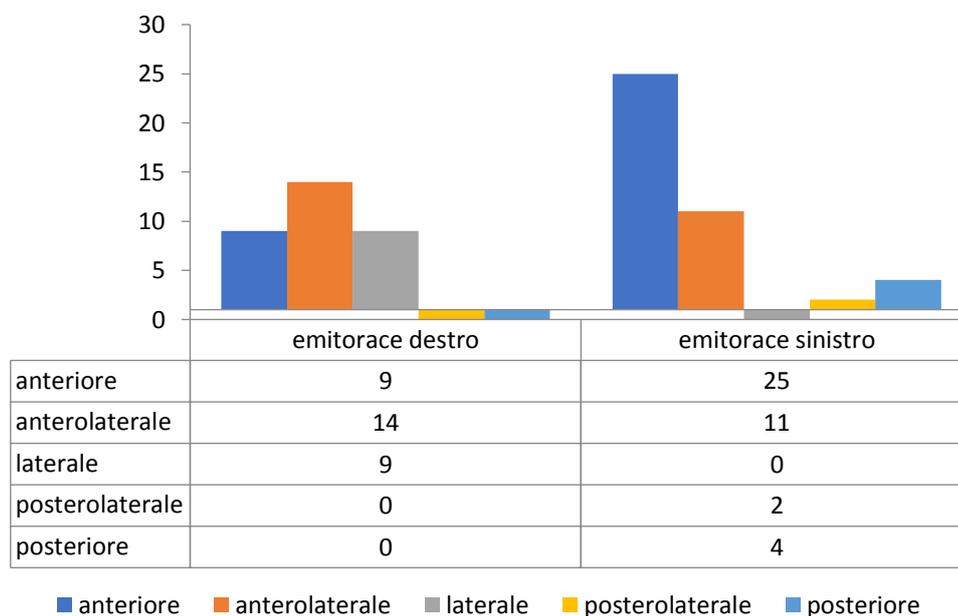


Grafico 8: Distribuzione topografica per emitorecchio dei focolai di frattura costale

In merito alla morfologia, è stata osservata nel 60,8% (n=45) l'**infiltrazione**, e tra questi il 68,8% (n=31) facevano parte dell'emitorecchio sinistro. Invece, tra le non infiltrate il 62% è stato rilevato nell'emitorecchio di destra (n=18) (Tabella VII).

	<i>Infiltrate</i>	<i>Non infiltrate</i>	Totale
Emitorecchio destro	14	18	32
Emitorecchio sinistro	31	11	42
<i>Totale</i>	45	29	74

Tabella VII: Presenza di infiltrazione perifratturativa

4.5 Risultati frattografia

La frattografia, eseguita sulle coste dopo macerazione, ha permesso di evidenziare 61 fratture *singole* e 13 *comminute*, ma anche 6 fratture *incomplete* e 68 fratture *complete*. Sono state descritte 39 fratture *oblique*, 20 fratture *trasverse* e 15 fratture a *farfalla* (Grafico 9).

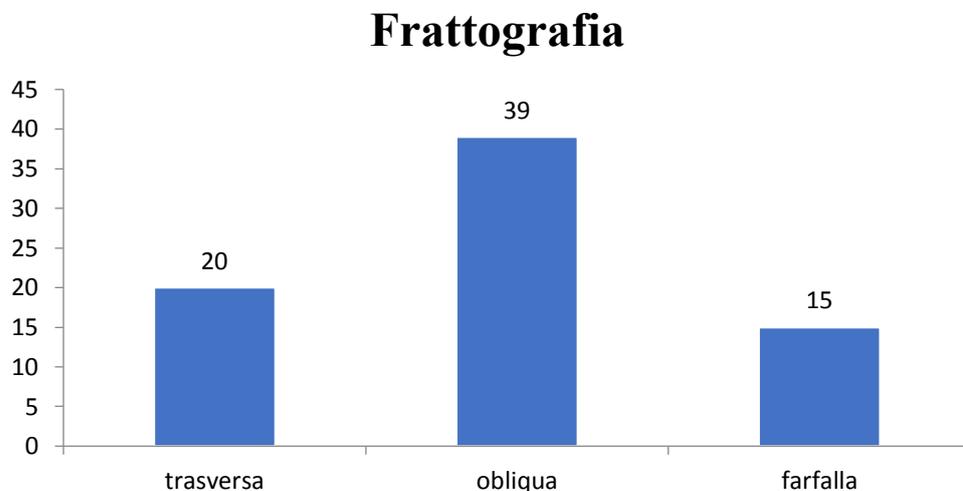


Grafico 9: Pattern di frattura (rilevamento tramite frattografia)

Per quanto riguarda i **bordi**, la frattografia ha permesso di individuare 13 *margini lisci* e 57 *margini frastagliati* sulla superficie interna della costa, mentre sulla superficie esterna 12 bordi lisci e 60 frastagliati (Grafico 10).

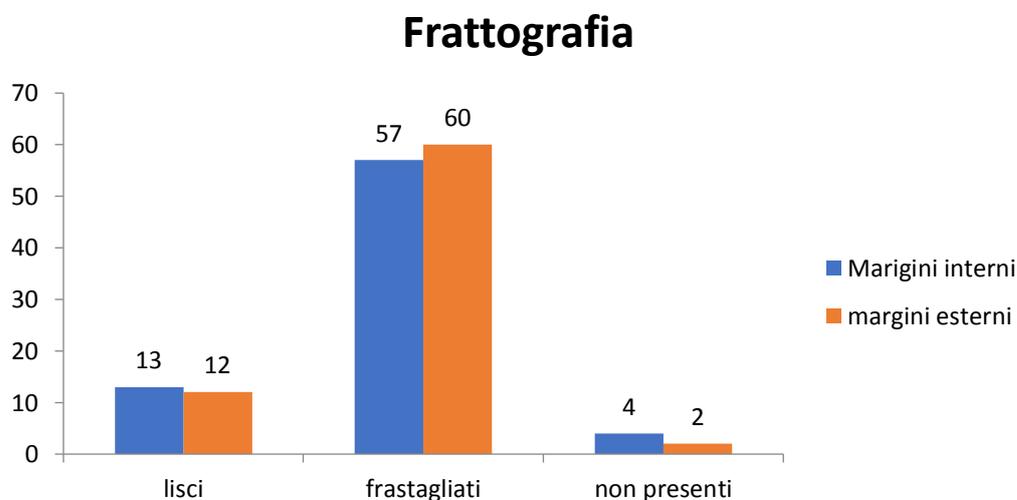


Grafico 10: Aspetto dei bordi interni ed esterni (rilevamento tramite frattografia)

Infine, la frattografia ha permesso di cogliere 40 *off set laterali* e 8 *sbucciature* (Tabella VIII).

