



Università degli Studi di Padova

Corso di laurea magistrale a ciclo unico in Medicina e Chirurgia

Dipartimento di Scienze Cardio-Toraco-Vascolari
e Sanità Pubblica

Direttore: Prof. Federico Rea

Sede di Medicina Legale

TESI DI LAUREA

Lesioni vertebrali d'arma bianca. Ricostruzioni tridimensionali di scansioni micro-radiologiche

Relatore: Prof. Giovanni Cecchetto

Correlatrice: Dott.ssa Oriana Cuman

Laureanda: Marianna Garavello

Anno Accademico 2021/2022

Sommarrio

RIASSUNTO	5
ABSTRACT	6
INTRODUZIONE	7
Lesioni d’arma bianca:	7
definizioni e analisi morfometrica	7
Lesioni d’arma bianca sull’osso: definizioni e analisi morfometrica.....	9
Stampante 3D: nuova frontiera	11
SCOPO DELLO STUDIO	15
MATERIALI E METODI	16
Campione casistico	16
Raccolta dei dati	16
Acquisizione ed esame macroscopico del campione.....	16
Micro-TC.....	16
Ricostruzione tridimensionale in CTVox	17
Ricostruzione MPR in OsiriX Lite	17
Stampa 3D.....	18
RISULTATI	20
CASO 1	21
CASO 2	40
CASO 3	43
CASO 4	50
CASO 5	57
DISCUSSIONE	69
Interpretazione dei dati microradiologici	69
Vantaggi e limiti dell’analisi microradiologica	75
STAMPA 3D: Prospettive future.....	79
CONCLUSIONI	81
BIBLIOGRAFIA	83

RIASSUNTO

Introduzione. In ambito di traumatologia forense le vertebre possono essere lesionate da svariate tipologie di armi bianche. L'analisi morfometrica di lesioni d'arma bianca sull'osso è fondamentale per risalire al mezzo che le ha prodotte.

Obiettivi. Il presente studio ha lo scopo di valutare se:

- 1) la scansione mediante micro-TC di vertebre possa identificare e classificare lesioni d'arma bianca, caratterizzarle dal punto di vista morfometrico e correlarle con i mezzi di produzione desumibili dai dati circostanziali;
- 2) se la stampa 3D di una vertebra permetta di individuare le lesioni d'arma bianca rilevate radiologicamente.

Materiali e metodi. Sono stati inclusi nel presente studio vertebre provenienti da casistica autoptica e che potevano presentare lesioni d'arma bianca. Le stesse sono state ispezionate macroscopicamente, acquisite tramite micro-TC e poi ricostruite mediante software tridimensionale, caratterizzando forma e dimensione delle lesioni. Da questi dati si sono ricavate informazioni per correlarle al possibile mezzo di produzione e quest'ultimo è stato confrontato con quello desunto dai dati circostanziali o autoptici. In un caso il campione è stato riprodotto con la stampante 3D confrontando le caratteristiche morfologiche delle lesioni con quelle rilevate all'analisi micro-radiologica.

Risultati. Sono state analizzate un totale di 21 vertebre ed identificate 15 lesioni d'arma bianca. Per 14 di esse si è risaliti alla classe del mezzo di produzione della lesione grazie all'analisi morfometrica eseguita su ricostruzione tridimensionale. In tutti i casi la micro-TC ha fornito informazioni utili alla definizione del mezzo di produzione delle lesività, risultando in accordo con i dati circostanziali. La stampa 3D ha riprodotto le lesioni di interesse.

Conclusioni. Il presente studio è il primo finalizzato a dimostrare la potenziale utilità di metodiche innovative (quali micro-TC e stampa 3D) nell'esplorazione del distretto vertebrale a fini traumatologici forensi. I risultati preliminari evidenziano come le suddette tecniche, rapide e non distruttive, potrebbero essere usate come analisi integrative nello studio di lesività ossee.

ABSTRACT

Introduction. In forensic traumatology, vertebrae can be injured by a variety of sharp weapons. Morphometric analysis of stab/cut wounds on bone is crucial to identify the mean of production of the injury.

Objectives. The aims of the present study are the following.

- 1) If micro-CT scan of vertebrae may identify and classify stab/cut injuries, characterise the wounds morphometrically and correlate them with the weapon that was identified during police investigations.
- 2) If stab/cut injuries radiologically detected can be detected after 3D printing of the vertebrae.

Materials and methods. Vertebrae collected during forensic autopsies that could present stab/cut wounds were included in the present study. First, they were inspected macroscopically, then acquired by micro-CT and, finally, 3D reconstructed, characterising shape and size of the wounds, and comparing them with weapons reported in police reports. In one case the specimen was 3D printed.

Results. 21 vertebrae were analysed, and 15 wounds were detected. In 14 out of 15 injuries, the 3d reconstruction allowed to characterize the morphometric features, providing useful information to identify the weapon, in agreement with circumstantial data. Even the 3D printing reproduced the wounds of interest.

Conclusions. The present study is the first aimed to prove the potentiality of innovative methods, such as microradiology analysis and 3D printing of bones of vertebral district, for forensic traumatology purposes.

INTRODUZIONE

Lesioni d'arma bianca: definizioni e analisi morfometrica

Le armi bianche sono oggetti dotati di una punta e/o di almeno un margine tagliente. A seconda del meccanismo con cui un'arma bianca viene utilizzata, si vengono a produrre differenti lesioni (ferite da taglio, ferite da punta, ferite da punta e taglio). Le ferite da punta originano per pressione e penetrazione di una punta, mentre le ferite da taglio per strisciamento e recisione da parte di un margine tagliente; se i due meccanismi coesistono la ferita sarà definita "da punta e taglio". Tra le lesioni da arma bianca rientrano anche le ferite da fendente, che hanno la peculiarità di presentare dei fenomeni contusivi, in quanto prodotte da lame di peso notevole (1).

In presenza di una lesione d'arma bianca, il patologo forense ha il compito di riconoscere il mezzo che ha prodotto il quadro lesivo (coltello, accetta, sega) e definirne le caratteristiche (spessore e lunghezza), oltre a stabilire la direzione dello stesso durante l'impatto, la forza utilizzata dall'aggressore, l'impugnatura con cui è stato utilizzato il mezzo, le posizioni reciproche di vittima e aggressore durante l'evento e, perciò, di ricostruire la dinamica dello stesso (2). A tal fine, il patologo forense deve documentare la lesione in modo oggettivo, definendone sede, forma, dimensioni, colore, margini, fondo e, in aggiunta, ottenere immagini fotografiche e/o videofotografiche (1), in modo da consentire la fruibilità e la rivalutazione del quadro lesivo anche da parte di altri esperti lontani fisicamente o a distanza di tempo.

L'elemento chiave per risalire al mezzo di produzione di un quadro lesivo è la sua analisi morfometrica, ossia lo studio della forma e delle dimensioni (lunghezza, larghezza, profondità).

Carew ed Errickson (3) classificano le varie tecniche di imaging utilizzate per la documentazione di lesioni sulla base del loro metodo di acquisizione in riflettenti e trasmissive. Le tecniche riflettenti sono utilizzate soprattutto per la documentazione di lesioni superficiali, tra queste rientrano la fotogrammetria e i 3D surface scanner, i quali permettono di acquisire e preservare sia l'informazione colorimetrica sia la

tridimensionalità delle lesioni e di condurre un'analisi morfometrica con buona riproducibilità rispetto al metro analogico, come confermato da Villa et al. (4).

Tra le tecniche trasmissive, comunemente utilizzate anche in clinica, si trovano invece TC e RM, che stanno trovando sempre maggiore impiego nell'ambito forense. Si pensi che il primo utilizzo dei Raggi X per scopi forensi risale a solo un anno dopo la loro scoperta da parte di Roentgen, nel 1896, quando Schuster (5) li sfruttò in un caso di lesione d'arma da fuoco.

Ad oggi, le tecniche di imaging radiologico forense più utilizzate sono la tomografia computerizzata post-mortem (PMCT), l'angioTC post-mortem (PMCTA) e la risonanza magnetica post-mortem (PMMR). In generale, queste tecniche evitano la deturpazione del cadavere ed altre sue manipolazioni, consentendo di preservarne l'integrità, aspetto importante in alcune credenze religiose (6). Inoltre, differentemente dall'indagine autoptica, l'imaging radiologico fornisce dati oggettivi e accessibili in qualsivoglia momento e a distanza di anni, soprattutto nel caso in cui si necessiti di una rapida consultazione tra specialisti, anche in sedi lontane a dove si svolge l'esame, superando i limiti posti da fenomeni trasformativi cui potrebbe andare incontro il reperto e dalle manipolazioni autoptiche. I dati raccolti e archiviati attraverso l'imaging radiologico, inoltre, possono essere rielaborati e manipolati al fine di ottenere ricostruzioni bidimensionali (MIP – Maximum Intensity Projection, MinIP – Minimum intensity Projection, MPR – Multiplanar reformation) e tridimensionali (VR – Volume rendering, CR – Cinematic rendering) (7).

Tra le tecniche citate, la TC si è dimostrata in più occasioni superiore all'indagine autoptica, soprattutto per reperti difficilmente valutabili al solo esame esterno, per esempio nella ricostruzione del tramite di lesioni da arma da fuoco e nell'identificazione di frammenti di proiettili (8),(9) o di schegge metalliche, come nel caso studiato da Ebner et al. (10) in cui la punta di una lama era rimasta in sede dopo un accoltellamento. Anche la presenza di aria intravascolare (embolie gassose) o extravascolare (pneumotorace, pneumoperitoneo, enfisema polmonare) (11) è evidenziabile più agevolmente con PMCT piuttosto che all'autopsia.

Infine, va citata come tecnica di imaging innovativa la stampa 3D, la quale ha visto negli ultimi decenni un rapido sviluppo di materiali e tecnologie tant'è che è stata applicata in

svariati settori. Tuttavia, in Letteratura, rimangono ancora pochi i casi in cui la stampa 3D è stata applicata in ambito forense (12).

Lesioni d'arma bianca sull'osso: definizioni e analisi morfometrica

Un'arma bianca a livello dell'osso può generare differenti quadri lesivi. In generale, un segno di taglio a livello dell'osso può essere descritto come una scanalatura, composta da due pareti e un pavimento. Tale segno inevitabilmente differisce a seconda del tipo di arma bianca che lo produce, risultando avere, ad esempio, un aspetto a V se prodotto da coltello (il quale ha una superficie tagliente lunga e sottile che si assottiglia ad angolo stretto). Il segno di taglio prodotto da un coltello da cucina sarà molto piccolo, quello provocato da una sega sarà più grande. Il taglio può arrivare a sezionare completamente l'osso, dividendolo in due, in tal caso saranno esaminabili solo le pareti del taglio stesso. Una lesione importante è la false start (falsa partenza) che si riferisce ad un taglio che intacca parzialmente l'osso e si ferma superficialmente, non arrivando a sezionarlo completamente; in questo caso, saranno analizzabili sia le pareti che il pavimento di taglio, permettendo di fare una stima dell'ampiezza della lama (13).

Lesioni d'arma bianca sull'osso si riscontrano nel contesto di depezzamenti e disarticolazioni post-mortali, che si distinguono tra loro perché nel secondo caso la separazione di parti del corpo avviene in corrispondenza delle articolazioni. Nel depezzamento, invece, il taglio non segue i piani articolari fisiologici, ma può interessare qualsiasi struttura, osso compreso. Spesso sono i coltelli ad essere usati per la disarticolazione, dal momento che la loro lama sottile può essere usata per tagliare in corrispondenza delle articolazioni. Le seghe, al contrario, sono più frequentemente utilizzate nel depezzamento, per la maggiore facilità con cui possono passare attraverso l'osso (14). Dall'analisi dei segni di taglio è necessario ricavare informazioni che vadano a definire caratteristiche di classe (che indicano la categoria cui appartiene lo strumento utilizzato, per esempio: coltello, ascia, sega) ed individuali (che consentono l'individuazione del mezzo utilizzato nel caso specifico) dello strumento utilizzato per produrli (15).

Quando si utilizza una sega o un coltello per tagliare un osso, la signature dello strumento tagliente viene impressa sul pezzo (16) e può essere sfruttata per risalire al mezzo di produzione del quadro lesivo e alle sue caratteristiche. Symes et al. sono stati i primi a studiare i segni lasciati da armi bianche su femori e tibie utilizzando il microscopio ottico. Nel loro lavoro, si sono serviti di 26 seghe e coltelli seghettati per simulare lesioni, concludendo che la sega utilizzata poteva essere riconosciuta in termini di serie di denti e distanza tra questi ultimi (17). Ad oggi, per lo studio di lesioni ossee d'arma bianca si predilige il microscopio ottico a scansione (SEM) (18),(19),(20). Per documentare le lesioni al microscopio, però, è necessario preparare il pezzo adeguatamente, talvolta sezionandolo per esporre le pareti di taglio; quindi l'analisi al SEM, a fronte di un'ottima risoluzione, implica l'inevitabile manipolazione del reperto.

La PMCT si è rivelata una tecnica molto utile per lo studio di lesioni ossee ed è stata utilizzata in numerosi studi, come quello di Poulsen e Simonsen (21) i quali ne hanno esaltato il potenziale per l'osservazione di fratture multiple e fratture da schiacciamento. La PMCT, infatti, consente di osservare le fratture senza il rischio di dislocare i frammenti ossei, al contrario della dissezione. Un altro studio di Schnider (22) ha sottoposto 12 cadaveri con ferite mortali da taglio a PMCT prima di procedere all'autopsia forense con lo scopo di capire se questa fosse utile nel rilevamento di corpi estranei, del tramite delle ferite, di lesioni scheletriche e d'organo. In questo studio, la PMCT è riuscita a individuare tutte le lesioni scheletriche poi ritrovate all'autopsia.

Sebbene la TC riesca a identificare in modo efficace le lesioni ossee in situ, a causa della sua risoluzione spaziale, solitamente di circa 600 μm , non permette di rilevare dettagli importanti per risalire alle caratteristiche del mezzo di produzione e questo limite influisce in particolare sulla rilevazione e valutazione di lesioni ossee da arma bianca.

La micro-TC, invece, avendo una risoluzione spaziale di 500 nm –120 μm , paragonabile a quella della microscopia ottica, si è dimostrata uno strumento utile per correlare una lesione ossea d'arma bianca allo strumento che l'ha generata. Thali et al. (23) sono stati i primi ad utilizzarla per questo scopo e, dopo di loro, la micro-TC è stata studiata da numerosi gruppi di lavoro. Alsop et al., ad esempio, hanno simulato lesioni su femori e

tibie utilizzando n. 38 seghe di vari tipi, confermando che lo studio di queste lesioni con micro-TC, combinato a un modello statistico, può definire lo spessore della lama del mezzo con una precisione fino al 100% (24), mentre un altro studio (25) ha indagato precisione, accuratezza e affidabilità dell'analisi micro-TC di lesioni d'arma bianca prodotte sperimentalmente su campioni di ossa umane (peroneo, metatarso, falange) con tre diverse seghe, dal punto di vista morfologico e morfometrico, ottenendo elevati livelli per ognuna delle tre caratteristiche esaminate. Un altro studio (26) ha simulato 14 lesioni con n. 2 coltelli, uno seghettato e uno non seghettato, su costole di maiale lasciate essiccare, e ha confrontato le acquisizioni micro-CT di queste ultime con la loro visualizzazione al SEM, concludendo che la forma della lesione veniva valutata con migliore precisione usando immagini acquisite tramite micro-CT rispetto alla microscopia. Inoltre, nello stesso studio, si è visto come la micro-TC possa correttamente determinare il tipo di coltello e lo spessore della sua lama (attraverso la misurazione della larghezza della lesione), la direzione del colpo e l'orientamento della lama rispetto al tessuto colpito (attraverso la misurazione dell'angolo del segno di taglio).

Stampante 3D: nuova frontiera

La stampa 3D è un processo attraverso cui un modello digitale tridimensionale viene convertito in un modello fisico con l'impiego di stampanti 3D.

Per la creazione di modelli 3D è necessario seguire alcuni step: acquisizione e segmentazione dell'immagine, creazione di un modello 3D, post-elaborazione per correggere eventuali artefatti ottenuti durante l'acquisizione e trasferimento dei dati del modello ad una stampante 3D. Le immagini ottenute attraverso le tecniche radiologiche sono acquisite in formato DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) e possono essere utilizzate per la stampa 3D solo previa conversione in un altro formato attraverso apposito software; il più utilizzato è il formato STL (Standard Tessellation Language o STereoLithography) (27).

Il primo studio che ha sfruttato la stampa 3D in ambito forense è quello di Ebert et al., il quale ha ottenuto con successo varie stampe 3D, una di rottura di rene, un'altra di un

cuore infartuato, un'altra ancora di una frattura cranica. I dati digitali utilizzati per la stampa sono stati acquisiti attraverso angio-TC, RM e scansione di superficie. Inoltre, è stato riprodotto in 3D anche un segno di un morso, combinando la fotogrammetria alle scansioni di superficie (28).

In genere i dati utilizzati per la stampa 3D a partenza da acquisizione TC o RM, pur avendo bassa risoluzione (dimensione voxel di 0,7 mm), hanno dato risultati soddisfacenti, seppure con limiti. Ad esempio, la trama trabecolare ossea viene persa nei modelli 3D ricostruiti da acquisizioni TC, come evidenziato da Carew et al. (29). Sfruttando la micro-TC, la risoluzione può essere migliorata (dimensioni dei voxel inferiori a 1 micron, <0,001 mm), aumentando la nitidezza dei dettagli, come sostenuto da Shelmerdine et al. (30), che hanno stampato in 3D campioni craniofacciali, modelli di cardiopatie congenite, riproduzioni della vascolarizzazione placentare, e resti archeologici di osso.

All'interno del concetto di stampa 3D, sono racchiusi numerosi e differenti metodi di stampa. L'American Society for Testing and Materials negli USA ha standardizzato i diversi metodi di stampa in sette gruppi, trascritti nella tabella seguente (*Figura 1*) (12).

A seconda della qualità di stampa, dell'utilizzo che si desidera fare del modello 3D stampato, si sceglierà la metodica di stampa più adatta, considerando anche altri fattori limitanti come i costi, le tempistiche e le proprietà dei materiali utilizzati dalla stampante.

In ambito forense, più studi hanno confrontato varie tecniche e stampanti 3D applicate allo studio di ossa. In particolare, Carew et al. (31) hanno riprodotto tre ossa umane, un cranio, una clavicola e un metatarso mediante sei tipi di stampante 3D, comparando misurazioni dai reperti autoptici, dai modelli 3D virtuali e dal modello 3D stampato. Tale studio ha concluso che i modelli virtuali 3D e i modelli 3D stampati erano in media accurati rispetto ai reperti autoptici, con differenze medie di 1,2 mm, valore inferiore alla soglia limite di 2,0 mm, proposta da Stull et al. (32), a prescindere dalla stampante 3D utilizzata. La stampante 3D SLS, però, ha dimostrato dei punti di forza in quanto non necessita di strutture di supporto durante la stampa e la qualità della superficie delle stampe è stata giudicata migliore rispetto alle altre. Uno studio di Msalemm et al., invece, ha riprodotto modelli 3D di mandibola utilizzando 5 tipi di stampanti (SLS, SLA, MJ, BJ, FFF), concludendo

come la scelta della stampante debba essere principalmente guidata dal budget a disposizione, dai materiali di stampa a disposizione e dall'utilizzo che si dovrà fare del modello 3D, in quanto le differenze di accuratezza e precisione delle diverse stampanti studiate si sono dimostrate tra loro non significative (33).

L'utilizzo della stampa 3D è promettente anche nel corso di un processo. A tal proposito,

Method	Description
Material extrusion (or fused deposition modeling, FDM)	In FDM, the material is released from a spool via an extrusion head that heats-up to dispense the material via a nozzle; this is deposited in layers onto a build platform. A variety of materials can be used (such as metal, plastic and polymers) that can vary in properties and are available in a variety of colors.
Vat polymerization (e.g., stereolithography, SLA)	Vat polymerization uses a liquid photopolymer material (plastic or polymer) that is selectively cured using a light source (e.g., a laser) within the build chamber. The print is built up layer by layer, with the build platform moving downwards after each layer is cured. The final part is cleaned and postprocessed by exposure to UV light to strengthen the build, followed by removal of support materials.
Binder jetting (BJ)	A bed of powder material (e.g., gypsum, metal or acrylic) is selectively bound using a jet of liquid bonding agent. The layers are successively added and fused, and unfused powder is removed postprinting. Postprocessing (such as thermal sintering) is needed to finish the build. Binder jetting is capable of full-color prototyping and does not use support structures.
Material jetting (MJ) (Polyjet)	Material jetting uses a liquid photopolymer material (e.g., plastic, metal or wax), which is jetted onto a build tray and cured (e.g., using light/heat) similar to a traditional inkjet printer. Multiple colors and materials may be used in one build. Additionally, separate support materials are used (e.g., from gel or wax) that can be easily removed.
Powder bed fusion (e.g., selective laser sintering, SLS)	A chamber containing a powder bed of material (metal, plastic, ceramic, or glass) is selectively fused by a source of high energy (e.g., a laser or electron beam). The build is supported by the un-sintered powder material, enabling features such as overhanging edges to be built without the use of support structures.
Sheet lamination	Layers of material (e.g., paper, plastic or metal composite) are bonded together as they are laid using an adhesive. The desired shape is cut into each layer (e.g., using a laser or knife).
Direct energy deposition (DPD)	The material (e.g., polymer, ceramic or metal) is fused simultaneously as it is deposited onto the build platform using a high energy source (e.g., using a laser or electron beam) layer by layer. DPD uses a deposition nozzle on a multi axis arm for specific deposition.