	Frattografia
Off set	40
Sbucciatura	8

Tabella VIII: Parametri morfologici (rilevamento tramite frattografia)

4.6 Risultati analisi macroscopica

Grazie all'osservazione macroscopica sono state evidenziate 71 fratture *singole* e 3 *comminute*. Inoltre, è stato possibile individuare 29 fratture *incomplete* e 45 fratture *complete*.

In riferimento alla **direzione di frattura**, le più rappresentate sono state quelle *oblique* (n=43), poi quelle *trasverse* (n=19) ed infine quelle a *farfalla* (n=2). Tuttavia, questa metodica non ha permesso, in 10 casi, di evidenziare la tipologia di frattura (Grafico 11).

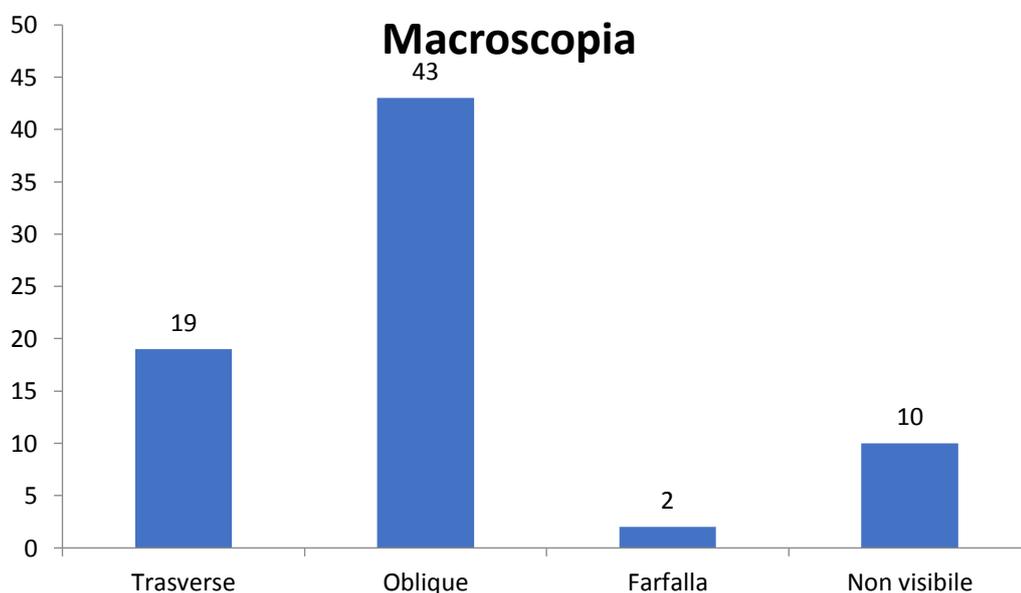


Grafico 11: Pattern di frattura (rilevamento tramite macroscopia)

Relativamente all'aspetto dei **margini di frattura**, sono stati osservati *bordi lisci* in 9 margini interni e 14 margini esterni mentre *bordi frastagliati* in 32 margini interni ed in 41 margini esterni. Mentre, per 33 margini presenti sul lato interno e 19 margini sul lato esterno *nessuna caratteristica* è stata evidenziata (Grafico 12).

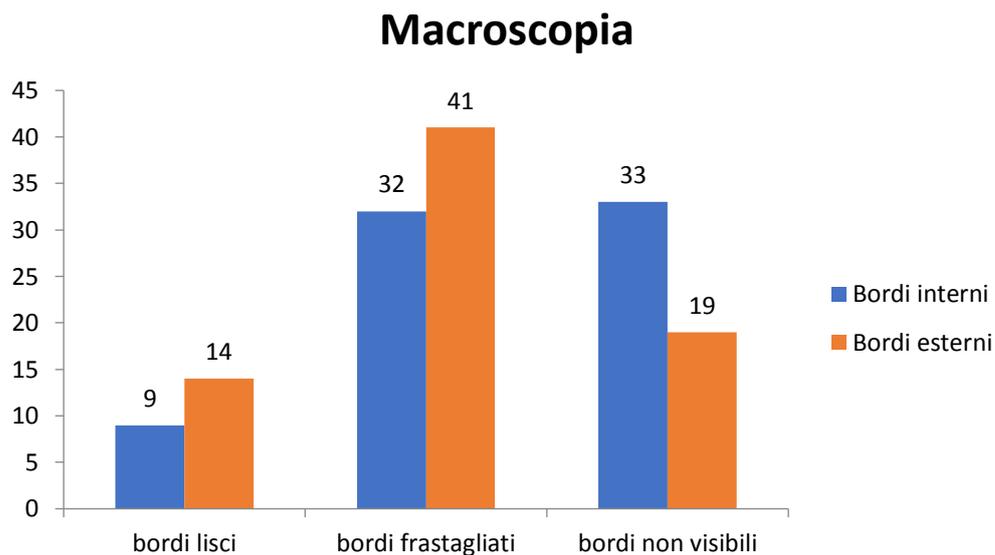


Grafico 12: Aspetto dei bordi interni ed esterni (rilevamento tramite macroscopia)

Infine, l'indagine macroscopica, ha permesso l'osservazione di 24 **off set laterali** e nessuna **sbucciatura** (Tabella IX).

	Macroscopia
Off set	24
Sbucciatura	0

Tabella IX: Parametri morfologici (rilevamento tramite macroscopia)

4.7 Risultati TC

La TC ha riscontrato 61 fratture *singole* e 13 *comminute*. Inoltre, 8 fratture sono risultate *incomplete* e 66 complete.

Dall'osservazione della linea di frattura, si sono riscontrati 39 campioni con frattura *obliqua*, 23 con frattura *trasversa* e 9 con frattura a *farfalla*. In 3 campioni la direzione di frattura è risultata *non visibile* (Grafico 13).