Figura 1: Sintesi dei sette metodi di stampa 3D, tabella tratta da Carew et al (12).

sono stati condotti diversi studi che si proponevano di capire quale fosse la modalità migliore per presentare un mezzo di prova ad una corte di tribunale. Blau et al., ad esempio, hanno concluso che la combinazione di una discussione verbale e la visione di una stampa 3D fosse la forma di maggior comprensione da parte dei partecipanti a tale

studio (34). Un altro studio ha arruolato 91 individui ai quali è stato assegnato in modo casuale un formato di prove visive in una finta simulazione in aula. I formati disponibili erano tre e includevano fotografie, visualizzazioni 3D o un modello stampato in 3D. I risultati hanno confermato che l'uso dell'imaging 3D facilita la comprensione del linguaggio tecnico adottato nei tribunali da parte dei giurati (35).

Per utilizzare dei dati in un processo, è necessario che la tecnica con cui essi sono stati acquisiti sia stata validata e riconosciuta. Questa accettazione è subordinata al rispetto di criteri, diversi a seconda dalla nazione in cui prende parte il processo, tra i quali i più conosciuti sono quelli di Daubert/Frye (25): controllabilità empirica della teoria; sottoposizione della teoria ad una revisione critica da parte degli esperti di settore (peer review e publication), percentuale di errore attribuito alla teoria, widespread acceptance. Altri ancora sono le Norme di Procedura penale (CrimPR parte 19, Perizie) nel Regno Unito, le Federal Rules of Evidence (611 e 1006, in materia di ammissione di mostre dimostrative) negli USA (31).

Ad oggi, non esistono sufficienti pubblicazioni in Letteratura che consentano di sfruttare i dati della micro-TC in un processo. Nell'ottica di implementare l'attuale gold standard con nuove tecniche più performanti, riproducibili e comprensibili, diventa quindi necessario approfondire con ulteriori studi la micro-TC e la stampa 3D. Il gruppo di lavoro di Baier et al. ha già proposto un metodo per validare le stampe 3D, comparando le acquisizioni micro-TC di lesioni da arma bianca su ossa di maiale e le acquisizioni con blue light laser scanner dei modelli 3D stampati con 3 tipi di stampanti, concludendo che l'uso di stampe 3D per misurare caratteristiche inferiori a 3 millimetri non è attualmente raccomandato in ambito forense (36). Carew et al. (37), al contrario, sostengono che non vi siano differenze statisticamente significative tra misurazioni ottenute da modelli 3D stampati e modelli 3D virtuali, indicando come la stampa 3D ottenuta da dati acquisiti da micro-TC possa diventare una vera e propria risorsa in ambito forense.

SCOPO DELLO STUDIO

In ambito di traumatologia forense le vertebre possono essere lesionate da svariate tipologie di armi bianche (armi da punta e taglio di piccole dimensioni, armi da taglio, fendenti, seghe), sia in soggetti vivi e vitali, sia nel post-mortem (in seguito a depezzamento o disarticolazione del rachide). Tali distretti sono difficilmente studiabili durante l'esame autoptico a causa della sede e delle molteplici strutture circostanti (altre ossa, legamenti, midollo spinale).

Anche l'uso delle tecniche radiologiche tradizionali ha mostrato diversi limiti nella caratterizzazione morfometriche delle lesioni ossee a livello vertebrale a causa della limitata risoluzione.

Nonostante ciò, sebbene in letteratura siano stati pubblicati svariati lavori casistici e sperimentali sullo studio di lesioni da arma bianca sull'osso mediante tecnica micro-radiologica, sussiste una carenza di studi su ossa vertebrali umane. Infatti, ad oggi, è stato pubblicato un unico lavoro da Alsop et al. in cui la micro-TC è stata impiegata in un caso di depezzamento per la scansione di 2 vertebre cervicali, con rilievo di un unico false start sulla lamina sinistra di C5 con orientamento parallelo al piano trasverso (CIT).

Pertanto, scopo del presente studio è analizzare mediante una micro-TC delle vertebre prelevate in sede di autopsia giudiziaria al fine di:

- identificare e classificare le lesioni da arma bianca;
- caratterizzarle dal punto di vista morfometrico;
- correlarle con i mezzi di produzione desumibili dai dati circostanziali.

Inoltre, in un caso, partendo da dati microradiologici, sarà eseguita una stampa 3D delle vertebre, confrontando le lesioni riprodotte con quelle rilevate mediante software di ricostruzione 3D.

MATERIALI E METODI

Campione casistico

La casistica considerata consiste in segmenti di rachide, composti da vertebre articolate tra loro o prese singolarmente, inviate all'Istituto di Medicina Legale di Padova con la richiesta di essere sottoposte a imaging microradiologico. Sono stati oggetto di studio i campioni che, secondo i dati circostanziali e necroscopici forniti, potevano presentare lesioni d'arma bianca a livello vertebrale.

Raccolta dei dati

Per ciascun caso si sono registrati dati circostanziali e necroscopici, in particolare circa la dinamica dell'evento violento che avrebbe potuto generare lesioni d'arma bianca (decapitazione, depezzamento, omicidio) e possibile mezzo di produzione delle stesse.

Acquisizione ed esame macroscopico del campione

I diversi reperti autoptici si presentavano conservati in barattoli ermetici etichettati, conservati in soluzione formalinica o congelati.

Ogni campione è stato estratto dal corrispondente barattolo, asciugato qualora conservato in formalina, ispezionato accuratamente per individuare possibili lesioni riconducibili a lesioni d'arma bianca e poi adagiato su un ripiano solido, a fianco di un riferimento metrico, per l'acquisizione di immagini fotografiche.

Micro-TC

Ogni reperto è stato analizzato con una micro-TC ad alta risoluzione (Skyscan 1275, Bruker, Kontich, Belgio), locata presso il Dipartimento di Medicina dell'Università di Padova (*Figura 2*). Il protocollo di acquisizione era il seguente:

- 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.



Figura 2: Micro-TC

Ricostruzione tridimensionale in CTVox

In CTVox (Figura 3), previa modifica di opacità, ombre, surface lighting, sono state ricostruite immagini 3D sia su sfondo nero sia su sfondo grigio, al fine di identificare le vertebre e classificare lesioni d'arma bianca.

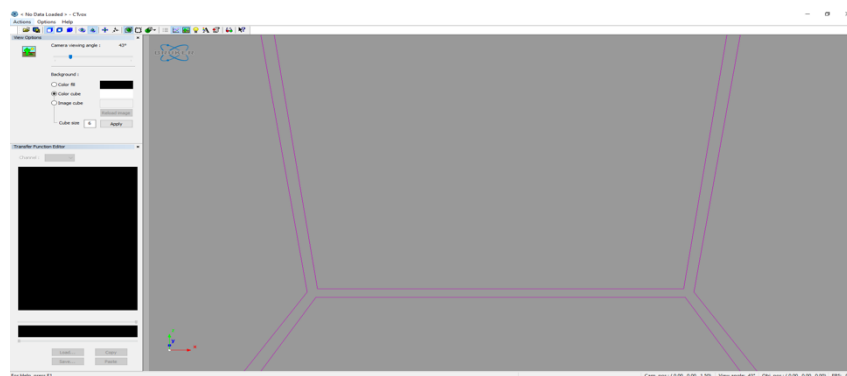


Figura 3: Schermata di apertura del software CTVox.

Ricostruzione MPR in OsiriX Lite

Prima di utilizzare OsiriX Lite (Figura 4), i dati acquisiti mediante micro-TC sono stati convertiti in formato .dcm mediante il software DicomCT.

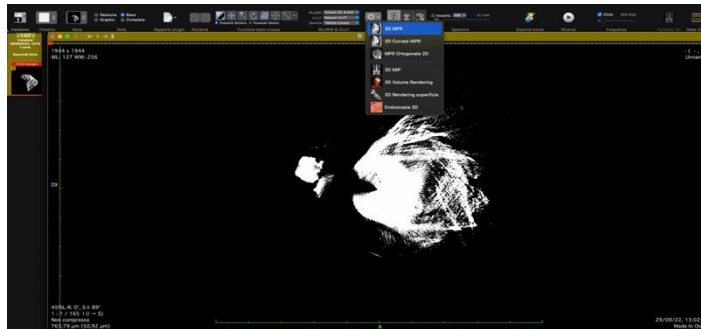


Figura 5: Schermata di apertura di CTVox.

Una volta caricati i dati in OsiriX, i reperti sono stati studiati nella ricostruzione 3D MPR, impostando “Dinamica piena” nella voce WL/WW e “Tabella lineare” in Opacità (Figura 5). Una volta identificate, le lesioni di interesse sono state osservate nelle varie proiezioni, caratterizzate per la loro morfologia e, quando possibile, documentate mediante lo strumento “Lunghezza” per la misurazione di lunghezza, larghezza, profondità e attraverso lo strumento “Angolatura” per la misurazione di angoli di taglio nel caso di sezioni complete.

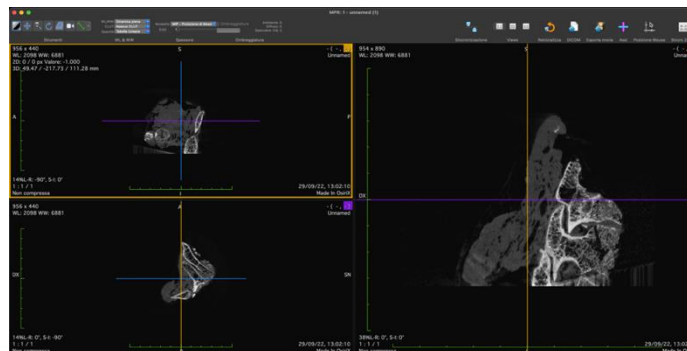


Figura 4: Ricostruzione 3D MPR in OsiriX Lite con impostazione dei parametri WL/WW e Opacità.

Stampa 3D

I file in formato DICOM sono stati convertiti in formato STL e successivamente è stata eseguita stampa 3D in resina mediante stampante 3D Formlabs Form 3L+ locata presso il Laboratorio di simulazione 3D "Dott. Lorenzo Bagozzi" del Dipartimento di Scienze Cardio-toraco-vascolari e di Sanità Pubblica dell'Università di Padova (Figura 6).

Successivamente sono stati eseguiti lavaggio e polimerizzazione mediante Anycubic Wash e Cure Box.

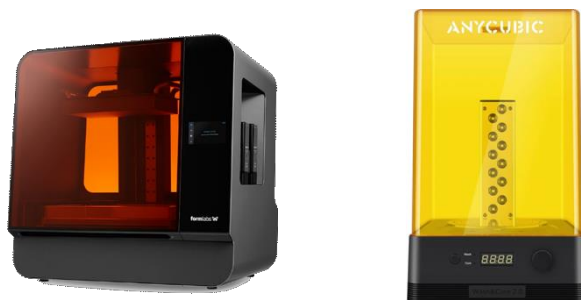


Figura 6: Stampante 3D Formlabs Form L3+ a sinistra e Anycubic Wash a destra.

Il modello 3D ottenuto è stato ispezionato per identificare possibili lesioni d'arma bianca ed in seguito fotografato con l'utilizzo di un box fotografico.

RISULTATI

In questo studio sono stati presi in esame 5 casi autoptici da cui si sono ottenuti 8 reperti anatomici. Uno di questi si componeva di una vertebra singola mentre i rimanenti erano composti da vertebre articolate tra loro, per un totale di vertebre analizzate pari a 21, come riassunto nella *Tabella 1*, in cui viene inclusa la modalità di conservazione del pezzo anatomico.

	N° reperto	N° di vertebre	Conservazione del campione
Caso 1	1	3	Congelamento -20°C
	2	3	Congelamento -20°C
	3	4	Congelamento -20°C
Caso 2	1	1	Congelamento -20°C
Caso 3	1	2	Formalina
	2	2	Formalina
Caso 4	1	3	Formalina
Caso 5	1	3	Formalina

Tabella 1: Casistica analizzata.

CASO 1

Dati circostanziali e necroscopici

Uomo deceduto in seguito a plurime lesioni d'arma bianca, successivamente depezzato. I mezzi di produzione sono stati identificati in un'ascia e in tre coltelli da cucina, di cui uno seghettato.

Reperto 1

Analisi macroscopica

All'ispezione del pezzo anatomico, stante la presenza di tessuti molli e le alterazioni di colore e consistenza dovute alla metodica di conservazione, non è stato possibile identificare con sicurezza il segmento di appartenenza delle vertebre, né le parti delle vertebre stesse (corpi vertebrali, processi trasversi, processi spinosi). Non sono altresì riconoscibili lesività (*Figura 7 e 8*).

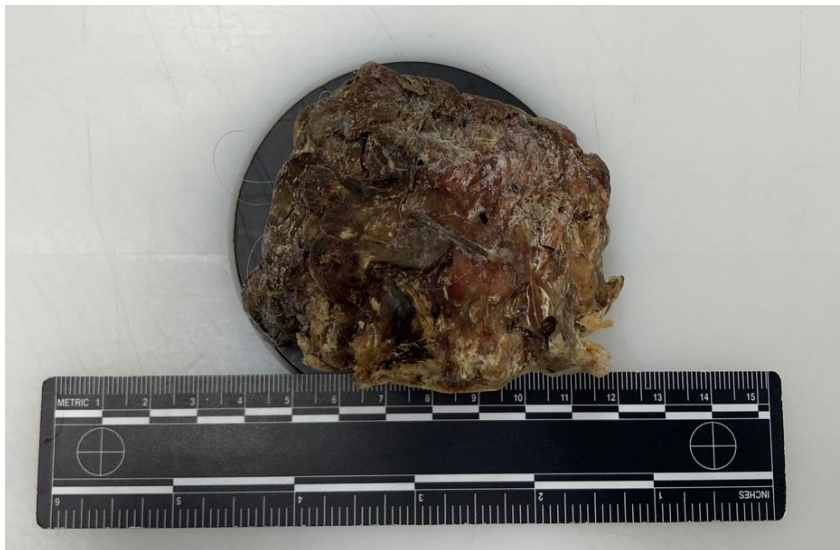


Figura 7: Visione anteriore.



Figura 8: Visione superiore.

Ricostruzione microradiologica tridimensionale

La ricostruzione tridimensionale con software CTVox consente di identificare il segmento come composto dalle vertebre C3, C4 e C5. Si riportano di seguito le visioni acquisite (Figure 9-14).

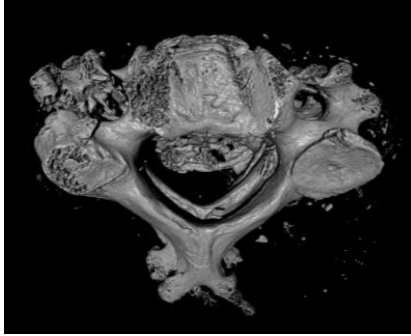


Figura 9: Visione superiore.

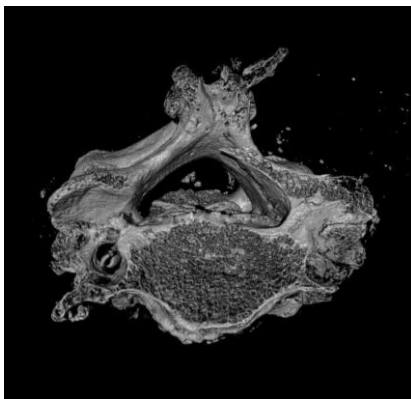
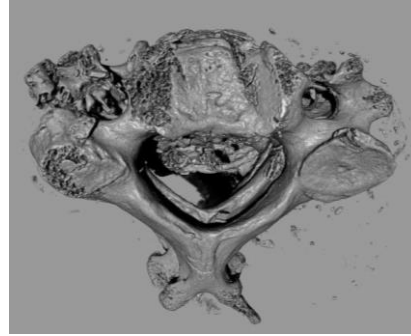


Figura 10: Visione inferiore.

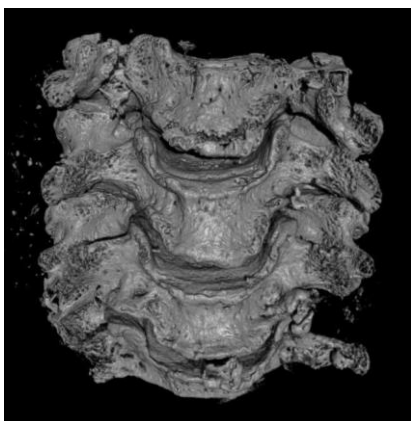
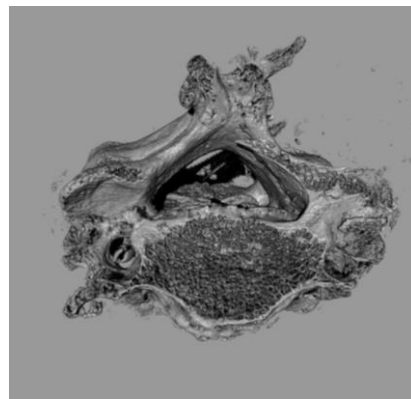
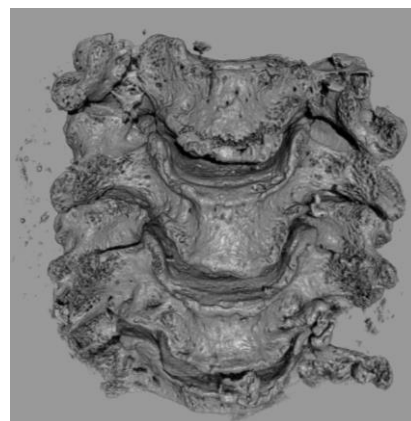


Figura 11: Visione anteriore.



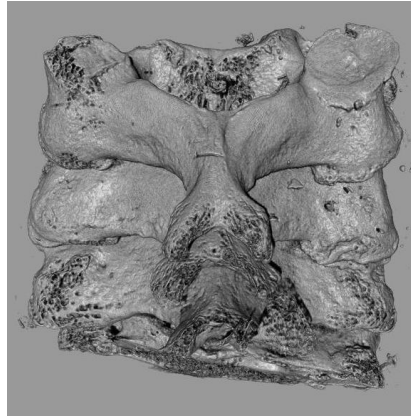
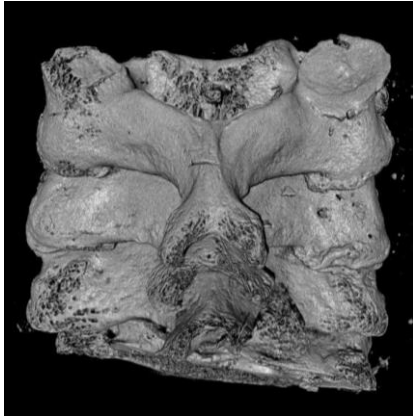


Figura 12: Visione posteriore.

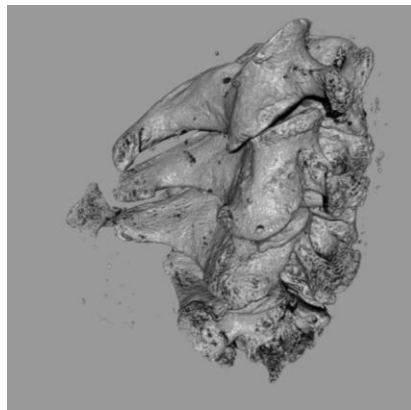
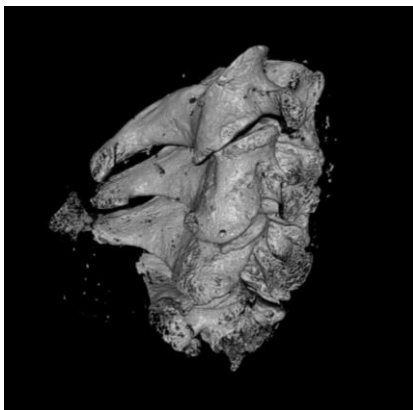


Figura 13: Visione laterale destra.

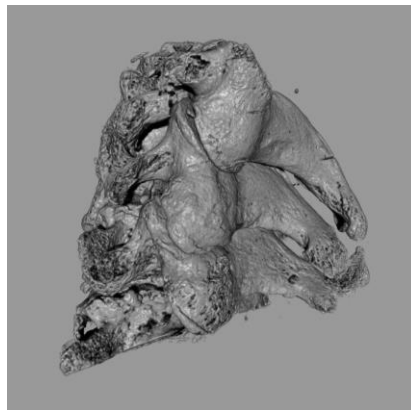
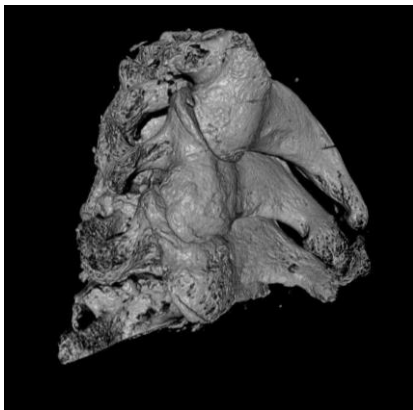


Figura 14: Visione laterale sinistra.

Si rilevano quattro lesioni:

- **Lesione A:** sulla faccia superiore del corpo della vertebra più craniale del segmento, nella sua porzione anteriore sinistra, interruzione della continuità corticale lineariforme con direzione postero-anteriore e medio-laterale, a margini netti. Nella visione anteriore, la stessa lesione appare localizzata nella porzione

superiore sinistra della faccia anteriore del corpo vertebrale, con direzione cranio-caudale e medio-laterale, avente margini netti (*Figura 15 e 16*, freccia blu).

- **Lesione B:** sulla faccia superiore del corpo della vertebra più craniale del segmento, nella sua porzione anteriore destra, interruzione della corticale lineariforme con direzione postero-anteriore e latero-mediale a margini netti. Nella visione anteriore, la stessa lesione appare localizzata nella porzione superiore destra della faccia anteriore del corpo vertebrale, con direzione cranio-caudale e medio-laterale, avente margini netti (*Figura 15 e 16*, freccia viola).