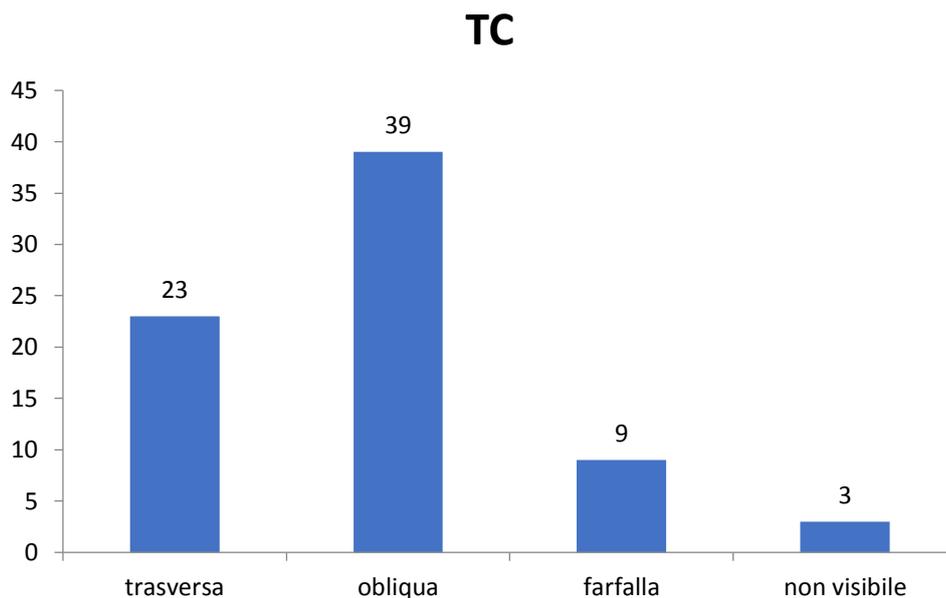


Grafico 13: Pattern di frattura (rilevamento tramite TC)

I *bordi di frattura frastagliati* sono stati prevalenti sia sulla superficie interna che esterna, essendo stati rilevati rispettivamente in 57 e 59 campioni, mentre i *bordi lisci* sono stati riscontrati in 11 superfici interne e 10 superfici esterne. I bordi *non visibili* sono stati 6 sulla superficie interna e 5 sulla superficie esterna (Grafico 14).

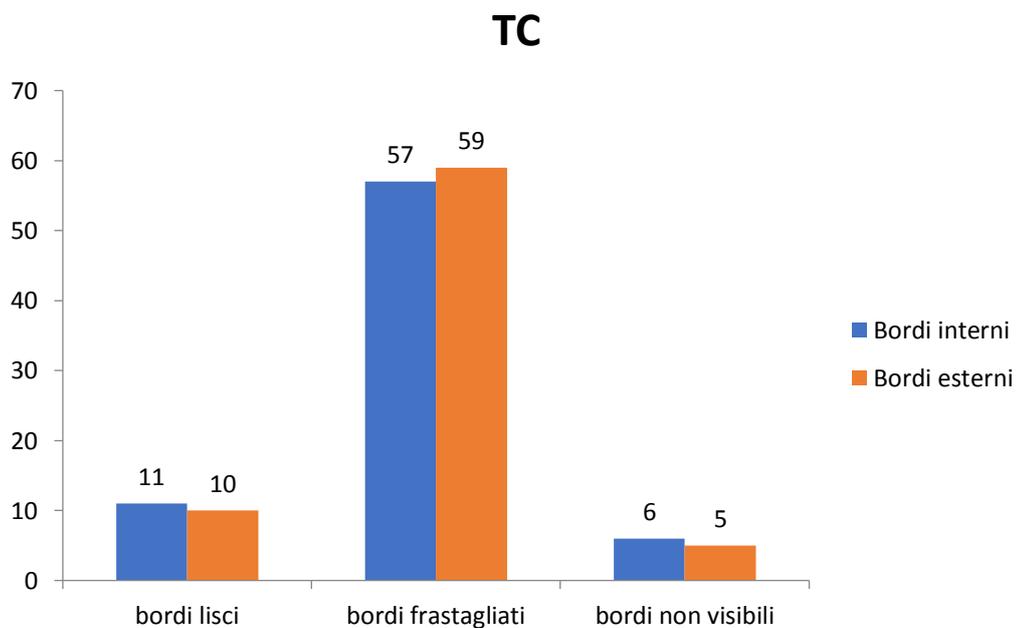


Grafico 14: Aspetto dei bordi interni ed esterni (rilevamento tramite TC)

La TC, inoltre, ha permesso di rilevare 16 **off set laterali** e nessuna **sbucciatura**. (Tabella X).

	TC
Off set	19
Sbucciatura	0

Tabella X: Parametri morfologici (rilevamento tramite TC)

4.8 Risultati micro-TC

La micro-TC ha evidenziato 61 fratture *singole* e 13 *comminute*, 68 fratture complete e 6 fratture incomplete.

Questa metodica ha permesso in ogni caso di evidenziare la direzione della frattura. Le fratture *oblique* sono state quelle maggiormente rinvenute (n=38), a cui seguono le fratture *trasverse* (n=21) ed infine quelle a *farfalla* (n=15) (Grafico 15).

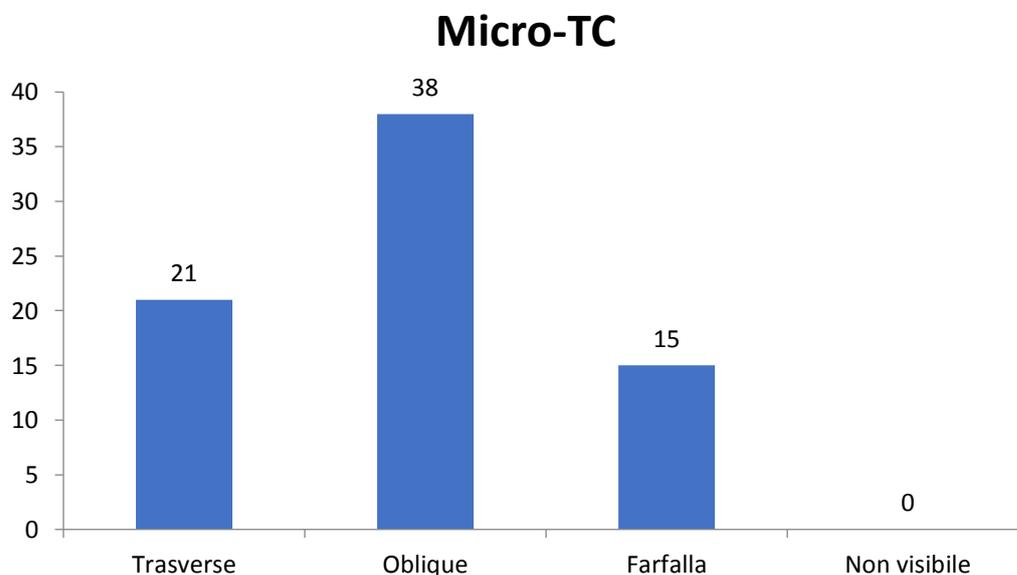


Grafico 15: Pattern di frattura (rilevamento tramite micro-TC)

La micro-TC ha permesso di evidenziare l'aspetto di tutti i **bordi di frattura**. Sulla superficie interna sono stati identificati 11 *bordi lisci* e 59 *bordi frastagliati* mentre sulla superficie esterna 14 *bordi lisci* e 58 *bordi frastagliati* (Grafico 16).

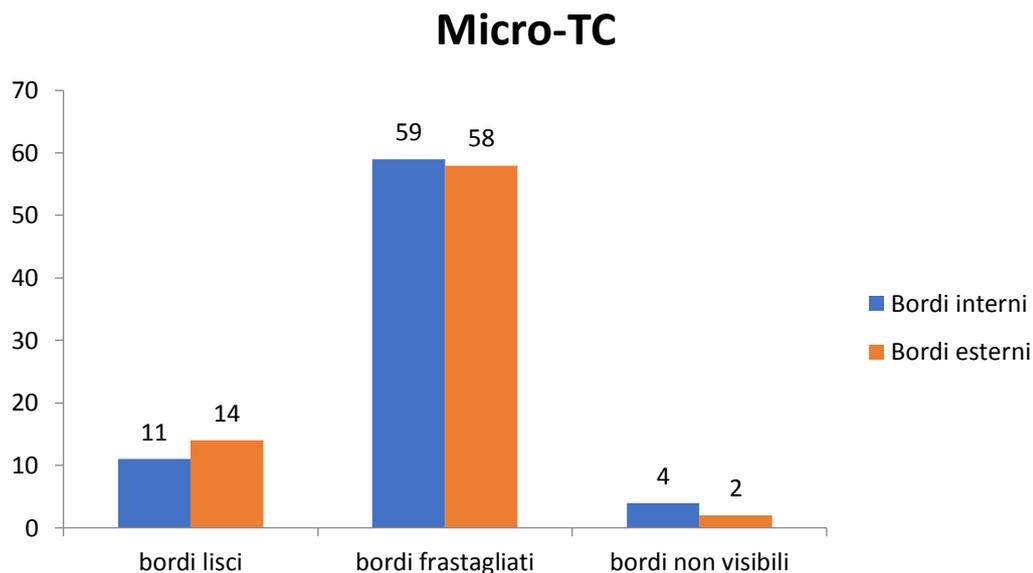


Grafico 16: Aspetto dei bordi interni ed esterni (rilevamento tramite micro-TC)

Tramite questa metodica si è riusciti ad individuare, 29 **off set laterali** e nessuna **sbucciatura** (Tabella XI).

	<i>Micro-TC</i>
<i>Off set laterale</i>	38
<i>Sbucciatura</i>	0

Tabella XI: parametri morfologici (rilevamento tramite micro-TC)

4.7 Analisi statistica

Nella tabella XII vengono riassunti i parametri rilevati attraverso tutte le metodiche utilizzate e la relativa accuratezza diagnostica.

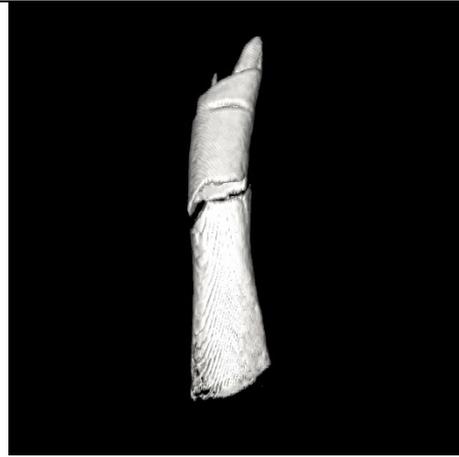
	FRATTOGRAFIA	MACROSCOPIA		TC		MICRO TC
NUMERO FRAMMENTI						
			accuratezza		accuratezza	Accuratezza
SINGOLE	61	71	86,5%	61	100%	61
COMMUNUTE	13	3		13		13
TIPOLOGIA DI FRATTURA						
			accuratezza		accuratezza	accuratezza
COMPLETE	68	29	68,9%	66	97,3%	68
INCOMPLETE	6	45		8		6
DIREZIONE FRATTURA						
			accuratezza		accuratezza	Accuratezza
TRASVERSE	20	19	70.3%	23	90.5%	21
OBLIQUE	39	43	67.6%	39	86.8%	38
FARFALLA	15	2	81.1%	9	94.6%	15
NON VISIBILE	-	10	-	3	-	-
MARGINI INTERNI						
			accuratezza		accuratezza	accuratezza
LISCI	13	9	47,1%	11	84,3%	11
FRASTAGLIATI	57	32		57		59
NON VISIBILE	4	33		6		4
MARGINI ESTERNI						
			accuratezza		accuratezza	accuratezza
LISCI	12	14	61,1%	10	88,9%	14
FRASTAGLIATI	60	41		59		58
NON VISIBILE	2	19		5		2
ALTRO						
			accuratezza		accuratezza	accuratezza
OFF SET	40	24	66,2%	19	71,6%	38
SBUCCIATURE	8	-	-	-	-	-

Tabella XII: Parametri morfologici rilevati con frattografia, macroscopia, TC e micro-TC