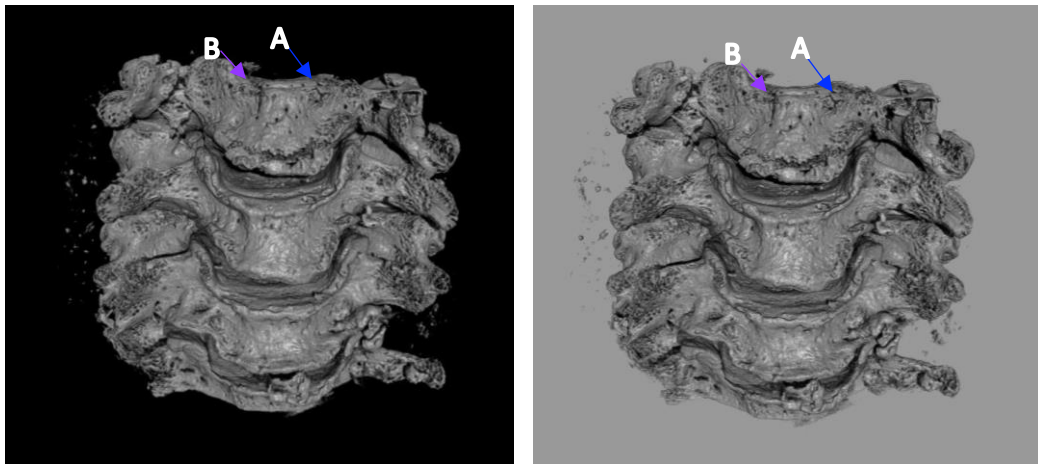


Figura 15: Visione anteriore con lesioni contrassegnate.

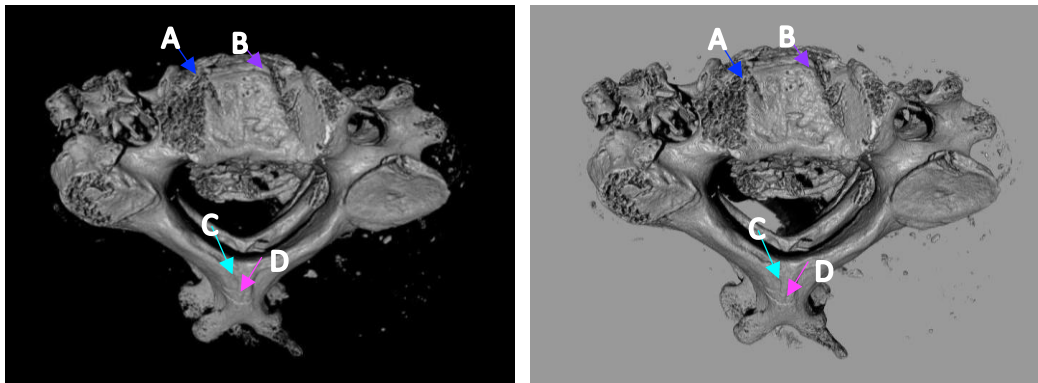


Figura 16: Visione superiore con lesioni contrassegnate.

- **Lesione C:** sul margine superiore della porzione sinistra della radice del processo spinoso della vertebra più craniale, minima interruzione della corticale lineariforme a direzione medio-laterale, perpendicolare all'asse maggiore del processo spinoso stesso, a margini netti (*Figura 16, 17 e 18*, freccia azzurra).

- **Lesione D:** sul margine superiore della radice del processo spinoso della vertebra più craniale, interruzione della corticale lineariforme che attraversa quasi tutta la dimensione minore del processo spinoso stesso, parallela e più caudale alla precedente, a margini netti (*Figura 16, 17 e 18, freccia fucsia*).

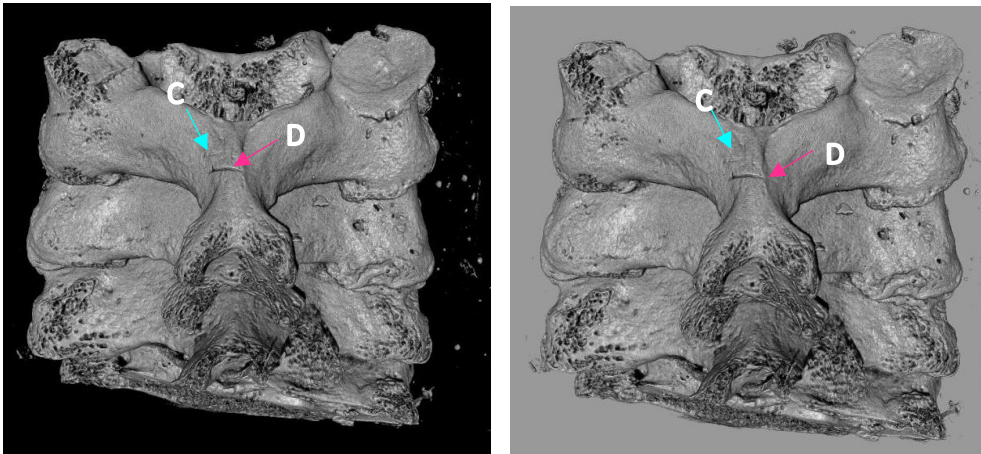


Figura 17: Visione posteriore con lesioni contrassegnate.

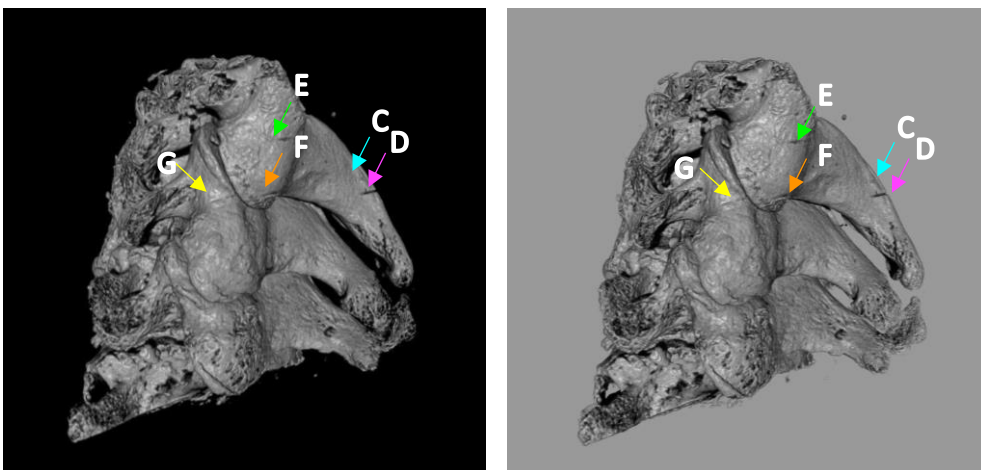


Figura 18: Visione laterale sinistra con lesioni contrassegnate.

- **Lesione E:** in corrispondenza della porzione superiore della faccia laterale del processo articolare sinistro della vertebra craniale, interruzione della corticale lineare, con direzione postero-anteriore e cranio-caudale, perpendicolare all'asse verticale, a margini netti (*Figura 18, freccia verde*).
- **Lesione F:** in corrispondenza della porzione più inferiore della faccia laterale del processo articolare sinistro della vertebra craniale, interruzione della corticale lineare, con direzione postero-anteriore e cranio-caudale, a margini netti (*Figura 18, freccia arancione*).

- **Lesione G:** localizzata antero-inferiormente alla faccetta articolare superiore della seconda vertebra del reperto, interruzione della corticale lineare, con direzione postero-anteriore e cranio-caudale, a margini netti (*Figura 18*, freccia gialla).

Ricostruzione microradiologica MPR

Lesione A e Lesione B

È stato possibile individuare sia la Lesione A che la Lesione B. Si sono misurate le dimensioni in proiezione assiale (riquadro arancione, *Figura 19 e 20*).

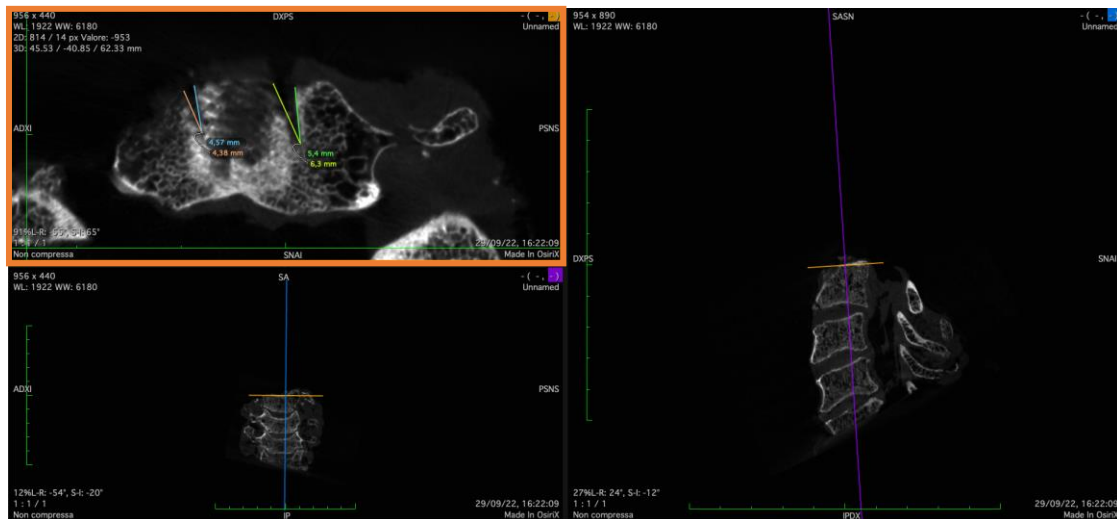


Figura 19: Misurazione delle dimensioni in proiezione assiale di Lesione A e Lesione B in OsiriX Lite. Nel riquadro arancione si osserva la proiezione assiale, in basso a sinistra la proiezione frontale, a destra la proiezione sagittale.

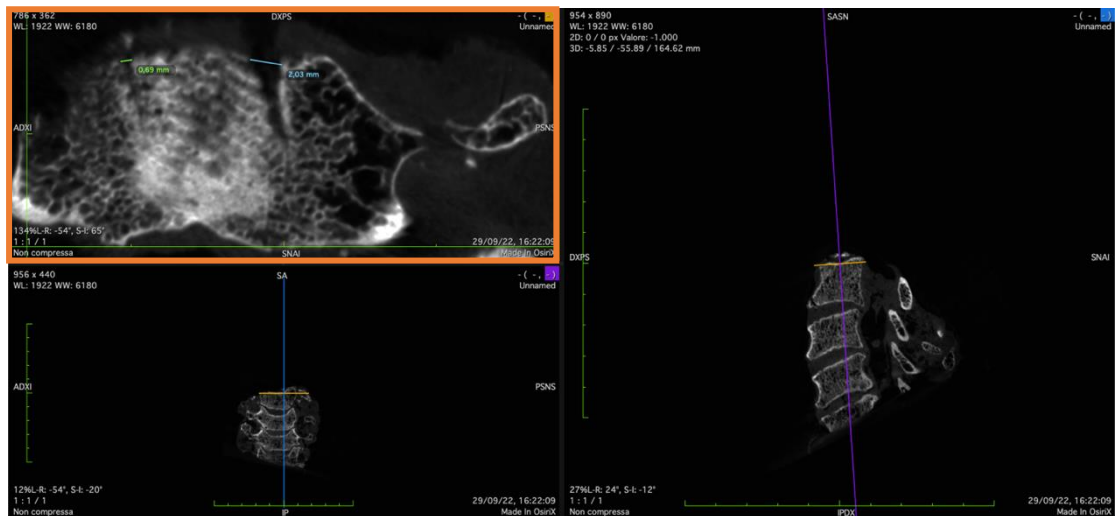


Figura 20: Misurazione delle dimensioni in proiezione assiale di Lesione A e Lesione B in OsiriX Lite. Nel riquadro arancione si osserva la proiezione assiale, in basso a sinistra la proiezione frontale, a destra la proiezione sagittale.

In proiezione assiale le due lesioni appaiono come due triangoli di cui sono state prese le seguenti dimensioni:

- Lesione A: base di 0,69 mm, lato sinistro di 4,57 mm, lato destro di 4,38 mm.
- Lesione B: base di 2,03 mm, lato sinistro di 5,4 mm, lato destro di 6,3 mm;

Lesione C e Lesione D

Sia la Lesione C che la Lesione D sono state riconosciute e ne sono state misurate le dimensioni (riquadro blu, *Figura 21 e 22*).

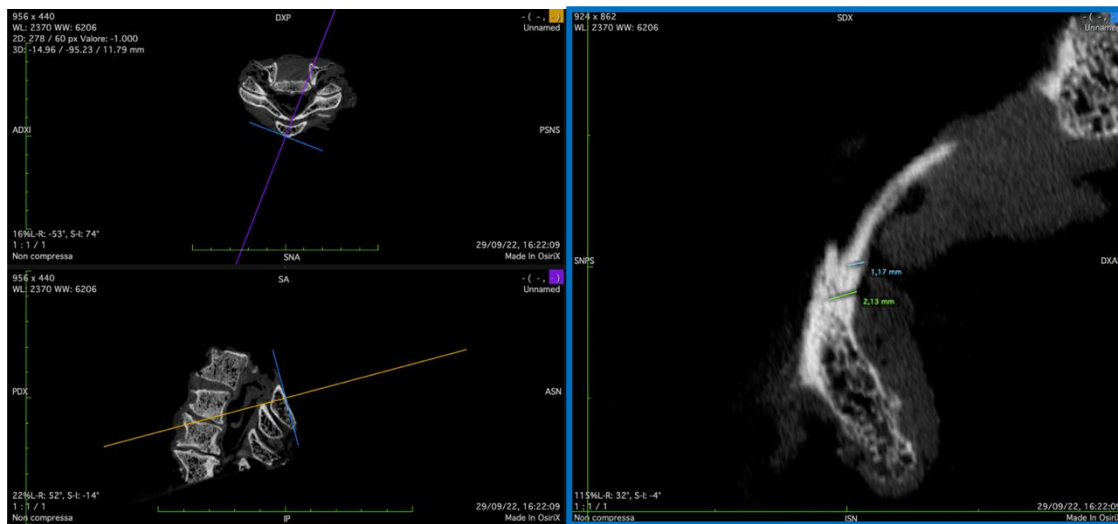


Figura 21: Misurazione delle dimensioni di Lesione C e Lesione D in proiezione frontale in OsiriX Lite. Nel riquadro blu si osserva la proiezione frontale, in basso a sinistra la proiezione sagittale, in alto a sinistra la proiezione assiale.

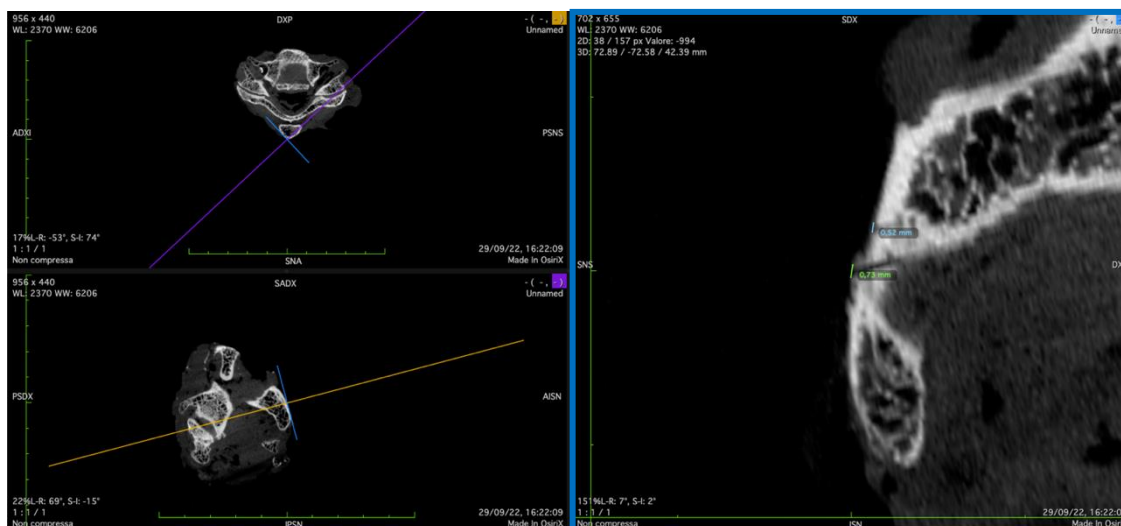


Figura 22: Misurazione delle dimensioni di Lesione C e Lesione D in OsiriX Lite.

La Lesione C presenta una lunghezza di 1,17 mm e una larghezza pari a 0,52 mm. La Lesione D presenta una lunghezza di 2,13 mm e una larghezza pari a 0,73 mm.

Lesione E

La Lesione E (*Figura 12*) è stata identificata e sono state misurate le dimensioni in proiezione frontale (riquadro verde, *Figura 23*) e in proiezione sagittale (riquadro verde, *Figura 24*).



Figura 23: Misurazione delle dimensioni della Lesione E in proiezione frontale in OsiriX Lite. Nel riquadro verde si osserva la proiezione frontale, la metà sinistra offre un ingrandimento della metà destra. In basso a sinistra si vede la proiezione sagittale, in alto a sinistra la proiezione assiale.

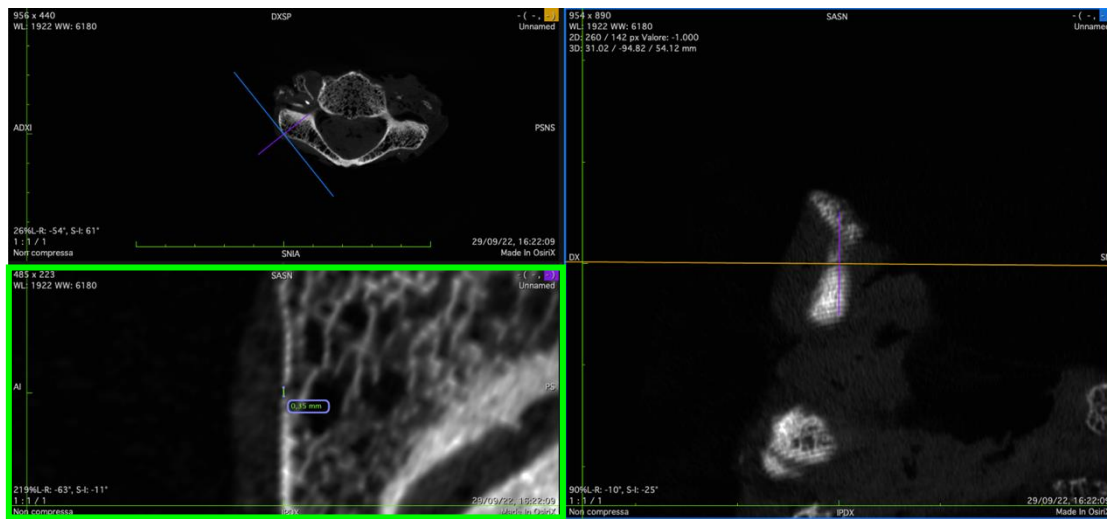


Figura 24: Misurazione delle dimensioni della Lesione E in proiezione sagittale in OsiriX Lite. Nel riquadro verde si osserva la proiezione sagittale, in alto a sinistra la proiezione assiale mentre a destra la proiezione frontale.

La Lesione E presenta una lunghezza di 2,38 mm e una larghezza pari a 0,32 mm, misurate in proiezione frontale, mentre sul piano sagittale la larghezza misurata è 0,35 mm.

Lesione F

È stato possibile identificare La Lesione F e sono state misurate le dimensioni in proiezione sagittale (riquadro arancione, *Figura 25*) e in proiezione assiale (riquadro arancione, *Figura 26*).

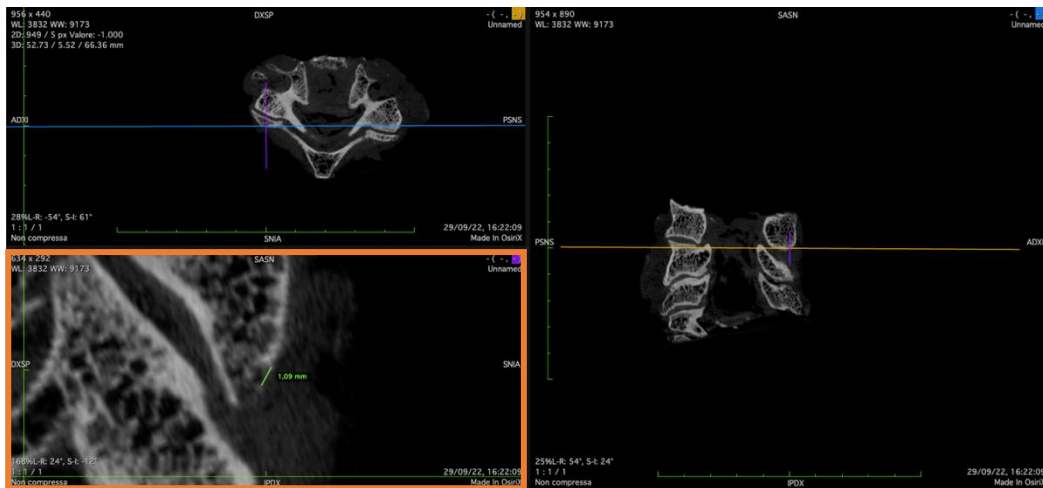


Figura 25: Misurazione delle dimensioni della Lesione F in proiezione sagittale in OsiriX Lite. Nel riquadro arancione si osserva la proiezione sagittale, in alto a sinistra si vede la proiezione assiale, a destra la proiezione frontale.



Figura 26: Misurazione delle dimensioni della Lesione F in proiezione assiale in OsiriX Lite. Nel riquadro arancione si osserva la proiezione assiale, in basso a sinistra si vede la proiezione sagittale, a destra la proiezione frontale.