FIGURA 12 - FRATTURA SINGOLA



Macroscopia



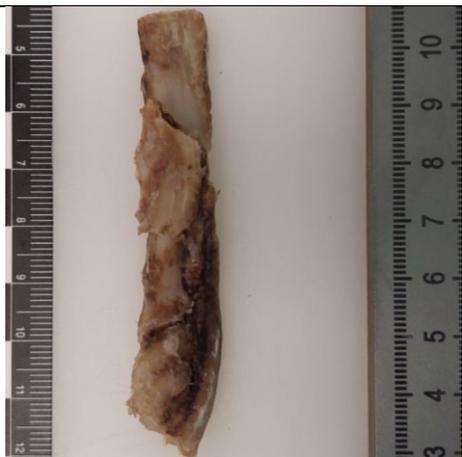
TC



Micro-TC



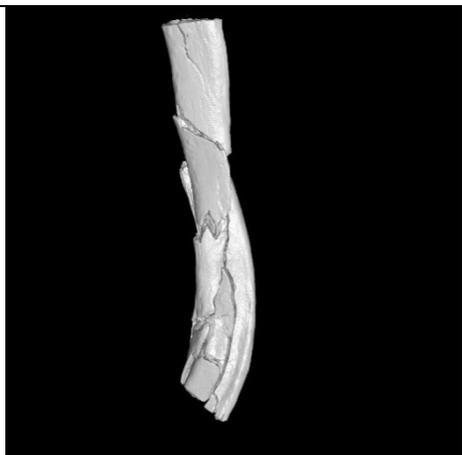
Frattografia

FIGURA 13 - FRATTURA COMMUNUTA

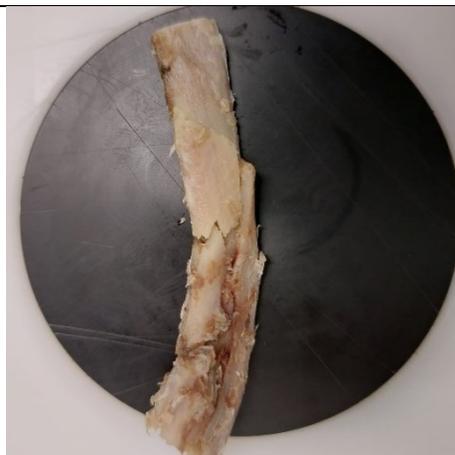
Macroscopia



TC



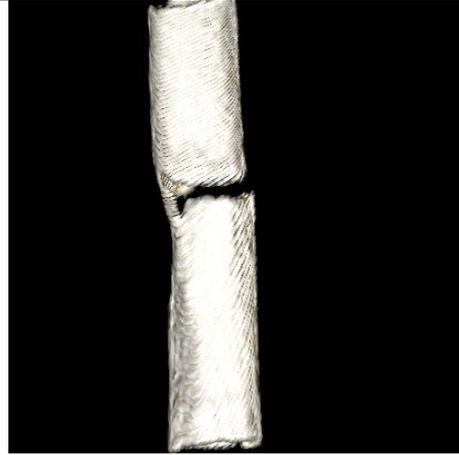
Micro-TC



Frattografia

FIGURA 14 - FRATTURA TRASVERSA

Macroscopia



TC



Micro-TC



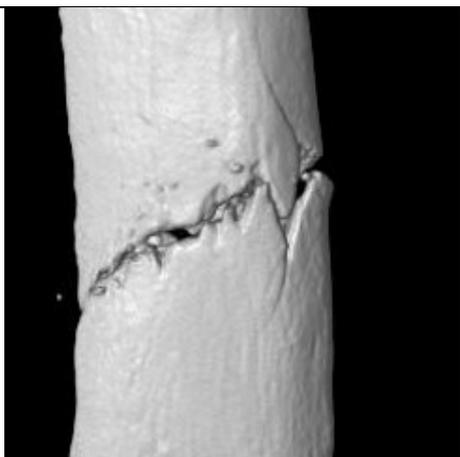
Frattografia

FIGURA 15 - FRATTURA OBLIQUA

Macroscopia



TC



Micro-TC

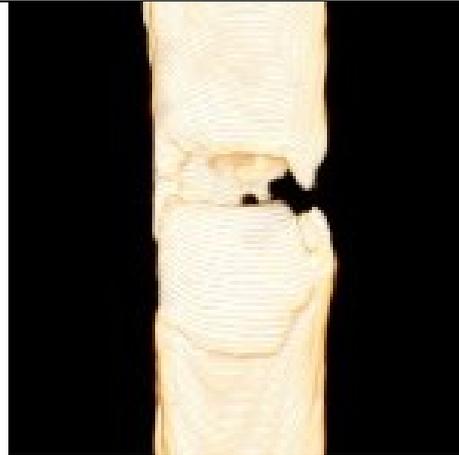


Frattografia

FIGURA 16 - FRATTURA A FARFALLA



Macroscopia



TC



Micro-TC



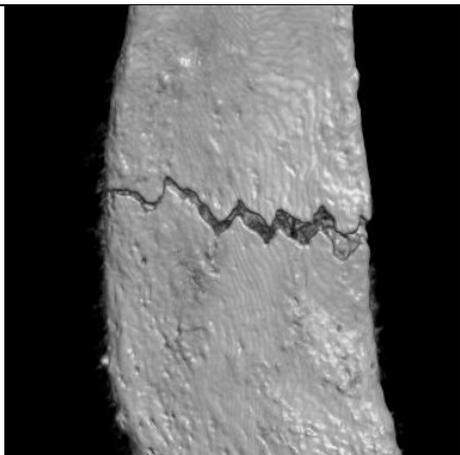
Frattografia

FIGURA 17 - MARGINI FRASTAGLIATI

Macroscopia



TC



Micro-TC

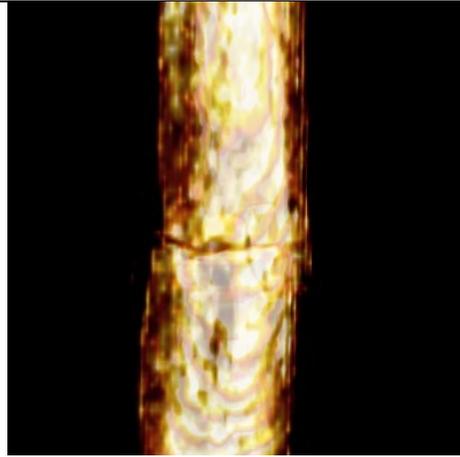


Frattografia

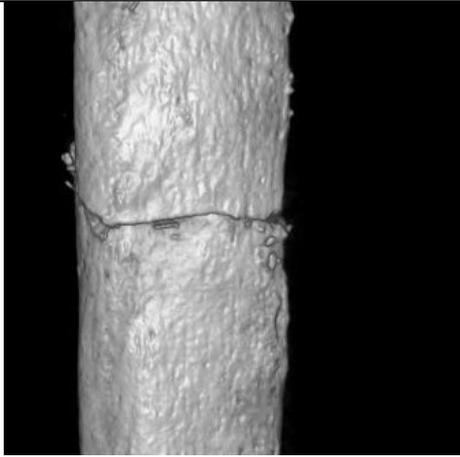
FIGURA 18 - MARGINI LISCI



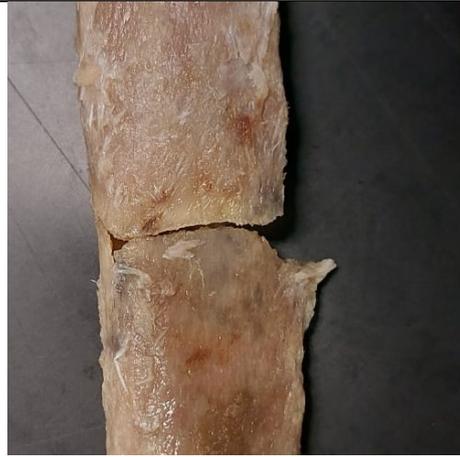
Macroscopia



TC



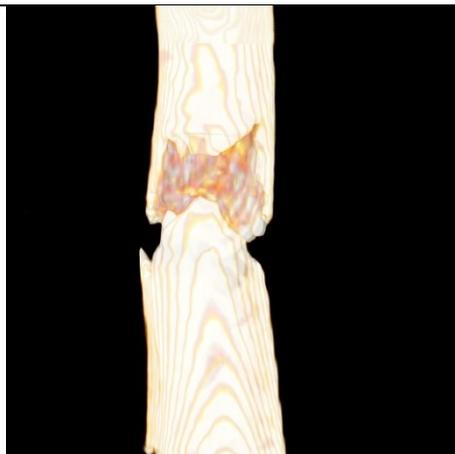
Micro-TC



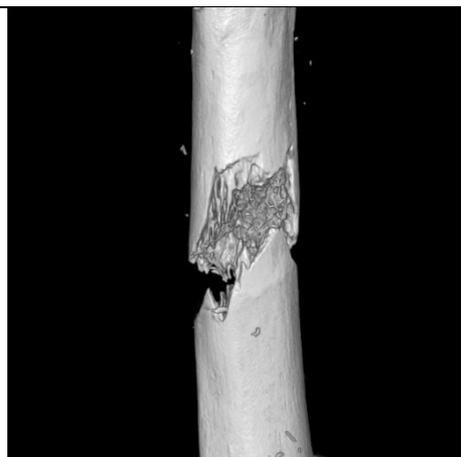
Frattografia

FIGURA 19 - OFF SET

Macroscopia



TC



Micro-TC



Frattografia

5. DISCUSSIONE

5.1 Analisi dei dati epidemiologici, clinico-circostanziali e necroscopici

I 9 casi inclusi nel nostro studio hanno riguardato soggetti che all'indagine autoptica presentavano fratture costali. Questi hanno presentato una lieve prevalenza per il sesso maschile, in accordo alla Letteratura di riferimento (22) mentre, per quanto riguarda l'età, la nostra casistica ha evidenziato una prevalenza di casi ricompresi nella fascia tra 18-40 anni. Tale dato risulta essenzialmente in contrasto con la Letteratura, ove è riportata una maggiore incidenza di fratture costali nei soggetti di età maggiore di 50 anni (23) in relazione alla maggior predisposizione di questi soggetti a sviluppare fratture ossee.

Per quanto concerne la valutazione delle patologie ossee, nel campione casistico in esame, solo 2 casi hanno rilevato la sottostante presenza di osteoporosi, sostanzialmente in accordo con quanto precedentemente riportato in merito all'età del campione da noi considerato.

In merito alla dinamica dell'evento traumatico causativo le fratture costali analizzate, la nostra casistica ha evidenziato precipitazione, aggressione ed incidenti stradali, sostanzialmente in accordo con la letteratura (2).

Nel corso dell'accertamento necroscopico la quasi totalità dei casi ha presentato lesioni toraciche esterne (*i.e.* ecchimosi, escoriazioni) nonché, nel 66% dei casi, fratture sternali e/o vertebrali e lesioni toraciche interne associate alle fratture costali, confermando, pertanto, le potenzialità lesive dei traumi toracici.

Per quanto concerne la lateralizzazione delle fratture costali analizzate, in 6 casi è stato riscontrato un interessamento bilaterale, pur evidenziandosi una lieve prevalenza di focolai fratturativi nell'emitorace sinistro (n=42,57%).

Per quanto riguarda la distribuzione topografica dei focolai di frattura, questa ha permesso di evidenziare un maggior interessamento della sede anteriore (42%) e anterolaterale (34%), ma sono stati descritti focolai di frattura anche in sede laterale, posterolaterale e posteriore. Varie sono quindi le localizzazioni delle fratture costali analizzate, difatti, la Letteratura evidenzia come il tipo di trauma, ma anche il punto di impatto dello stesso, possano condizionare la localizzazione della lesione (2).

5.2 Analisi dei dati derivanti dalle metodiche diagnostiche