La Lesione F presenta dimensioni misurate nei piani sagittale e assiale rispettivamente pari a 1,09 mm e 1,22 mm.

Lesione G

La Lesione G è stata identificata e si sono misurate le dimensioni in proiezione sagittale (riquadro giallo, *Figura 27*).

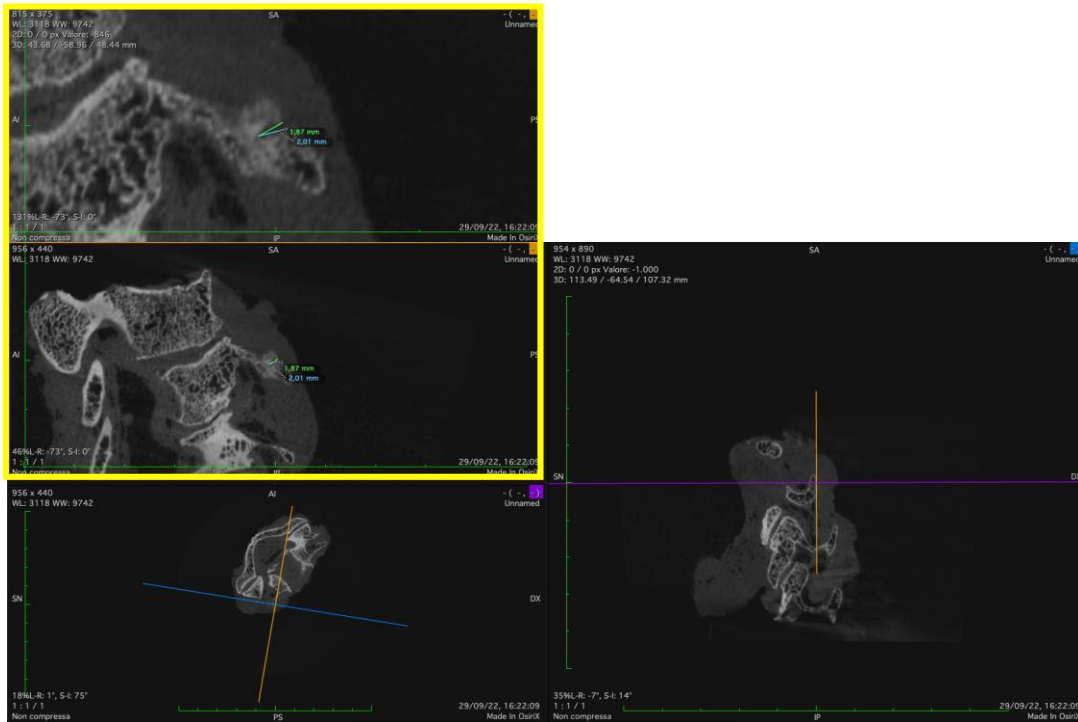


Figura 27: Misurazione delle dimensioni della Lesione G in proiezione sagittale in OsiriX Lite. Nel riquadro giallo si osserva inferiormente la proiezione sagittale e superiormente un suo ingrandimento. A destra si vede la proiezione frontale, in basso a sinistra la proiezione assiale.

In proiezione sagittale, la lesione appare come un triangolo di cui sono state prese le seguenti dimensioni: il lato superiore misura 1,87 mm, il lato inferiore misura 2,01 mm.

Reperto 2

Analisi macroscopica

All'ispezione del pezzo, la presenza di tessuti molli e le alterazioni di colore e consistenza dovute alla metodica di conservazione hanno impedito di identificare con sicurezza sia il segmento di appartenenza delle vertebre sia le parti delle vertebre stesse (corpi vertebrali, processi trasversi, processi spinosi). Non sono altresì riconoscibili lesività.



Figura 28: Visione anteriore.

Ricostruzione microradiologica tridimensionale

Le ricostruzioni tridimensionali consentono di distinguere tre frammenti di coste in corrispondenza dell'articolazione costo-vertebrale. Il reperto si presenta pluriframmentato ma è possibile identificare i tre processi spinosi, il più craniale completamente separato dalla restante struttura vertebrale, non compresa nel reperto (*Figure 29-32*).

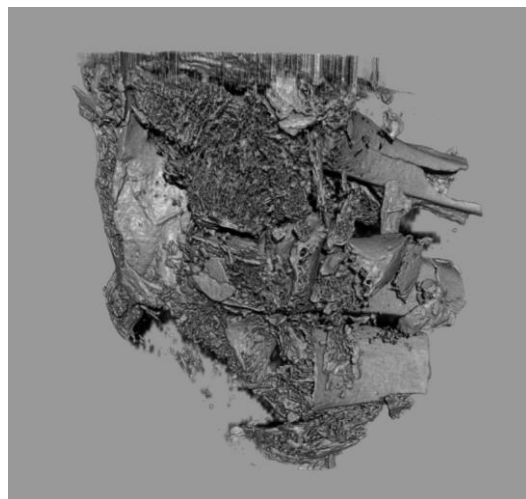
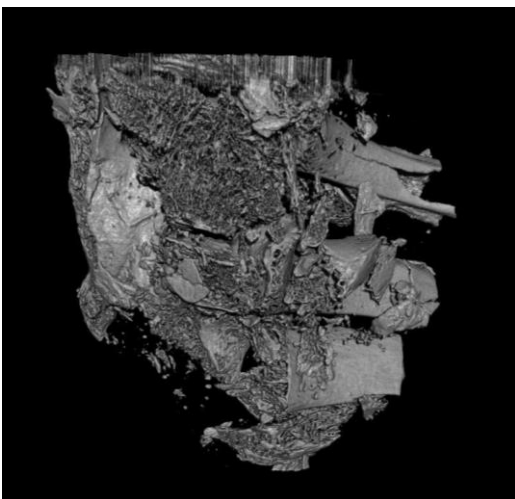


Figura 29: Visione anteriore.

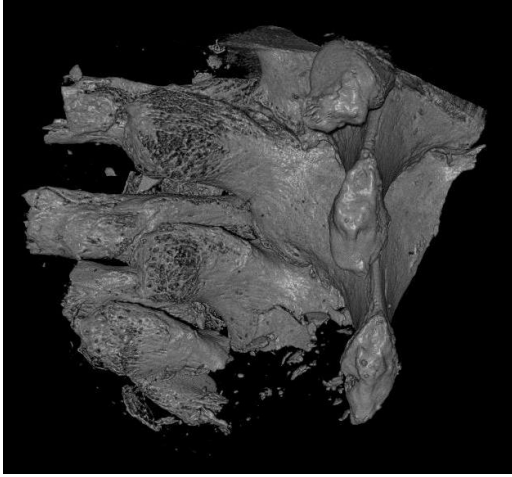


Figura 30: Visione posteriore.

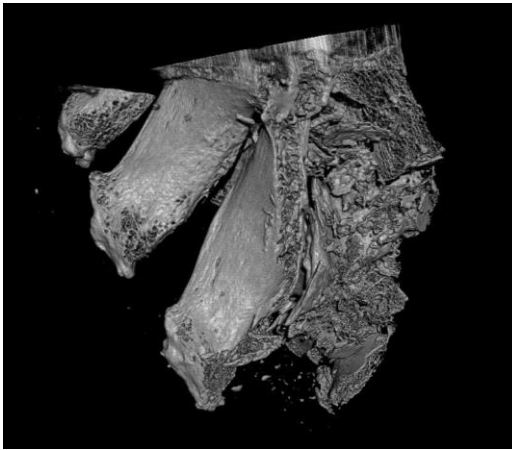
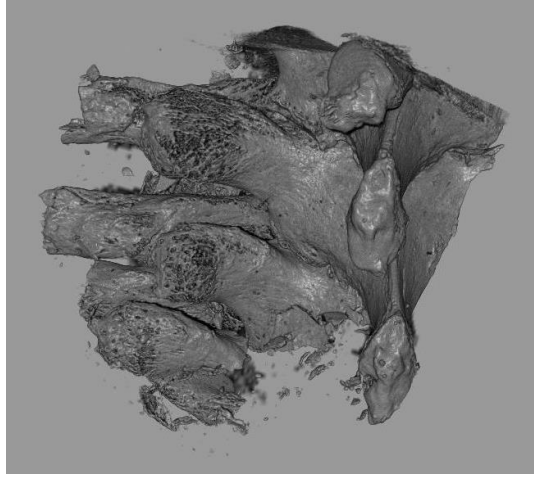


Figura 31: Visione laterale destra.

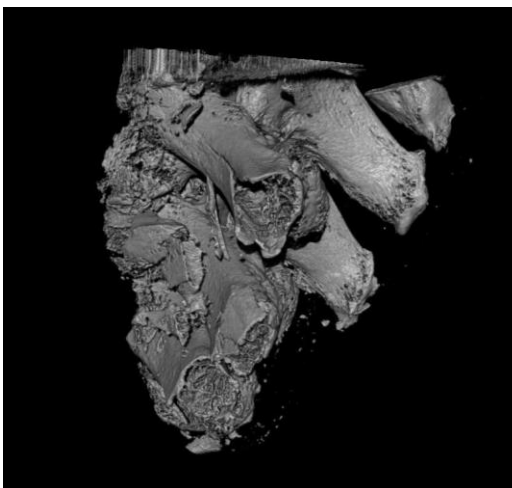
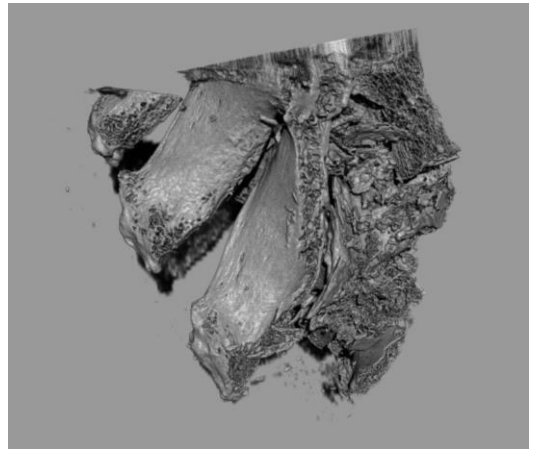
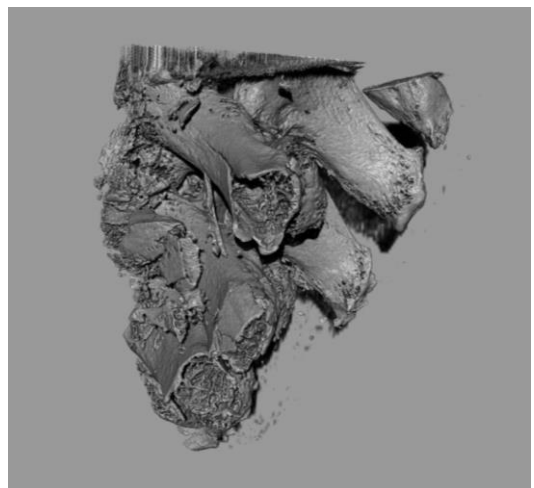


Figura 32: Visione laterale sinistra.



Si possono individuare le seguenti lesioni:

- **Lesione H:** in corrispondenza della porzione craniale del reperto si distingue una sezione ossea completa (tratteggio azzurro), formante un angolo di circa 15° e un angolo di circa 75° rispettivamente con il piano trasversale e con il piano sagittale, che attraversa le seguenti strutture postero-anteriormente appena distinguibili per la presenza di rumore di fondo: processo spinoso della vertebra craniale, lamina destra e sinistra della stessa, processi trasversi con articolazioni costo-vertebrali di entrambi i lati, porzione posteriore del corpo vertebrale craniale (*Figura 33*).
- **Lesione I:** si distingue una sezione ossea completa (tratteggio verde), formante un angolo di circa 70° e un angolo di circa 20° rispettivamente con il piano trasversale e con il piano sagittale, che attraversa le seguenti strutture da destra a sinistra: lamina destra della vertebra craniale, lamina destra della vertebra più caudale, coste e corrispondenti articolazioni costo-vertebrali (difficilmente distinguibili dato l'elevato numero di frammenti ossei), corpo vertebrale della vertebra più caudale, corpo vertebrale della vertebra più craniale (*Figura 33*).

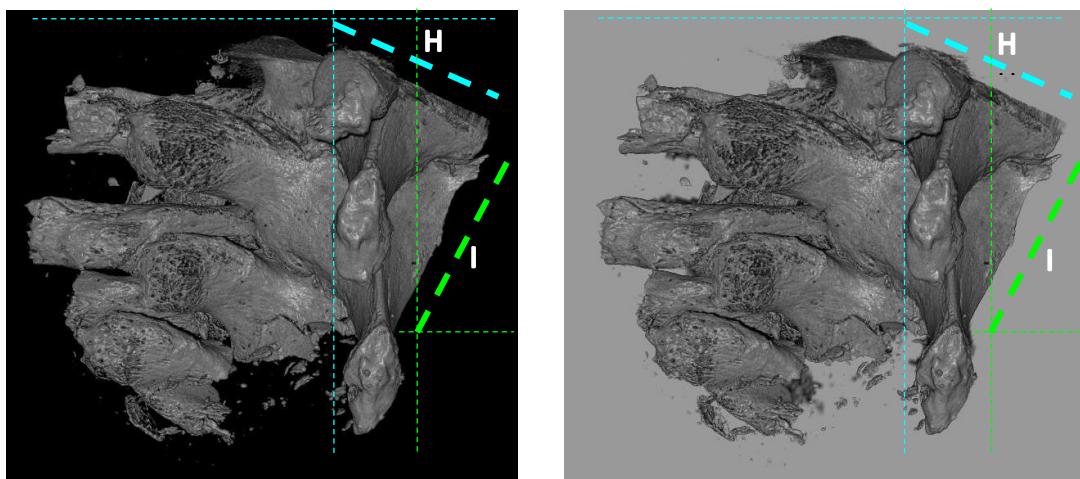


Figura 33: Visione posteriore con lesioni contrassegnate.

Ricostruzione microradiologica MPR

Alla visualizzazione in OsiriX Lite è possibile evidenziare i piani di taglio della Lesione H e della Lesione I (*Figure 34 e 35*), di cui si sono misurati gli angoli in proiezione frontale.

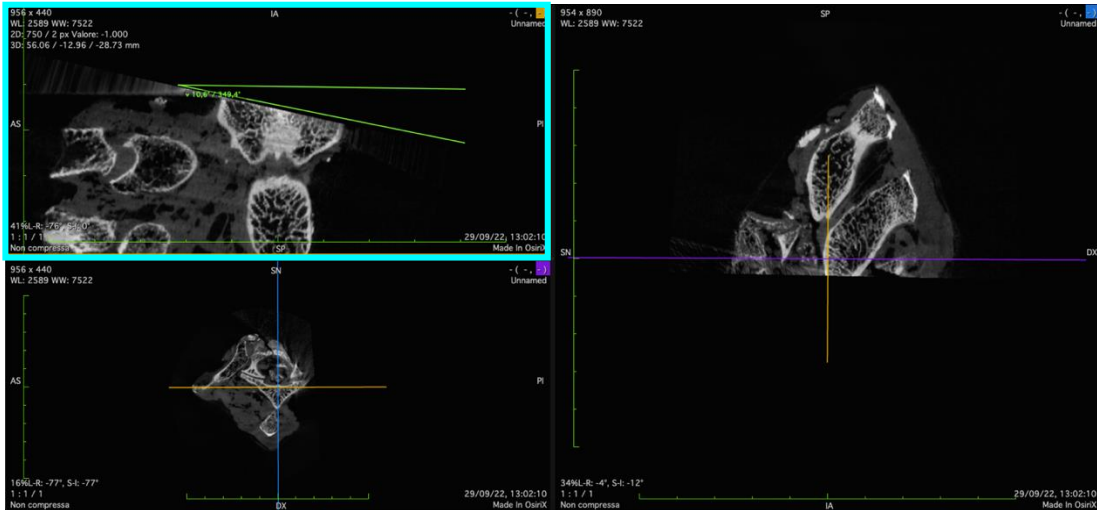


Figura 34: Misurazione dell'angolo di taglio della Lesione H in proiezione frontale in OsiriX Lite. Nel riquadro azzurro si osserva la proiezione frontale, a destra si vede la proiezione sagittale e in basso a sinistra la proiezione

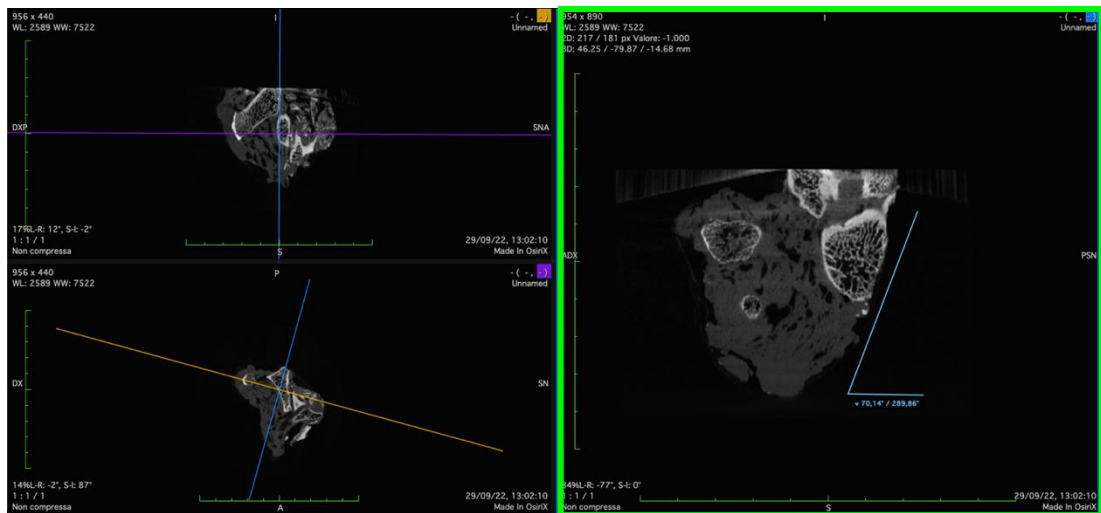


Figura 35: Misurazione dell'angolo di taglio della Lesione I in proiezione frontale in OsiriX Lite. Nel riquadro verde si osserva la proiezione frontale, in alto a sinistra si vede superiormente la proiezione sagittale e inferiormente la

In Figura (riquadro azzurro, *Figura 34*) si è misurato l'angolo di taglio della Lesione H che corrisponde a $10,6^\circ$.

In Figura (riquadro verde, *Figura 35*) si è misurato l'angolo di taglio della Lesione I che corrisponde a $70,14^\circ$.

Reperto 3

Analisi macroscopica

All'ispezione, la presenza di tessuti molli e le alterazioni di colore e consistenza dovute alla metodica di conservazione hanno impedito di identificare con sicurezza sia il segmento di appartenenza delle vertebre sia le parti delle vertebre stesse (corpi vertebrali, processi trasversi, processi spinosi). Non sono altresì riconoscibili lesività (Figure 36-38).

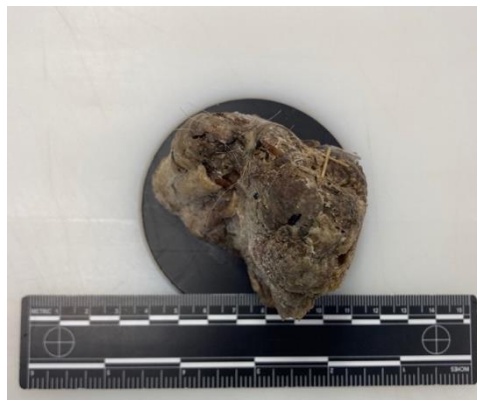


Figura 36: Visione superiore.

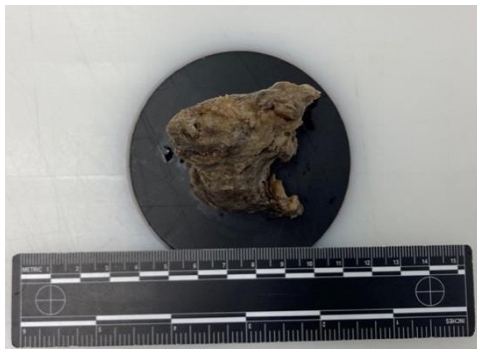


Figura 37: Visione antero-superiore.



Figura 38: Visione postero-laterale.

Ricostruzione microradiologica tridimensionale

La ricostruzione tridimensionale permette di identificare il segmento come composto da n. 4 vertebre del tratto dorsale (Figure 39-44).

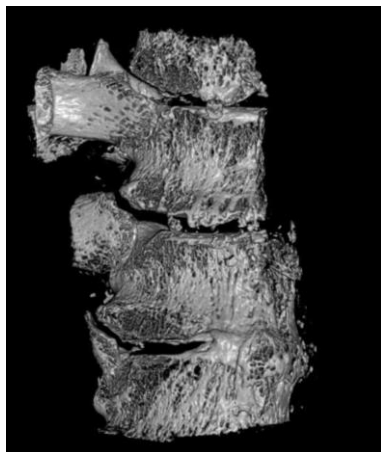


Figura 39: Visione anteriore.

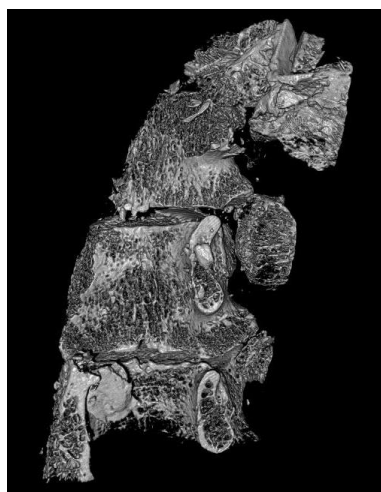
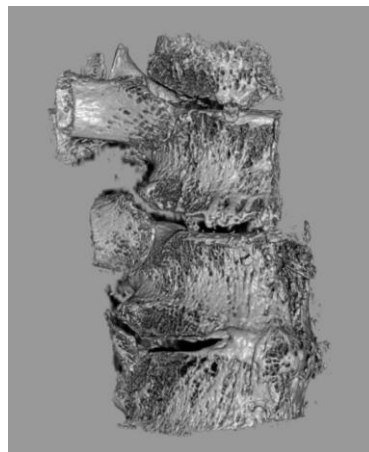


Figura 40: Visione posteriore.

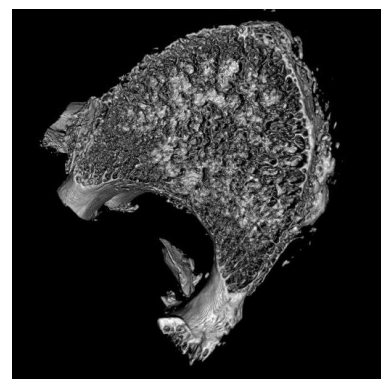
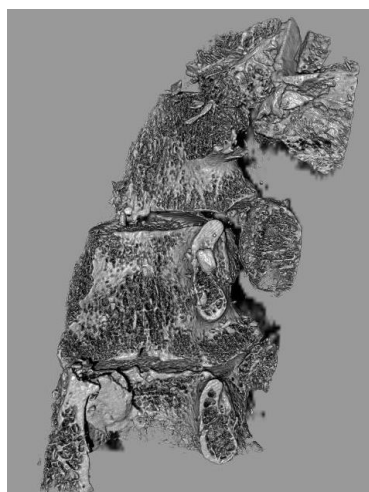
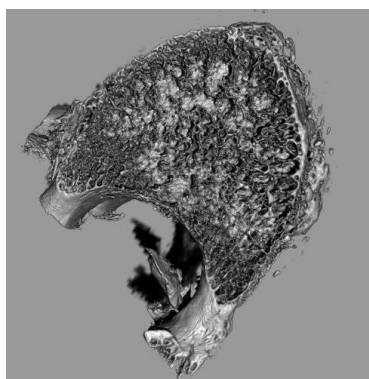


Figura 41: Visione inferiore.



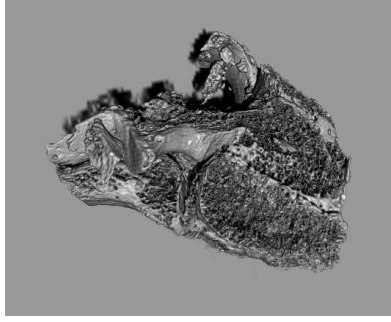
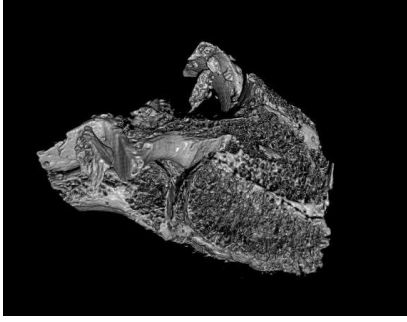


Figura 42: Visione superiore.

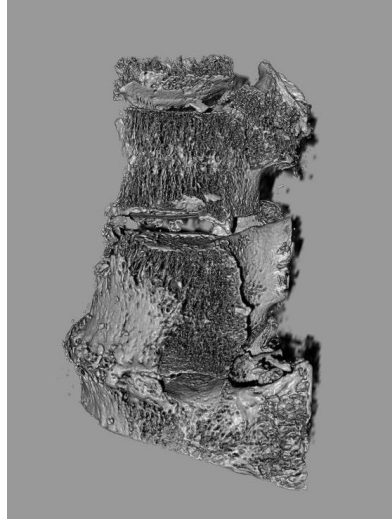
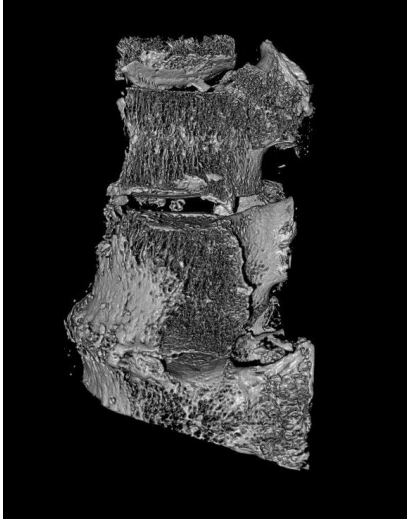


Figura 43: Visione laterale sinistra.

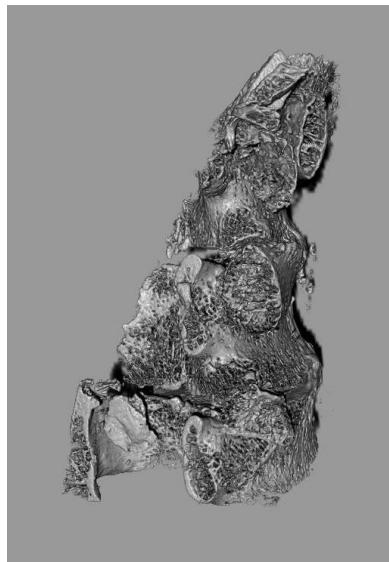
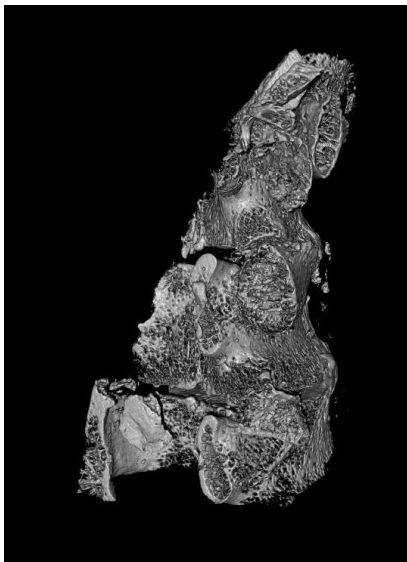


Figura 44: Visione laterale destra.

La visione posteriore è quella che meglio consente di distinguere una possibile lesione d'arma bianca:

- **Lesione J:** si distingue una sezione ossea completa (tratteggio rosso, *Figura 45*), formante un angolo di circa 15° e un angolo di circa 75° rispettivamente con il piano sagittale e con il piano trasverso, che attraversa le seguenti strutture da destra a sinistra: corpi vertebrali delle tre vertebre più craniali, peduncolo della vertebra più caudale, che si presenta ruotata attorno al proprio asse di circa 60° .

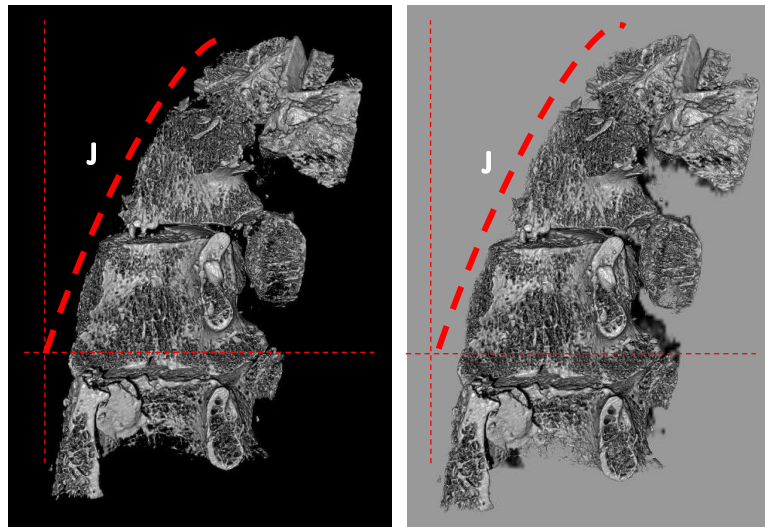


Figura 45: Visione posteriore con lesione contrassegnata.

Ricostruzione microradiologica MPR

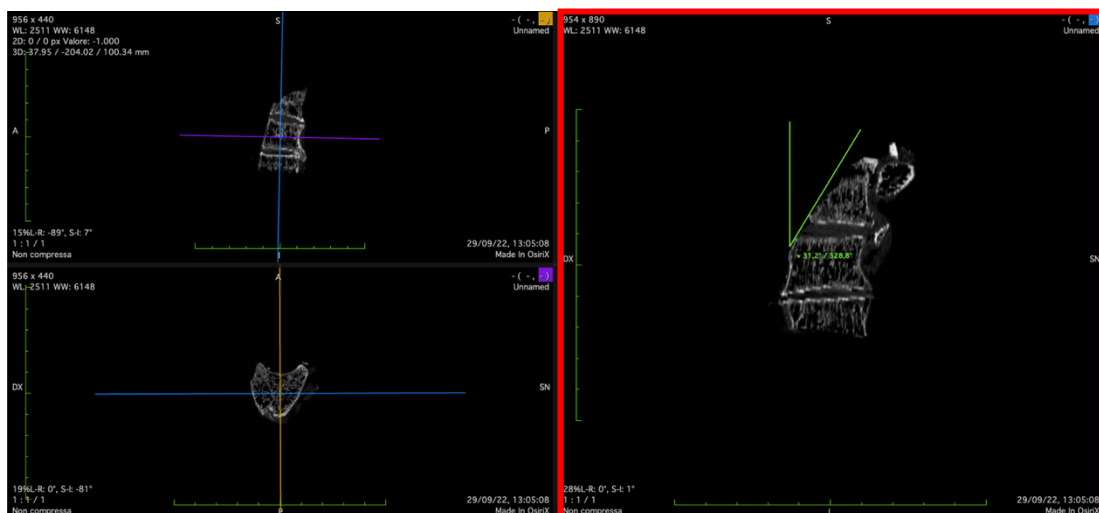


Figura 46: Misurazione dell'angolo di taglio della Lesione J in proiezione frontale in OsiriX Lite. Nel riquadro rosso si osserva la proiezione frontale, a sinistra si vede superiormente la proiezione sagittale e inferiormente la

È stato possibile evidenziare il piano di taglio della Lesione J (*Figura 46*), di cui si è misurato l'angolo in proiezione frontale, pari a $31,2^\circ$.

CASO 2

Dati circostanziali e necroscopici

Donna caucasica di corporatura minuta e pelle chiara, ancora non identificata, ritrovata in una sacca di nylon nelle acque di un fiume, dove vi è rimasta per una durata stimata di meno di un mese. La vittima si presentava priva di mani e della testa. La causa della morte rimane indeterminata.

Il pezzo anatomico, corrispondente alla vertebra C4, giunge congelato all'Istituto di Medicina Legale di Padova per essere sottoposto a studio microradiologico dopo essere stato disarticolato durante l'accertamento necroscopico con un coltello a lama sottile monotagliante dalla vertebra sottostante, C5.

Analisi macroscopica



Figura 47: Visione superiore.



Figura 48: Visione inferiore.

All'ispezione del pezzo, la vertebra era riconoscibile nelle sue parti (corpo vertebrale, processi trasversi, processo spinoso). Macroscopicamente, si riconoscono le facce anteriore e posteriore, ma risulta più difficile distinguere la superficie superiore da quella inferiore a causa della presenza dei tessuti molli e delle alterazioni di colore e consistenza dovute alla metodica di conservazione, che hanno impedito di valutare anche la presenza di lesività (*Figure 47 e 48*).

Ricostruzione microradiologica tridimensionale



Figura 49: Visione anteriore.



Figura 50: Visione posteriore.

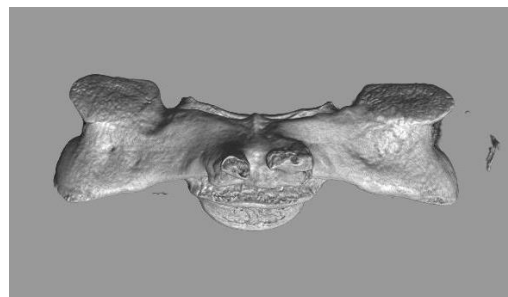


Figura 51: Visione superiore.



Figura 52: Visione inferiore.

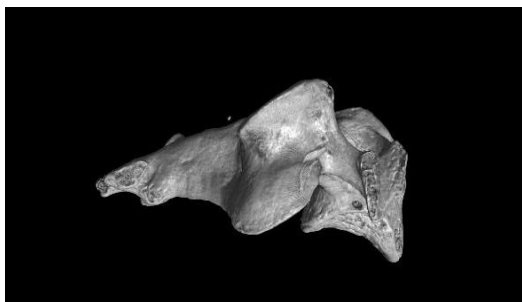


Figura 53: Visione laterale destra.

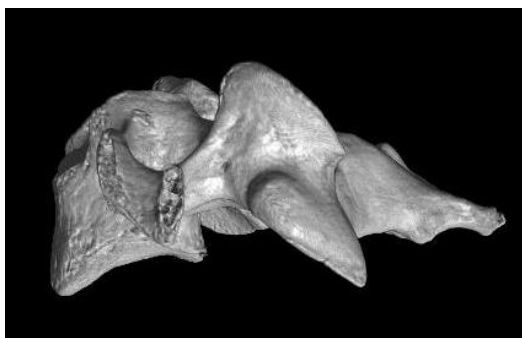
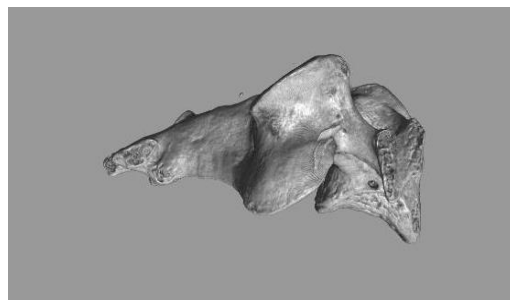
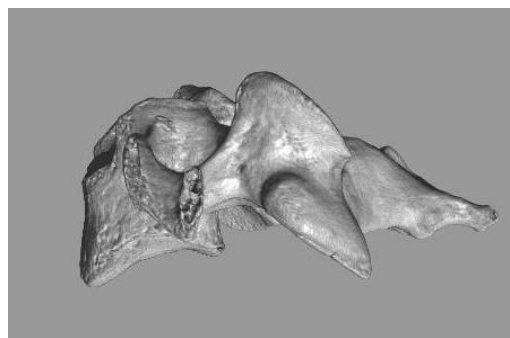


Figura 54: Visione laterale sinistra.



In nessuna delle immagini acquisite è stata identificata una possibile lesione d'arma bianca (Figure 49-54).

CASO 3

Dati circostanziali e necroscopici

Donna deceduta a seguito di incidente stradale. La vettura di cui era passeggera nel sedile anteriore ha impattato in modo violento con la sua parte anteriore destra contro lo spigolo posteriore sinistro di un semirimorchio, determinando la decapitazione della vittima.

In corso di accertamento necroscopico è stato prelevato un segmento di rachide cervicale comprendente l'articolazione atlo-occipitale e le prime quattro vertebre cervicali, disarticolando C4 dalla vertebra sottostante con un coltello a lama fine monotagliante. Alla mobilizzazione, in corrispondenza del passaggio tra C2-C3 si apprezzava una praetermobilità, pertanto, per facilitare l'acquisizione con micro-TC, a tale livello il pezzo anatomico veniva separato manualmente. Si sono ottenuti, quindi, due reperti, il primo comprendente basicranio, C1 e C2 e il secondo comprendente C3 e C4.

Reperto 1

Analisi macroscopica

All'ispezione del reperto, la presenza di tessuti molli e le alterazioni di colore e consistenza dovute alla metodica di conservazione impediscono di identificare con sicurezza il segmento di appartenenza delle vertebre e le parti delle vertebre stesse (corpi vertebrali, processi trasversi, processi spinosi). A livello osseo non sono riconoscibili lesività (*Figure 55-57*).

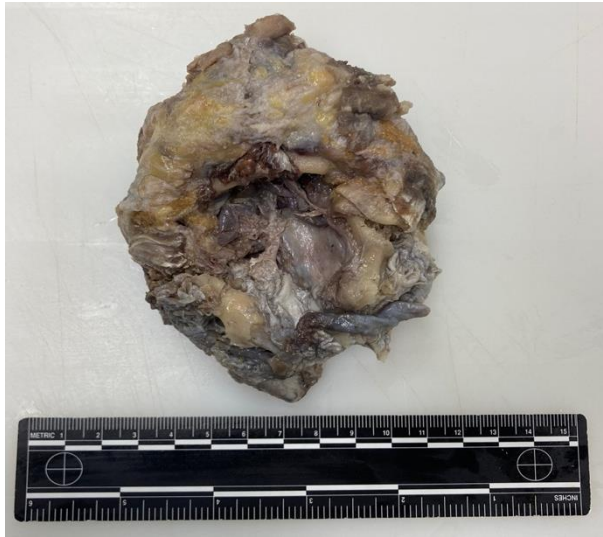


Figura 55: Visione superiore

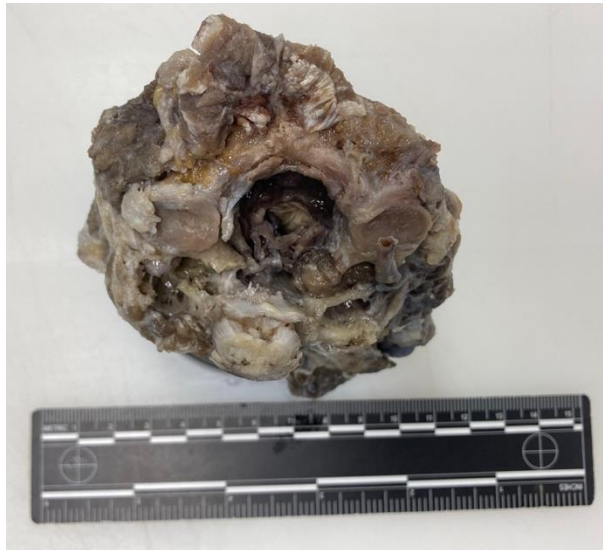


Figura 56: Visione inferiore



Figura 57: Visione posteriore

Ricostruzione microradiologica tridimensionale

La ricostruzione tridimensionale ha permesso di identificare con sicurezza il segmento come composto da una porzione di basicranio e da n. 2 vertebre del tratto cervicale, identificate in C1 e C2 (*Figure 58-63*).

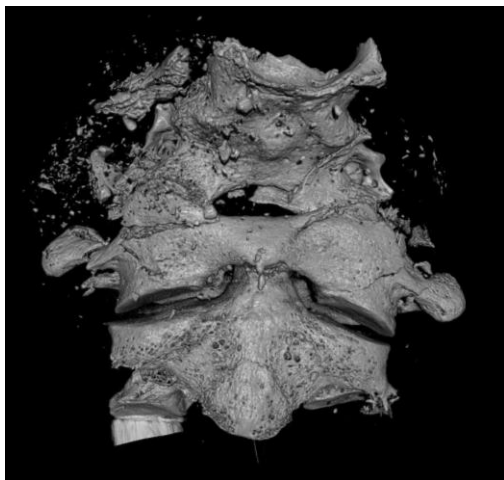


Figura 58: Visione anteriore.

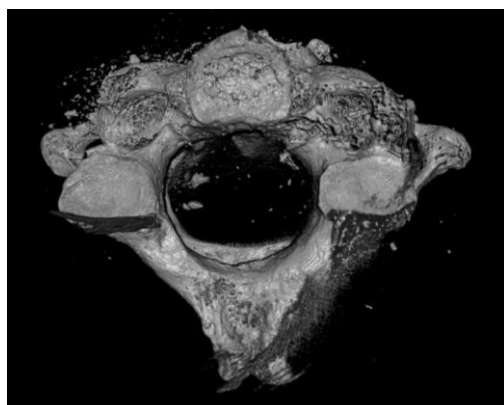
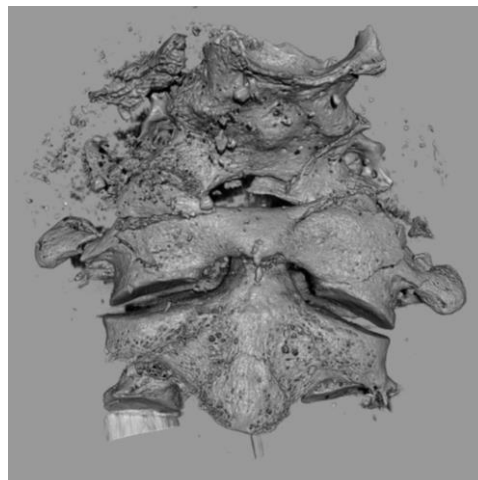


Figura 59: Visione inferiore

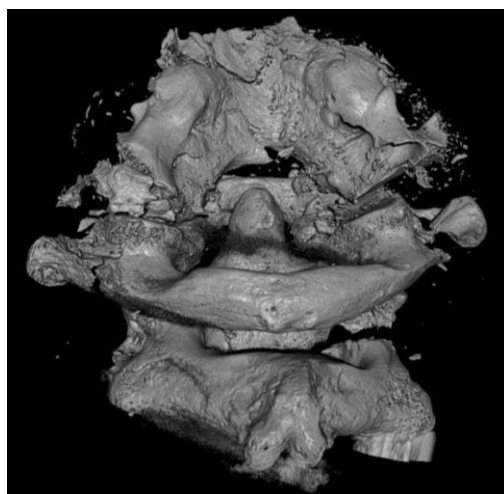
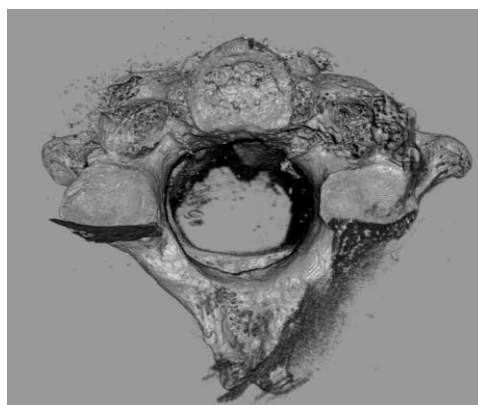
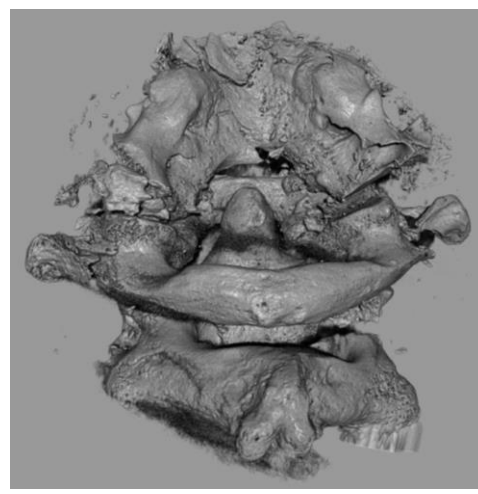


Figura 60: Visione posteriore.