Nel presente studio abbiamo analizzato le fratture costali traumatiche riscontrabili in corso di accertamento necroscopico ed ascrivibili a traumatismi toracici di varia tipologia. Successivamente, previo isolamento delle rime fratturative, si è sottoposto ogni focolaio fratturativo ad un'analisi morfologica macroscopica, approfondita da una valutazione radiologica TC e micro-TC. Infine, dopo aver provveduto a cauta rimozione dei tessuti peri-ossei e sottoposto i campioni a macerazione, l'indagine si è completata con la valutazione frattografica, identificata quale *gold standard* per il rilevamento delle caratteristiche morfologiche delle fratture.

Pur essendo, infatti, presenti in Letteratura numerosi studi che si sono soffermati sull'indagine delle caratteristiche morfologiche delle fratture, al fine di dirimerne informazioni cruciali agli scopi medico-legali, ovvero all'identificazione del meccanismo eziologico, nessuno studio si è ancora soffermato sull'applicazione, a tal proposito, di una metodica innovativa in ambito forense, quale la micro-TC.

Pertanto, allo scopo di appurare l'attendibilità delle modalità diagnostiche oggetto dello studio, e quindi poter valutare l'applicabilità dei metodi proposti per la valutazione delle caratteristiche morfologiche delle fratture costali, abbiamo calcolato, per ciascuna metodica, l'accuratezza dei parametri presi in considerazione sulla base della disamina della letteratura di riferimento, ovvero tipologia delle fratture (complete o incomplete), numero di frammenti (singole o comminute), direzione della frattura (trasverse, oblique o a farfalla), *off set*, sbucciature, margini interni ed esterni (lisci o frastagliati).

Relativamente alla **tipologia di frattura**, l'indagine macroscopica, per quanto riesca a cogliere la presenza della lesione ossea, spesso non è riuscita a identificarne la tipologia, ovvero a discriminare tra una frattura completa ed una incompleta, presentando a tal proposito un'accuratezza del 68.9%. Diversamente, la TC ha mostrato un'affidabilità notevolmente più alta, constatando un'accuratezza del 97.3%. Ad ogni modo, l'unica metodica in grado di presentare una concordanza completa con i dati ricavati dall'indagine frattografica è stata la micro-TC.

Anche per quanto concerne il rilevamento del **numero di frammenti**, i dati da noi raccolti hanno confermato che l'indagine macroscopica, assimilabile alla valutazione in sede autoptica, rappresenta la modalità con minor capacità

discriminatoria. Nel novero dei frammenti di frattura, infatti, l'indagine radiologica si è mostrata nettamente superiore, presentando, sia per la TC che per la micro-TC, un'accuratezza del 100% con il rilievo frattografico.

Parimenti, in merito alla *direzione di frattura*, il solo ricorso all'esame macroscopico non risulta perseguibile. Differentemente dai parametri precedenti però, in questo caso anche l'indagine TC ha presentato una bassa accuratezza (80,1%). Ancora una volta, solo l'indagine microradiologica ha fornito dei dati soddisfacenti, pur lievemente discordanti dall'esame frattografico. Più nello specifico, soffermandosi singolarmente sulle direzioni delle fratture analizzate, si evince che la direzione di frattura più facilmente identificabile da tutte le metodiche, sia stata quella a farfalla. Tale riscontro, a nostro avviso, potrebbe essere facilmente riconducibile alle caratteristiche stesse di tale frattura che si presenta solitamente in maniera franca con un'annessa alterazione strutturale e, pertanto, con rime di frattura nette. Di contro, l'accuratezza dell'*imaging* TC, ed ancor più dell'indagine macroscopica, manifestano principalmente i propri limiti nel riscontro delle fratture trasverse ed oblique.

Prendendo in considerazione i *margini interni ed esterni* risulta nuovamente avvalorata la necessità di approfondire la valutazione morfologica con altre metodiche rispetto alla sola indagine macroscopica. A tal proposito, la TC ha presentato ancora una volta una maggior capacità discriminatoria, rimanendo, inferiore però all'esame microradiologico. Anche in questo caso, quindi, solo l'alta risoluzione della micro-TC ha garantito una buona identificazione delle caratteristiche di frattura.

Per quanto riguarda l'*offset*, tale parametro, nonostante abbia dimostrato una scarsa accuratezza dell'esame macroscopico, è risultato quello in cui l'indagine autoptica, escluso il rilevamento della tipologia di frattura ed il numero di frammenti ossei, ha dimostrato la più alta concordanza con la frattografia (66,2%). Non di meno, tale considerazione risalta nuovamente la scarsa capacità dell'esame macroscopico di cogliere le caratteristiche morfologiche delle fratture e, pertanto, il necessario ricorso alle metodiche radiologiche per una loro rilevazione. Nel merito delle indagini radiologiche, l'esame microradiologico si è dimostrato, anche in questo caso, l'unica metodica con un'accuratezza comparabile alla valutazione frattografica. Tale capacità discriminante deriva probabilmente dalla possibilità, in

micro-TC, di far ruotare l'osso a 360° riuscendo a cogliere la distanza fra il punto di frattura localizzato a livello della superficie interna rispetto a quello rilevabile sulla superficie esterna, ovvero l'*offset*, nel 95,7% dei casi.

A tale riguardo, in uno studio di Kissling et al. (16), comprendente 312 coste umane integre, fratturate sperimentalmente con due differenti meccanismi lesivi, ovvero diretto (assimilabile ad una frattura traumatica) e indiretto (correlabile a manovre rianimatorie), sono stati identificati alcuni parametri morfologici delle fratture costali, riconducibili ad una particolare tipologia traumatica. In particolare, le fratture derivanti da impatto diretto sono state maggiormente associate a linee di frattura dritta, *offset* non misurabile, bordi di frattura esterni lisci e bordi di frattura interni frastagliati. Mentre, le fratture ottenute con l'applicazione di forze indirette, hanno mostrato linee di fratture dritte ed oblique, *offset* misurabile e bordi di frattura esterni frastagliati con bordi interni lisci. Secondariamente, gli Autori rilevano una prevalenza di fratture trasverse tra quelle "dirette" o traumatiche, osservando invece proporzioni analoghe di fratture trasverse e oblique tra quelle indirette.

Da quanto predetto, appare evidente come solamente la micro-TC, a causa della sua elevata accuratezza diagnostica, prossima alla frattografia, possa essere utilizzata in ambito forense al fine di caratterizzare la morfologia di fratture costali. In accordo alla Letteratura, (8) l'esame TC può trovare invece applicazione quale metodica radiologica preliminare all'accertamento autoptico, al fine di identificare unicamente i focolai fratturativi.

Infine, la frattografia è risultata essere l'unica metodica in grado di evidenziare la ***sbucciatura***. Tale parametro è stato associato da Scheirs *et al.* (17) alle coste fratturate nel periodo *ante-mortem*. La peculiarità di tale parametro, ovvero la capacità di essere apprezzabile solo durante l'indagine frattografica, a nostro avviso, potrebbe essere dovuto al minimo spessore della corticale delle coste. Difatti, tale caratteristica necessita di una visione diretta per evidenziare sui monconi la stratificazione della corticale e permettere di cogliere lo scollamento superficiale.

In conclusione, il presente studio evidenzia il necessario ricorso a metodiche supplementari all'indagine autoptica per il rilevamento delle caratteristiche morfologiche delle fratture. In particolare, tra le tecniche analizzate, la micro-TC si è dimostrata una metodica ad alta risoluzione, non-distruttiva ed a rapida

acquisizione dell'immagine. Questa risulta appropriata per la descrizione morfologica della frattura, permettendo di analizzare, mediante le ricostruzioni tridimensionali, rilevanti dettagli a livello della lesione ossea, ottenendo difatti, ottimi risultati generalmente per tutti i parametri da noi analizzati. È stata completamente concorde con la frattografia in merito alla tipologia di frattura ed al numero di frammenti individuati, mentre ha evidenziato un'altissima accuratezza sia nel discriminare la direzione di frattura che nel rilevamento dei margini interni ed esterni, e dell'*offset*.

Alla luce di quanto predetto, crediamo che la micro-TC possa rappresentare una valida alternativa alla frattografia per lo studio delle fratture costali, ed in generale delle lesioni ossee. Quest'ultima infatti, pur rappresentando il *gold standard*, è gravata da importanti problematiche che ne limitano l'utilizzo in maniera routinaria, ovvero i lunghi tempi di macerazione e la necessità di rimozione dei tessuti antistanti la frattura, non permettendo, pertanto, eventuali approfondimenti istologici. Di contro, la micro-TC non è una tecnica distruttiva, non necessita di macerazione e richiede unicamente, ai fini dell'espletamento dell'indagine, il solo isolamento della costa.

5.3 Limiti dello studio e prospettive future

Il principale limite dello studio è da individuarsi nella fase iniziale di identificazione delle fratture costali in corso di accertamento autoptico. Infatti, la Letteratura indica la *Post-Mortem Computed Tomography* (PMTC) come la metodica più sensibile nel rilevamento delle fratture parziali rispetto all'autopsia. È quindi possibile che alcuni focolai fratturativi non siano stati identificati in sede di esame autoptico. Per questo si propone di includere fratture di ogni genesi previa completa individuazione attraverso la PMTC, in modo da ottenere più dati in merito alle fratture parziali e rendere maggiormente affidabile lo studio.

Un'ulteriore criticità del lavoro deriva dalla capacità valutativa dell'operatore nel rilevare i parametri morfologici, il quale difatti influisce direttamente sull'accuratezza della metodica diagnostica. Stante la preliminarità dello studio, si ritiene necessario approfondire l'argomento valutando la variabilità intraintra- e interoperatore dell'analisi in micro-TC.

Infine, il presente studio, evidenziando le potenzialità della micro-TC, pone le basi per eventuali confronti morfologici tra fratture costali aventi genesi diversa, quali trauma e iatrogeno da rianimazione.