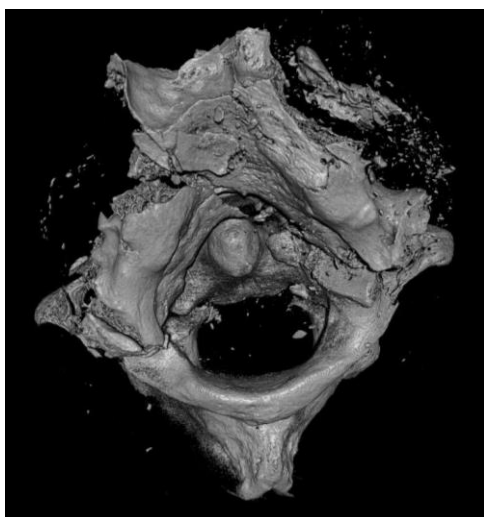


Figura 61: Visione superiore

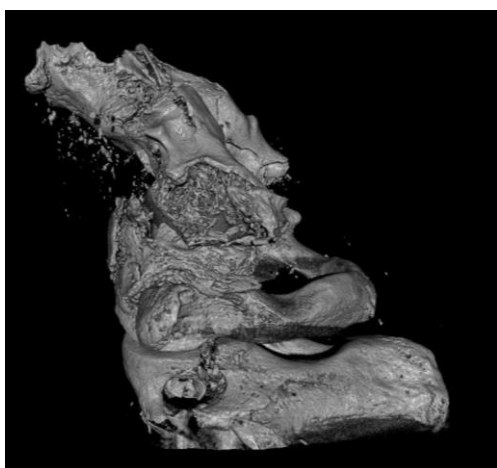
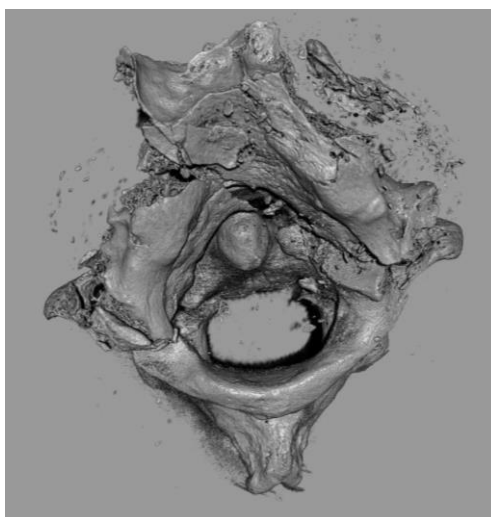


Figura 62: Visione laterale sinistra.

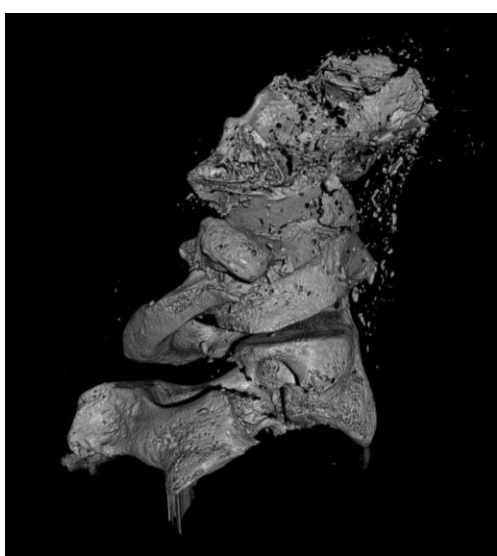
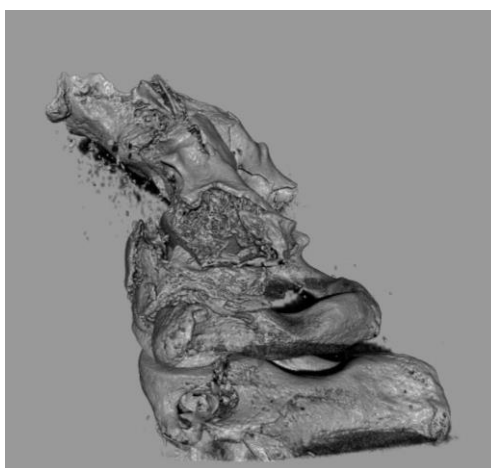
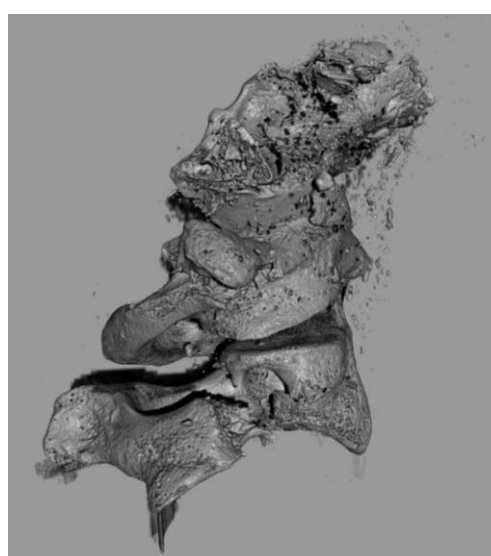


Figura 63: Visione laterale destra.



In corrispondenza della porzione inferiore del reperto, la presenza di rumore di fondo impedisce una valutazione completa.

In nessuna delle immagini acquisite è stata identificata una possibile lesione d'arma bianca.

Reperto 2

Analisi macroscopica

All'ispezione del reperto, non è possibile stabilire con certezza a quale segmento appartengono le vertebre che lo compongono e nemmeno identificare le stesse nelle loro parti (corpi vertebrali, processi trasversi, processi spinosi) a causa dei tessuti molli ancora presenti e delle alterazioni di colore e consistenza dovute alla metodica di conservazione. Le due cartilagini che rivestono le faccette articolari inferiori, presentano plurime indentature lineariformi superficiali. A livello osseo non sono riconoscibili lesività (*Figure 64*).

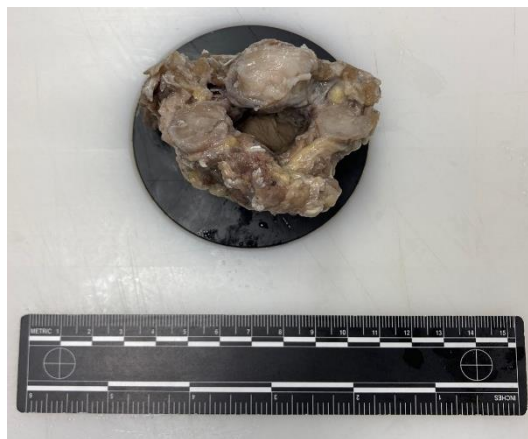


Figura 64: Visione superiore.

Ricostruzione microradiologica tridimensionale

La ricostruzione tridimensionale ha permesso di identificare con sicurezza il segmento come composto da n. 2 vertebre del tratto cervicale, indeterminate in C3 e C4 (*Figure 65-70*).

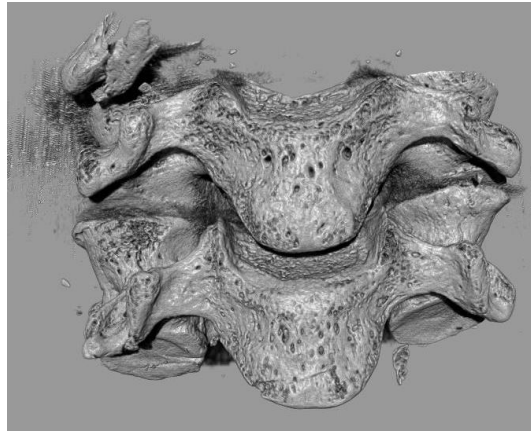
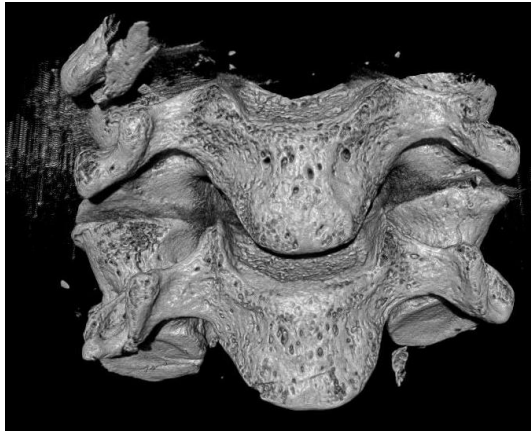


Figura 65: Visione anteriore.

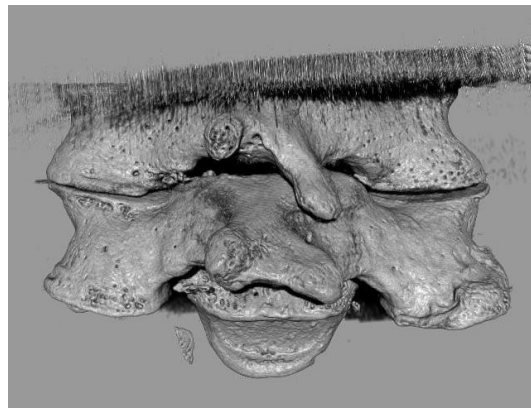


Figura 66: Visione posteriore.

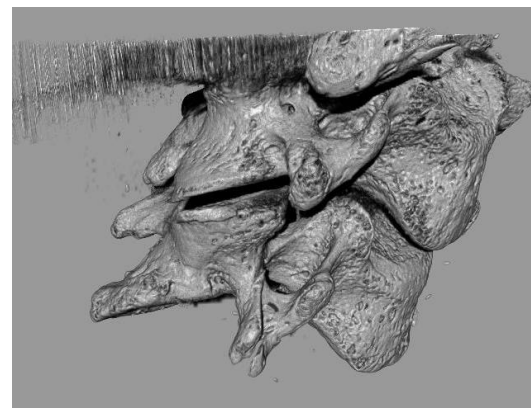
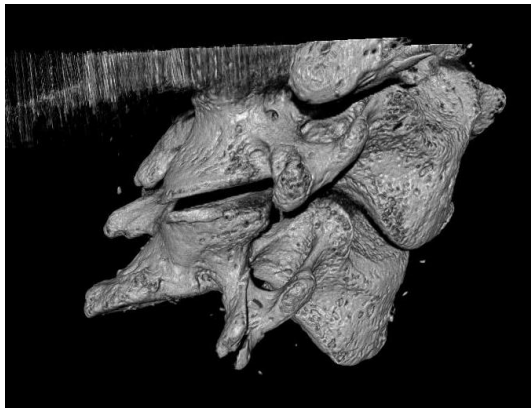


Figura 67: Visione laterale destra.

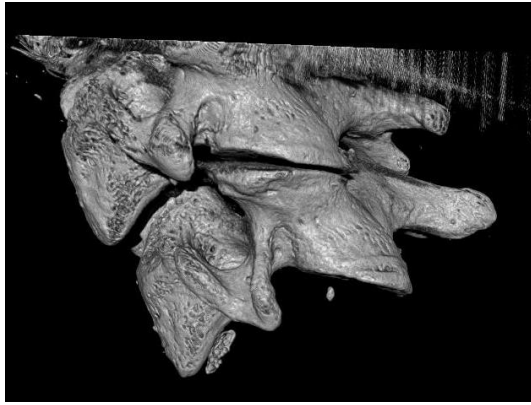


Figura 68: Visione laterale sinistra.

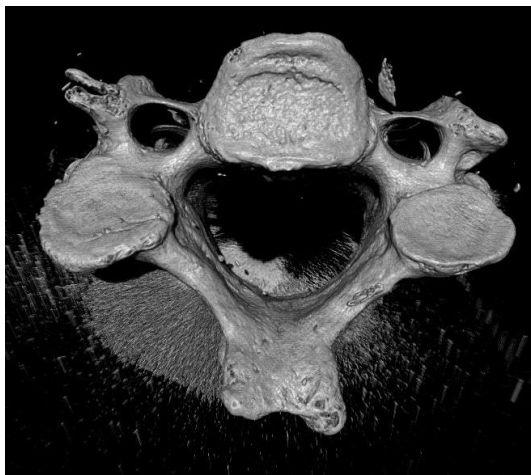
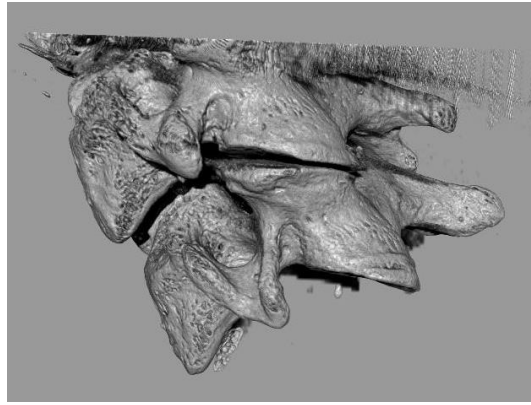


Figura 69: Visione inferiore.

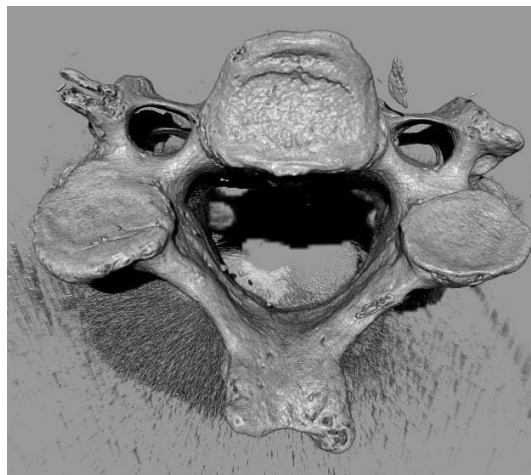
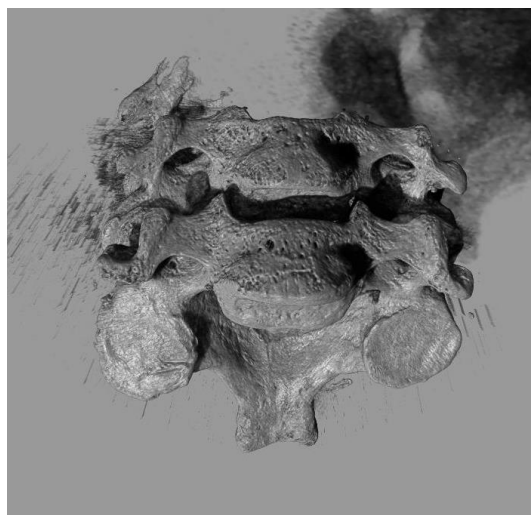


Figura 70: Visione antero-inferiore.



In corrispondenza della porzione superiore del reperto, la presenza di rumore di fondo impedisce una valutazione completa.

In nessuna delle immagini acquisite è stata identificata una possibile lesione d'arma bianca.

CASO 4

Dati circostanziali e necroscopici

Donna deceduta a causa di tre coltellate inferte al collo con un coltello da cucina, di medie-grosse dimensioni e successivamente depezzata con l'impiego di diversi mezzi taglienti identificati nello stesso coltello che ha prodotto la lesione letale, in una sega con denti distanziati di almeno 0,5 cm ed in un seghetto in metallo dotato di denti ravvicinati, ricoperto di vernice di colore blu. Il seghetto non è stato ritrovato nel luogo del depezzamento ma è stato identificato ricostruendo gli spostamenti del colpevole nei giorni precedenti, scoprendo il negozio dove costui se lo era procurato.

Il corpo ricomposto veniva sottoposto a esame radiologico TC che ne rilevava la presenza di tutti i segmenti ossei. La testa risultava separata dal tronco mediante sezione tra la terza e la quarta vertebra cervicale.

Il segmento oggetto di studio corrisponde a C3-C5.

Analisi macroscopica

All'ispezione del pezzo, la presenza dei tessuti molli e delle alterazioni di colore e consistenza dovute alla metodica di conservazione, impediscono di riconoscere il segmento rachideo di appartenenza. Si riconosce un processo spinoso e, in corrispondenza della radice di quest'ultimo, due frammenti di materiale bluastro dell'ordine di millimetri (*Figura 74*). Macroscopicamente, si riconoscono le facce anteriore e posteriore e quelle laterali (*Figure 71-74*).

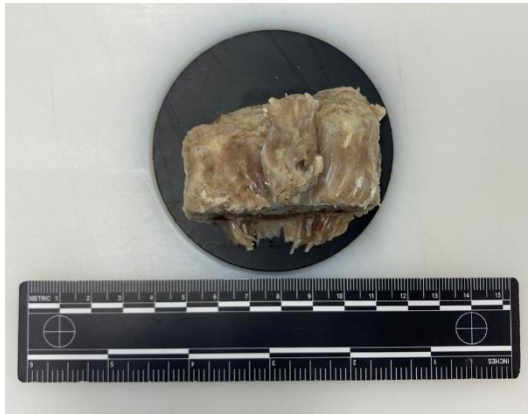


Figura 71: Visione posteriore

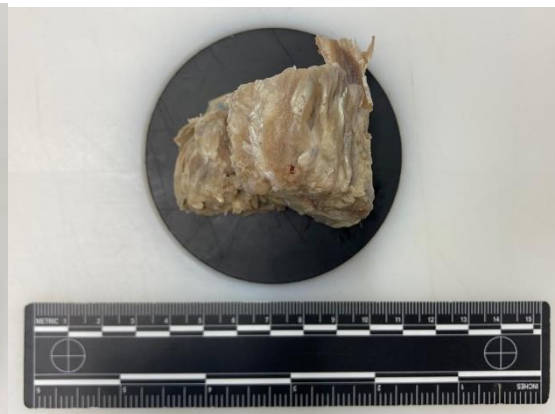


Figura 72: Visione laterale destra

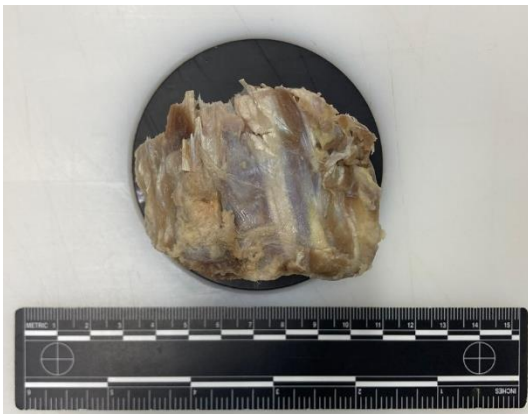


Figura 73: Visione anteriore.

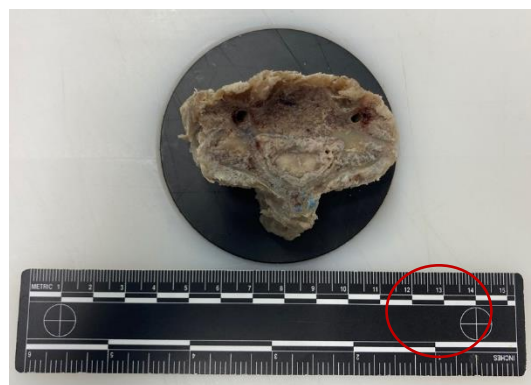


Figura 74: Visione superiore. Nel particolare si evidenziano frammenti di materiale bluastro.

Analisi microradiologica tridimensionale

La ricostruzione tridimensionale consente di identificare il reperto come composto da n. 3 vertebre (C3, C4, C5). Si segnala che la porzione più caudale appare interessata da artefatti che non rendono distinguibili le componenti vertebrali.

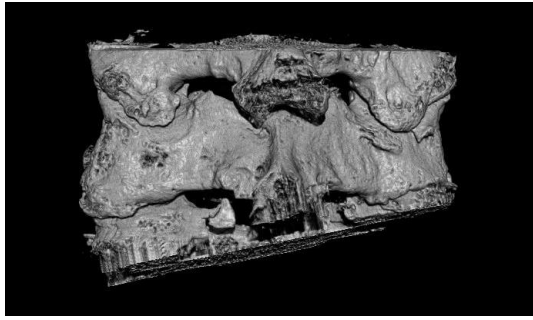


Figura 75: Visione posteriore.

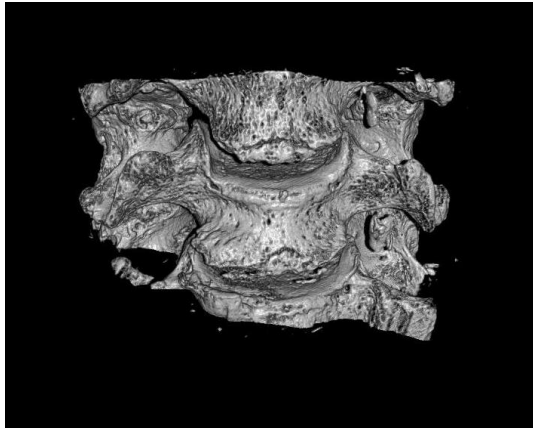
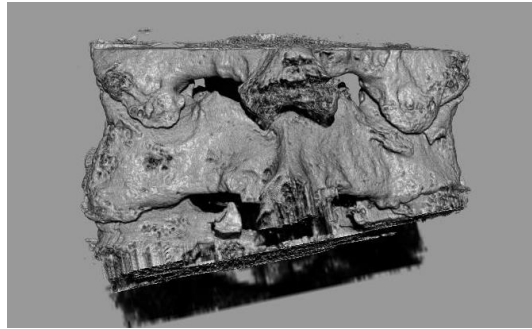


Figura 76: Visione anteriore.

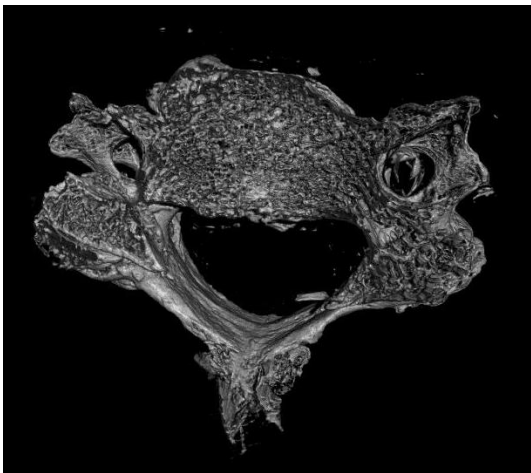
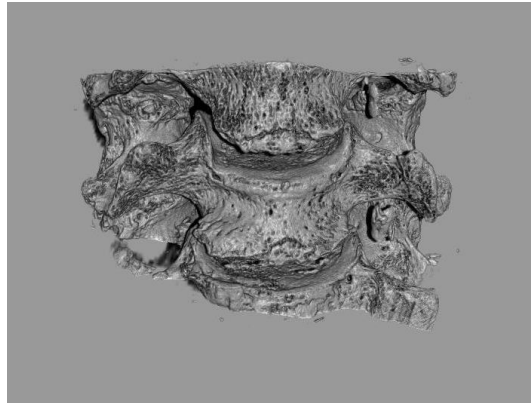


Figura 77: Visione inferiore.

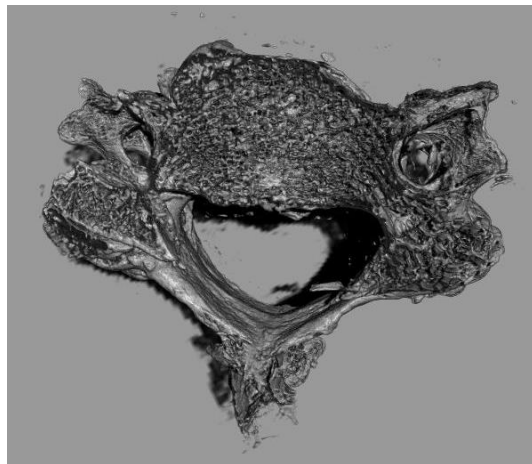




Figura 78: Visione superiore.

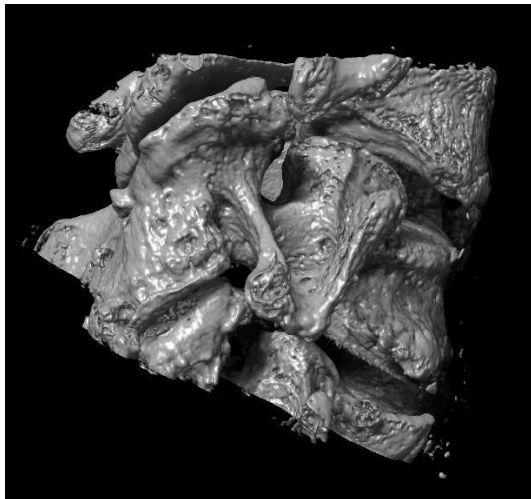
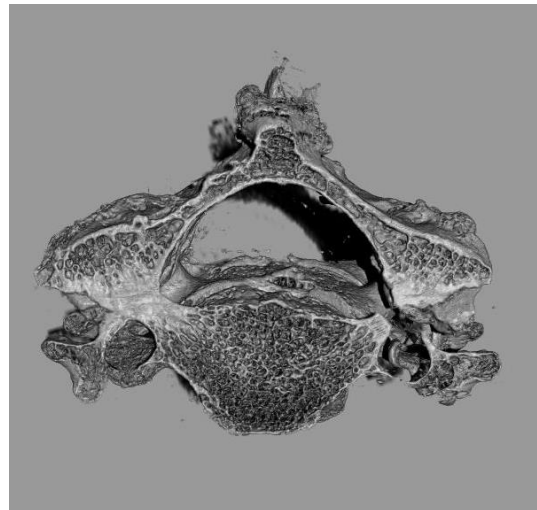


Figura 79: Visione laterale destra.

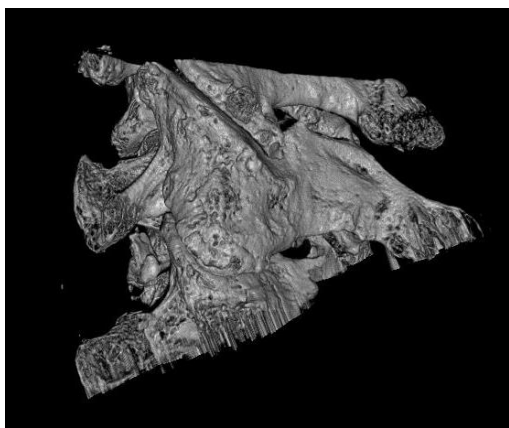
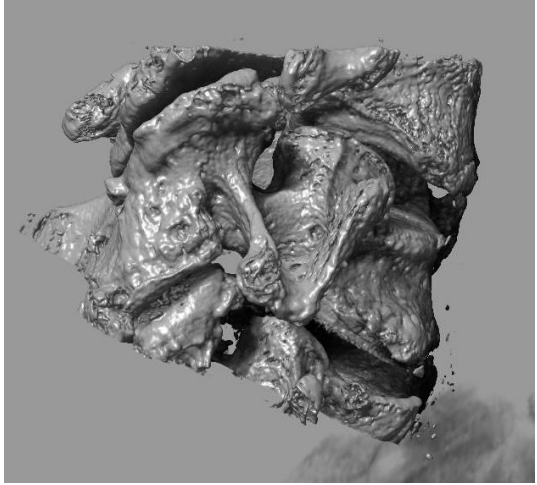
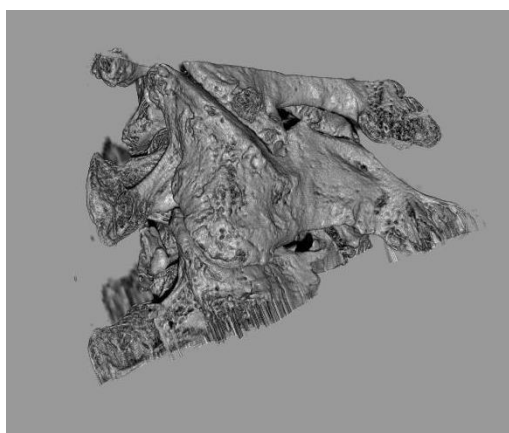


Figura 80: Visione laterale sinistra.



Si rilevano 3 lesioni:

- **Lesione K:** sul versante superiore del processo spinoso, interruzione della continuità corticale lineariforme, parallela al piano trasverso che decorre dal margine destro alla linea mediana del processo spinoso stesso, a margini irregolari. (Figura, freccia azzurra).
- **Lesione L:** sul versante superiore del processo spinoso, caudalmente e parallelamente alla Lesione K, interruzione della continuità corticale lineariforme, che decorre dal margine destro al margine sinistro del processo spinoso stesso, a margini irregolari (Figura, freccia arancione).
- **Lesione M:** sezione ossea completa (tratteggio verde) parallela al piano trasverso, che attraversa l'intera vertebra più craniale circa a metà dell'altezza del corpo, con esposizione della trabecolatura ossea.

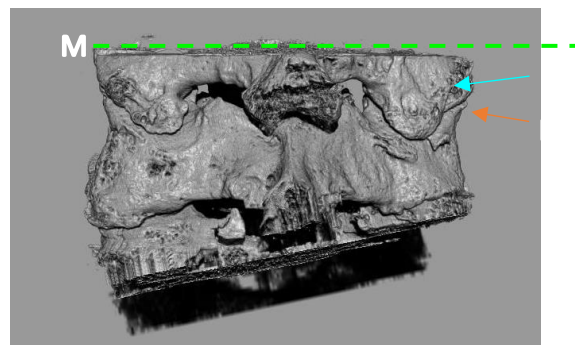
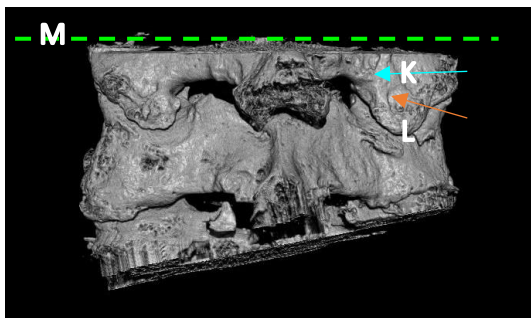


Figura 81: Visione posteriore con lesioni contrassegnate.

Analisi microradiologica MPR

Si sono misurate le dimensioni di Lesione K e L in proiezione frontale (Figure) e in proiezione sagittale (Figure).

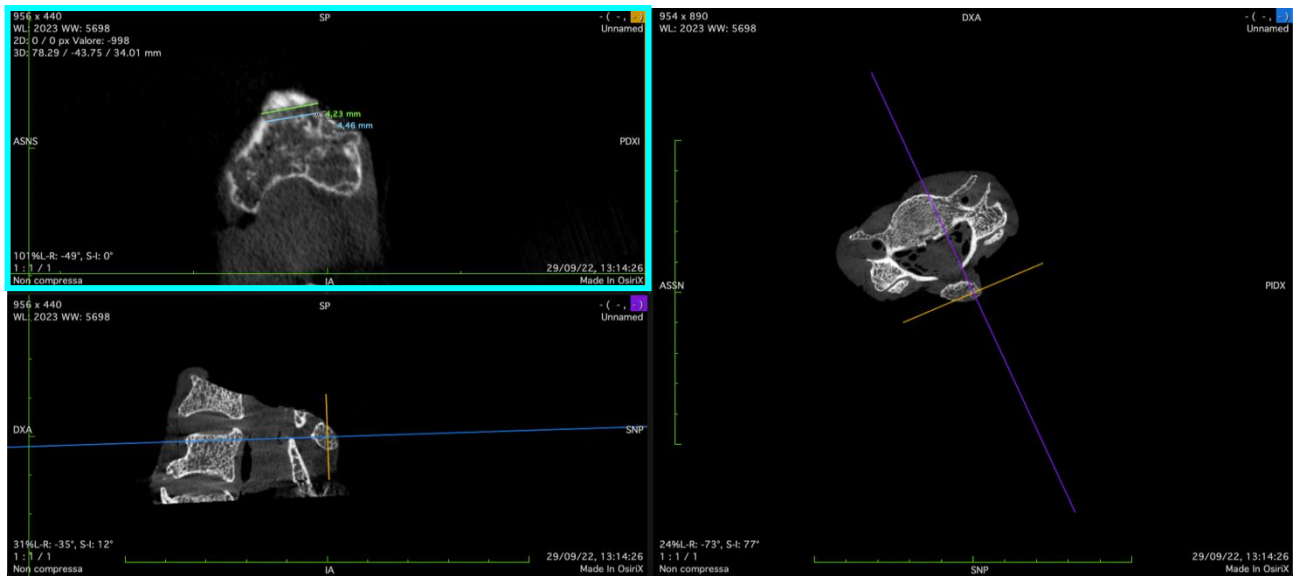


Figura 82: Misurazione delle dimensioni in proiezione frontale della Lesione K in OsiriX Lite. Nel riquadro azzurro si osserva la proiezione frontale, in basso a sinistra la proiezione sagittale, a destra la proiezione assiale.

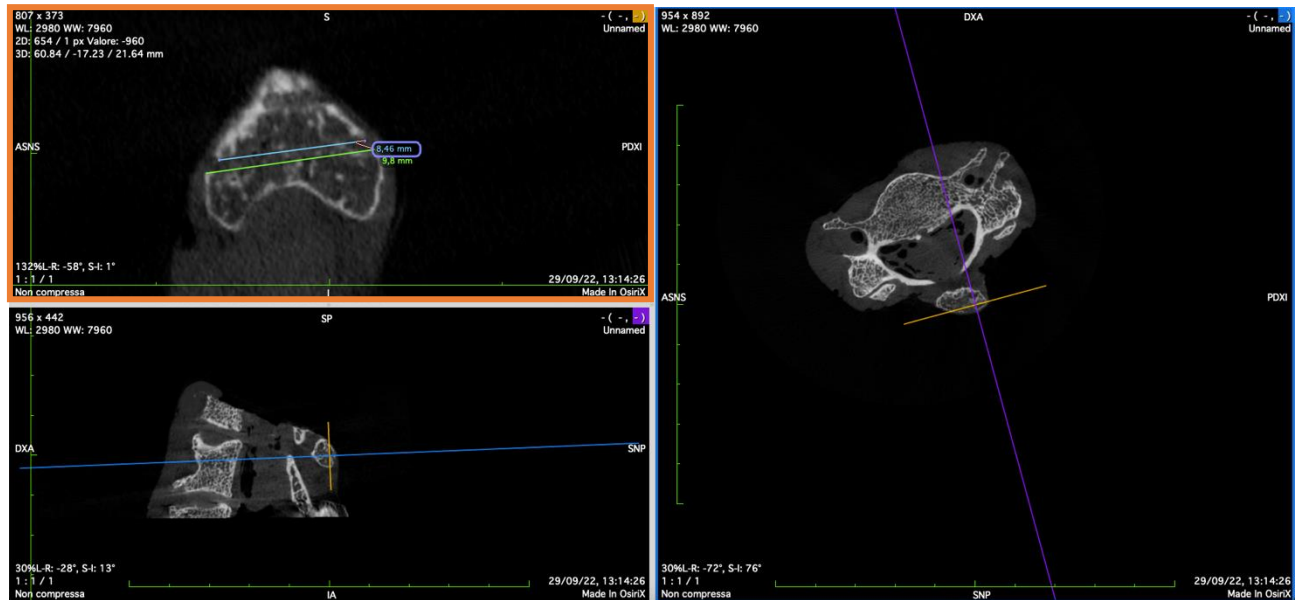


Figura 83: Misurazione delle dimensioni in proiezione frontale della Lesione L in OsiriX Lite. Nel riquadro arancione si osserva la proiezione frontale, in basso a sinistra la proiezione sagittale, a destra la proiezione assiale.

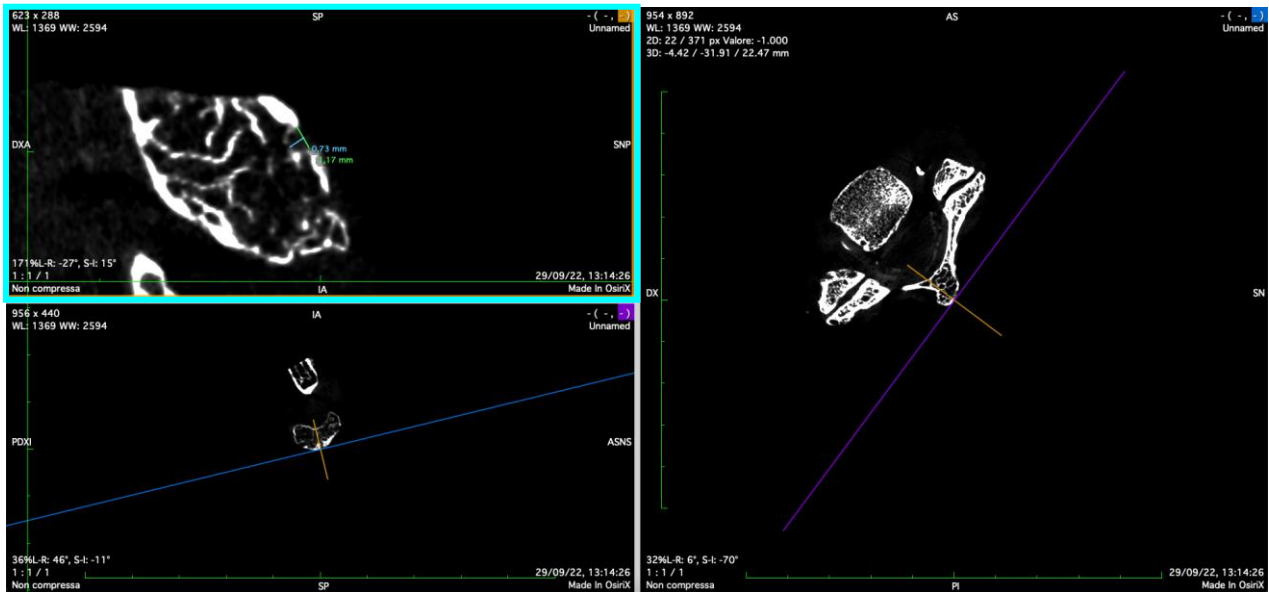


Figura 84: Misurazione delle dimensioni in proiezione sagittale della Lesione K in OsiriX Lite. Nel riquadro azzurro si osserva la proiezione sagittale, in basso a sinistra la proiezione frontale, a destra la proiezione assiale.

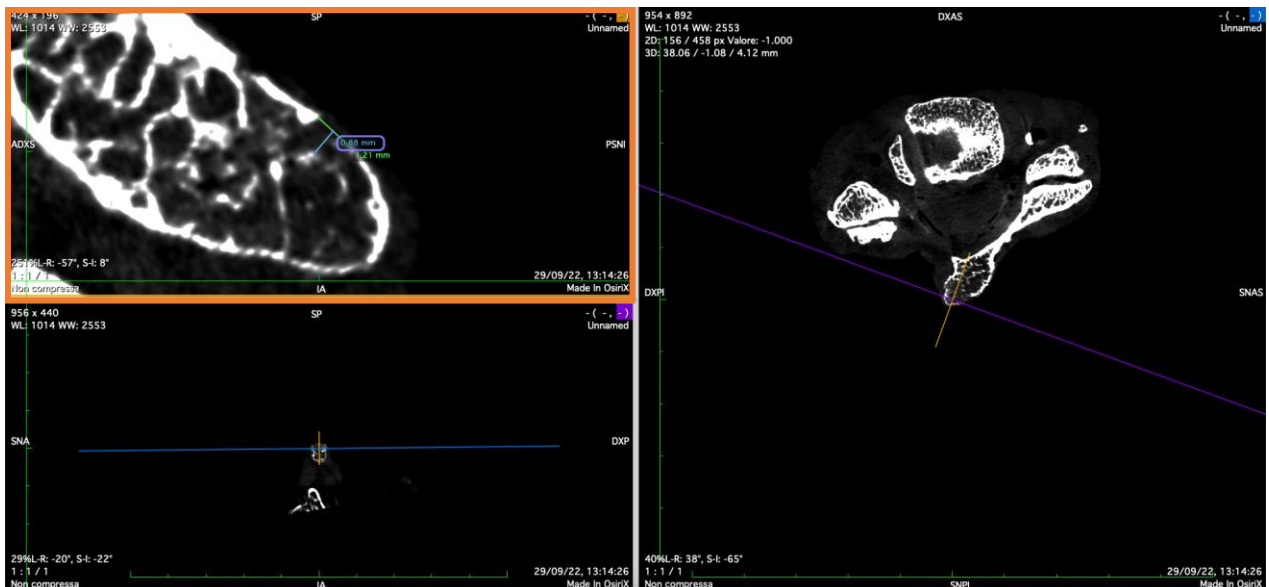


Figura 85: Misurazione delle dimensioni in proiezione sagittale della Lesione L in OsiriX Lite. Nel riquadro arancione si osserva la proiezione sagittale, in basso a sinistra la proiezione frontale, a destra la proiezione assiale.

In proiezione frontale, si è misurata la lunghezza dei margini di entrambe le lesioni:

- Lesione K:
 - Margine craniale: 4,23 mm;
 - Margine caudale: 4,46 mm.
- Lesione L:
 - Margine craniale: 8,46 mm;
 - Margine caudale: 9,8 mm.

In proiezione sagittale, si sono prese le seguenti misurazioni:

- Lesione K:
 - profondità: 1,17 mm;
 - altezza: 0,73 mm.
- Lesione L:
 - profondità: 1,21 mm;
 - altezza: 0,88 mm.

CASO 5

Dati circostanziali e necroscopici

Uomo deceduto in seguito a ferita d'arma bianca inferta al collo.

Prima dell'autopsia, il corpo è stato sottoposto a PMCT che riscontrava una frattura minimamente scomposta della massa laterale sinistra dell'epistrofeo.

All'esame autoptico si rilevava, in regione mastoidea sinistra, soluzione di continuo a carico della cute e dei tessuti molli sottocutanei con caratteristiche compatibili con lesione da punta e taglio. In profondità rispetto a tale lesione si riscontrava inoltre recisione dell'arteria vertebrale di sinistra, nella porzione passante tra i forami trasversi di C1 e C2 con praetermotilità della massa laterale sinistra dell'epistrofeo, come da frattura, confermando quello che si era osservato all'esame radiologico.

Essendo la lesione dei tessuti molli corrispondente in profondità alla sopramenzionata frattura ed in base alle rispettive caratteristiche morfologiche, si può considerare il tutto come un complesso lesivo prodotto dallo stesso mezzo, agente in un unico momento. Si concludeva quindi che tale complesso fosse riconducibile all'azione di un mezzo (arma bianca) che per le sue caratteristiche (lama a resistenza meccanica elevata e punta incurvata) veniva identificata in una roncola.