6. CONCLUSIONI

Partendo dal presupposto che le caratteristiche morfologiche delle fratture sono strategiche nell'identificare i mezzi di produzione delle lesioni e conseguentemente la dinamica dell'evento traumatico, il nostro studio si è posto l'obiettivo di studiare i parametri morfologici delle fratture costali attraverso diverse metodiche diagnostiche routinariamente utilizzate in ambito forense e di recente utilizzo, al fine di individuare una metodica dotata di elevata accuratezza, tale da sostituire quella di riferimento, ovvero la frattografia, visti i limiti che essa presenta.

Lo studio dimostra come l'indagine macroscopica e la TC non permettano di cogliere totalmente i dettagli morfologici e, pertanto, possano essere utilizzate dal patologo forense solo in una valutazione iniziale di screening. Diversamente, la micro-TC, tecnica radiologica dotata di elevata risoluzione, è risultata in grado di rilevare tutti i parametri analizzati, ad eccezione della "sbucciature", con una elevata accuratezza diagnostica, superiore al 95%. Allo stesso tempo, tale tecnica permette di ovviare ai limiti insiti nella frattografia, quali tempi di macerazione e alterazione tissutale.

Pertanto, proponiamo la micro-TC quale metodica possibilmente sostitutiva dell'analisi frattografica, al fine di identificare i dettagli morfologici delle fratture costali in ambito forense.

Tuttavia, data la preliminarità del nostro lavoro, ulteriori studi in merito saranno necessari al fine di comprendere pienamente le potenzialità di tale innovativa metodica radiologica.

BIBLIOGRAFIA

1. Dogrul BN, Kiliccalan I, Asci ES, Peker SC. Blunt trauma related chest wall and pulmonary injuries: An overview. *Chin J Traumatol.* giugno 2020;23(3):125–38.
2. 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.
3. Karadayi S, Nadir A, Sahin E, Celik B, Arslan S, Kaptanoglu M. An analysis of 214 cases of rib fractures. *Clinics (Sao Paulo).* marzo 2011;66(3):449–51.
4. Flood L, Roodenburg B. Chest trauma. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine.* 1 agosto 2020;21(8):397–401.
5. Kessel B, Dagan J, Swaid F, Ashkenazi I, Olsha O, Peleg K, et al. Rib fractures: comparison of associated injuries between pediatric and adult population. *The American Journal of Surgery.* 1 novembre 2014;208(5):831–4.
6. Talbot BS, Gange CP, Chaturvedi A, Klionsky N, Hobbs SK, Chaturvedi A. Traumatic Rib Injury: Patterns, Imaging Pitfalls, Complications, and Treatment. *Radiographics.* aprile 2017;37(2):628–51.
7. Kani KK, Mulcahy H, Porrino JA, Chew FS. Thoracic cage injuries. *Eur J Radiol.* gennaio 2019;110:225–32.
8. Yang K-M, Lynch M, O'Donnell C. «Buckle» rib fracture: an artifact following cardio-pulmonary resuscitation detected on postmortem CT. *Leg Med (Tokyo).* settembre 2011;13(5):233–9.
9. Lederer W, Mair D, Rabl W, Baubin M. Frequency of rib and sternum fractures associated with out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation is underestimated by conventional chest X-ray. *Resuscitation.* febbraio 2004;60(2):157–62.
10. Kim EY, Yang HJ, Sung YM, Cho SH, Kim JH, Kim HS, et al. Multidetector CT findings of skeletal chest injuries secondary to cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation.* ottobre 2011;82(10):1285–8.
11. 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.* 10 dicembre 2013;233(1–3):90–8.
12. Liebsch C, Hübner S, Palanca M, Cristofolini L, Wilke H-J. Experimental study exploring the factors that promote rib fragility in the elderly. *Sci Rep.* 29 aprile 2021;11(1):9307.
13. Schmidt U, Oramary D, Kamin K, Buschmann CT, Kleber C. Synergistic Effects of Forensic Medicine and Traumatology: Comparison of Clinical

- Diagnosis Autopsy Findings in Trauma-Related Deaths. *World J Surg.* 1 aprile 2020;44(4):1137–48.
14. Baier W, Norman DG, Williams MA. Micro-CT for the examination of paediatric rib injuries: A case series. *Forensic Sci Int.* agosto 2021;325:110789.
 15. Baier W, Mangham C, Warnett JM, Payne M, Painter M, Williams MA. Using histology to evaluate micro-CT findings of trauma in three post-mortem samples - First steps towards method validation. *Forensic Sci Int.* aprile 2019;297:27–34.
 16. Kissling S, Hausmann R. Morphology of direct and indirect rib fractures. *Int J Legal Med.* gennaio 2021;135(1):213–22.
 17. Scheirs S, Langenhorst W, Malgosa A, Ortega-Sánchez M, McGlynn H, Santos C, et al. Perimortem fracture pattern in ribs by blunt force trauma. *Int J Legal Med.* 1 luglio 2018;132(4):1205–13.
 18. Christensen AM, Hatch GM. Forensic fractography of bone using computed tomography (CT) scans. *Journal of Forensic Radiology and Imaging.* 1 settembre 2019;18:37–9.
 19. Ruttly GN, Brough A, Biggs MJP, Robinson C, Lawes SDA, Hainsworth SV. The role of micro-computed tomography in forensic investigations. *Forensic Sci Int.* 10 febbraio 2013;225(1–3):60–6.
 20. Thali MJ, Taubenreuther U, Karolczak M, Braun M, Brueschweiler W, Kalender WA, et al. Forensic microradiology: micro-computed tomography (Micro-CT) and analysis of patterned injuries inside of bone. *J Forensic Sci.* novembre 2003;48(6):1336–42.
 21. Viero A, Biehler-Gomez L, Cappella A, Messina C, Montisci M, Cattaneo C. The potential of micro-CT for dating post-cranial bone fractures: a macroscopic, radiographic, and microtomography study of fractures of known post-traumatic ages. *Int J Legal Med.* settembre 2021;135(5):1913–21.
 22. Coffey MR, Bachman KC, Ho VP, Worrell SG, Moorman ML, Linden PA, et al. Iatrogenic rib fractures and the associated risks of mortality. *Eur J Trauma Emerg Surg.* febbraio 2022;48(1):231–41.
 23. Sangster GP, González-Beicos A, Carbo AI, Heldmann MG, Ibrahim H, Carrascosa P, et al. Blunt traumatic injuries of the lung parenchyma, pleura, thoracic wall, and intrathoracic airways: multidetector computer tomography imaging findings. *Emerg Radiol.* ottobre 2007;14(5):297–310.