Il segmento rachideo comprensivo di vertebre C1-C3 è stato asportato e conservato in soluzione formalinica.

Analisi macroscopica

All'ispezione, stante la presenza di tessuti molli e le alterazioni di colore e consistenza dovute alla metodica di conservazione, non è stato possibile identificare con sicurezza il segmento di appartenenza delle vertebre, né le loro parti (corpi vertebrali, processi trasversi, processi spinosi). Non sono altresì riconoscibili lesività.



Figura 86: Visione superiore.



Figura 87: Visione anteriore.



Figura 88: Visione posteriore.



Figura 89: Visione laterale destra.



Figura 90: Visione laterale sinistra.

Ricostruzione microradiologica tridimensionale

La ricostruzione tridimensionale consente di identificare il segmento come composto da n. 3 vertebre del tratto cervicale che per morfologia corrispondono a C1-C3.

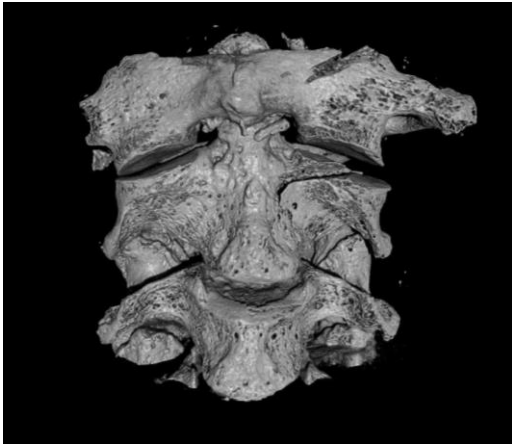


Figura 91: Visione anteriore.

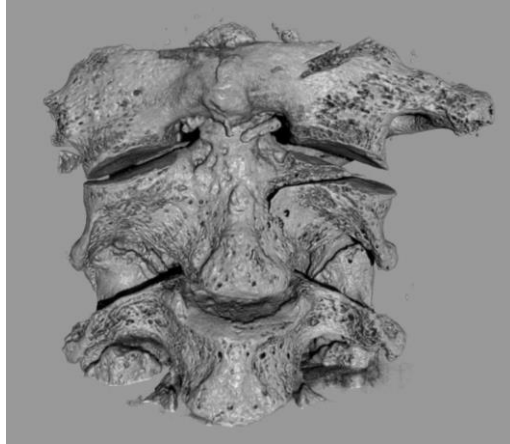


Figura 92: Visione laterale destra.

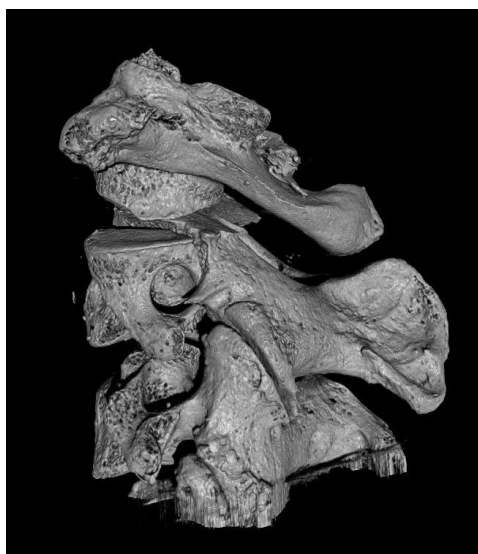
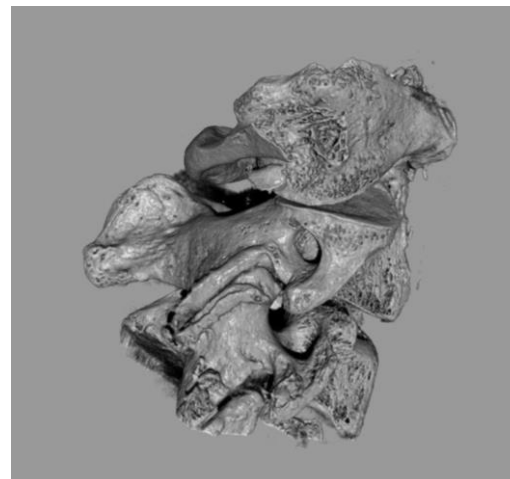


Figura 93: Visione laterale sinistra.



Si distinguono due lesioni:

- **Lesione N:** sulla porzione antero-superiore sinistra dell'arco anteriore di C1, si apprezza interruzione della continuità corticale a forma di "V", con direzione cranio-caudale e latero-mediale, formante con l'asse trasverso un angolo di circa 30°, a margini netti (contrassegnata dalla freccia rossa).
- **Lesione O:** sulla superficie antero-superiore sinistra di C2, ad interessarne processo trasverso sinistro e corpo, interruzione della corticale lineariforme con direzione cranio-caudale e latero-mediale, formante con l'asse trasverso un angolo di circa 20°, a margini netti. In visione laterale sinistra, è possibile osservare che la medesima lesione prosegue postero-caudalmente sulla faccetta articolare superiore sinistra assumendo andamento curvilineo a concavità volta anteriormente, fino a separare il processo trasverso dal corpo (contrassegnata dalla freccia gialla).

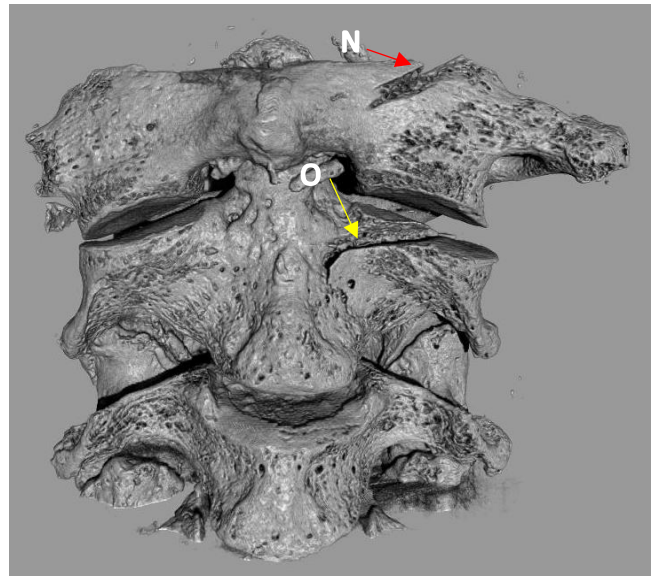
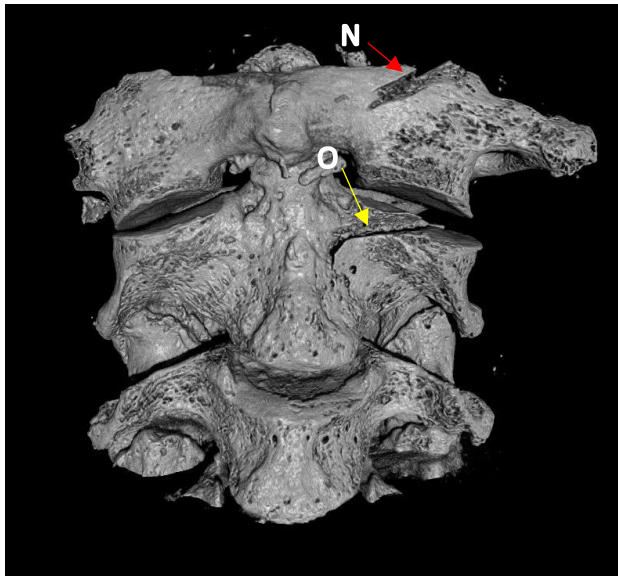


Figura 94: Visione anteriore con lesioni contrassegnate.

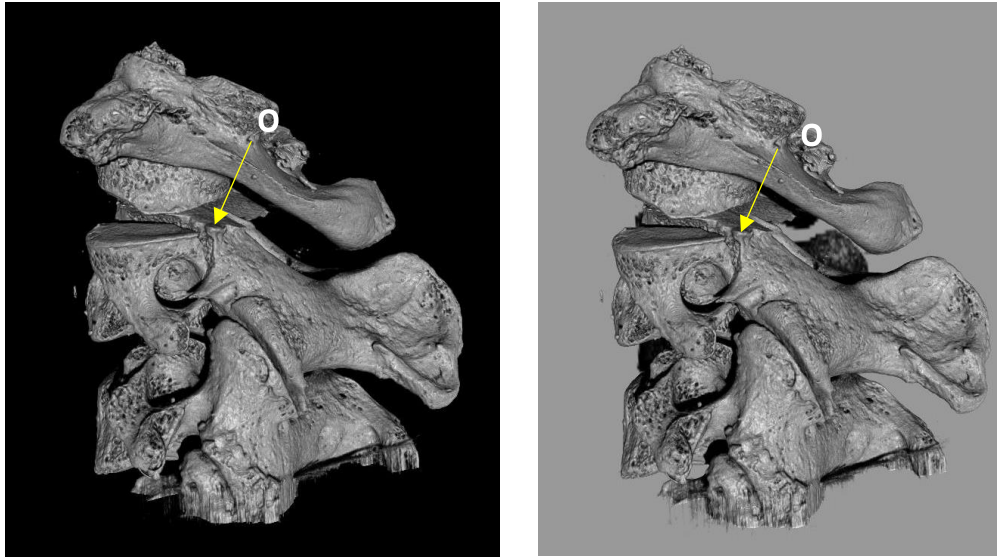


Figura 95: Visione laterale sinistra con lesione contrassegnata.

Ricostruzione microradiologica MPR

Lesione N

La Lesione N è stata misurata in proiezione assiale (riquadro rosso, *Figura*) e in proiezione sagittale (riquadro rosso, *Figura*).

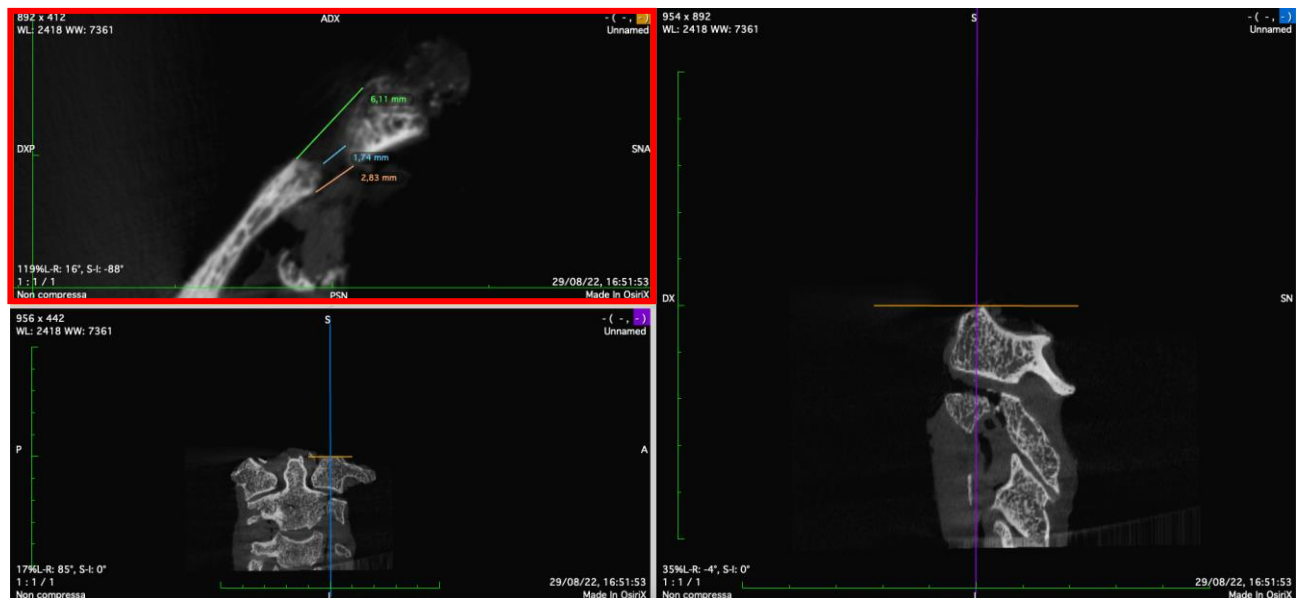


Figura 96: Misurazione delle dimensioni della Lesione N in proiezione assiale in Osirix Lite. Nel riquadro a destra è riportata la proiezione sagittale, nel riquadro in alto a sinistra la proiezione assiale e in basso a sinistra la proiezione frontale.

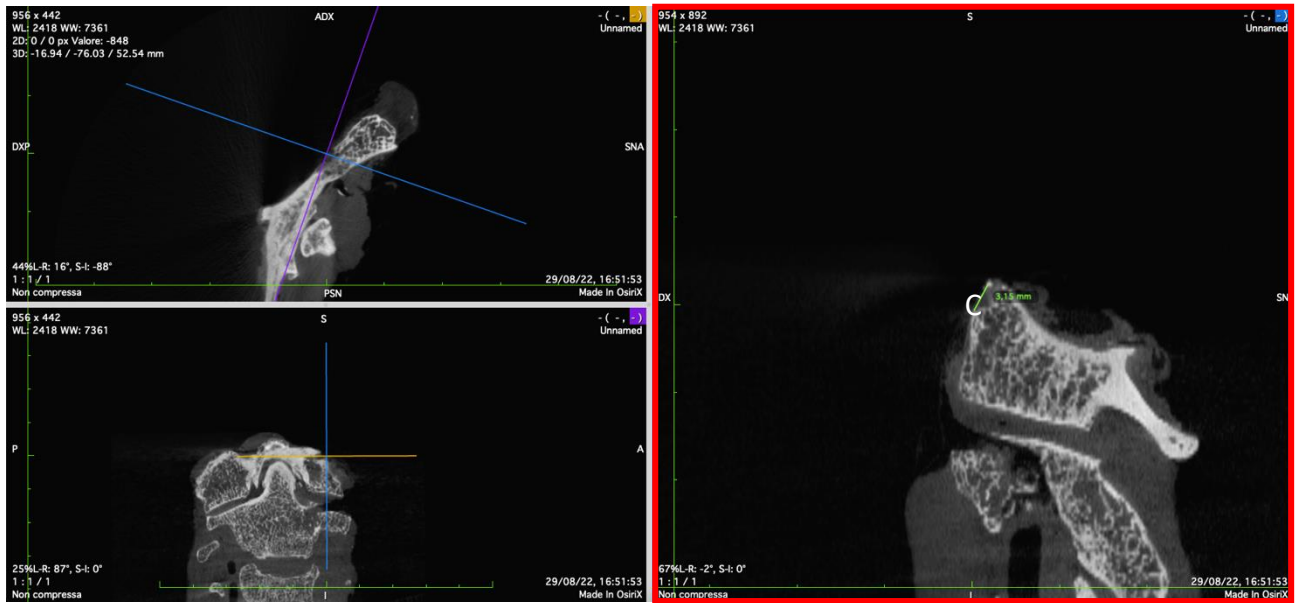


Figura 97: Misurazione delle dimensioni della Lesione N in proiezione sagittale in Osirix Lite. Nel riquadro a destra è riportata la proiezione sagittale, in alto a sinistra la proiezione assiale e in basso a sinistra la proiezione frontale.

La Lesione N presenta una larghezza pari a 3,15 mm. In proiezione assiale la lunghezza è stata presa in tre punti: anteriormente è risultata di 6,11 mm, a livello intermedio di 1,74 mm e posteriormente di 2,83 mm.

Lesione O

La Lesione O è stata misurata in proiezione assiale (riquadro, *Figura*) e in proiezione frontale (riquadro, *Figura*).

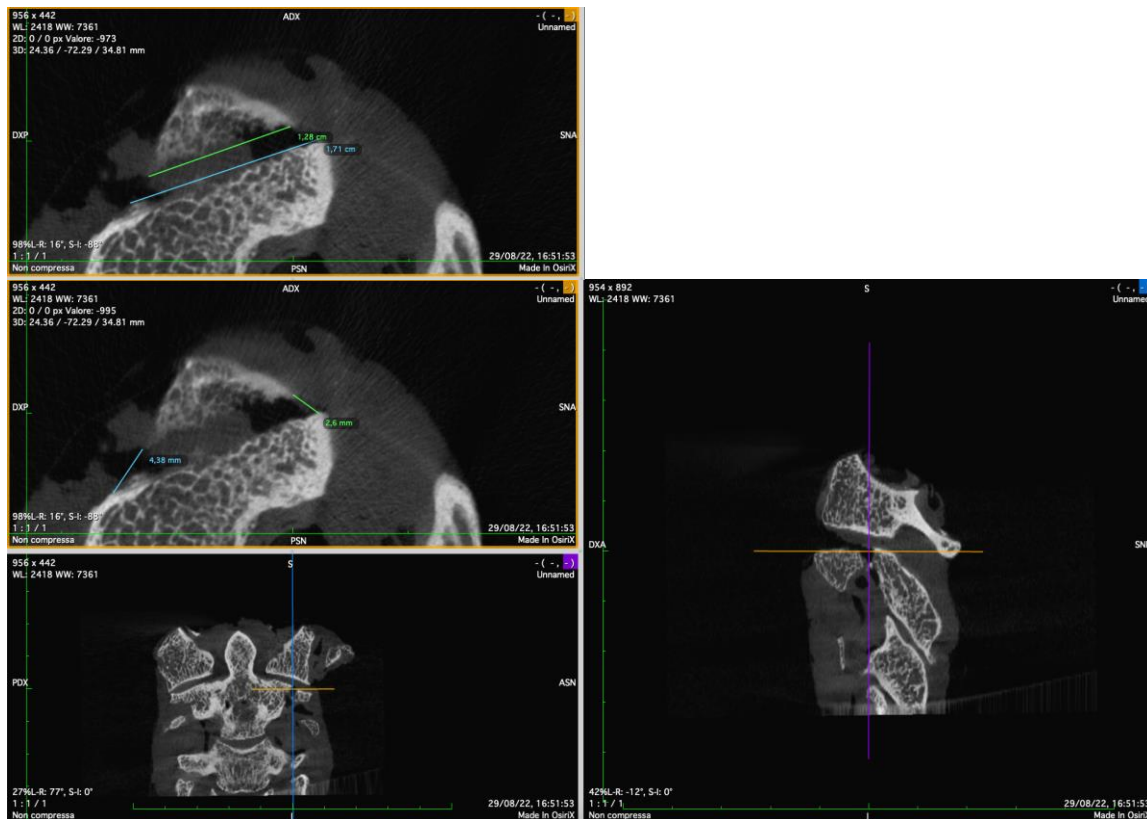


Figura 98: Misurazione delle dimensioni della Lesione O in proiezione assiale in Osirix Lite. Nel riquadro a destra è riportata la proiezione sagittale, in alto a sinistra la proiezione assiale e in basso a sinistra la proiezione frontale. In alto a sinistra ingrandimento della proiezione assiale.

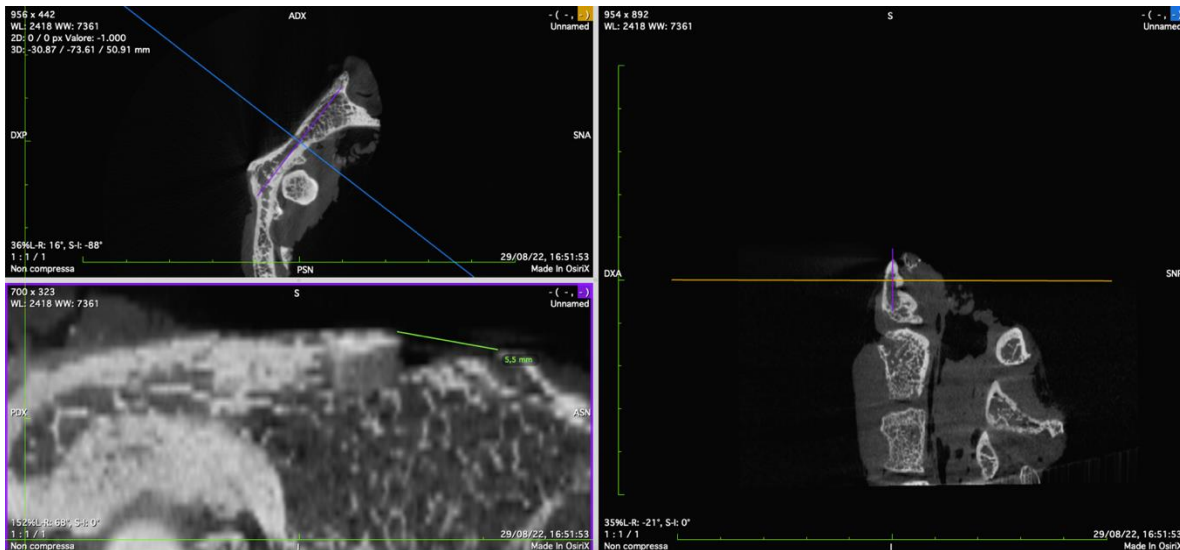


Figura 99: Misurazione delle dimensioni della Lesione O in proiezione frontale in Osirix Lite. Nel riquadro a destra è riportata la proiezione sagittale, in alto a sinistra la proiezione assiale e in basso a sinistra la proiezione frontale.

In proiezione assiale, la Lesione O appare come un quadrilatero:

- lato sinistro: 4,38 mm;
- lato destro: 2,6 mm;
- lato anteriore: 1,28 mm;

- lato posteriore: 1,71 mm.

In proiezione frontale, la Lesione O si presenta con una morfologia triangolare, la cui base misura 5,5 mm.

Ricostruzione 3D stampata

La stampa 3D ottenuta si presenta composta da n. 3 componenti, di materiale plastico di colore bianco traslucido, che è stato possibile riconoscere come C1, C2, C3, a grandezza naturale. La superficie dei tre elementi al tatto appare irregolare e rugosa. Ogni componente può essere manipolata e ruotata rendendo agevole l'orientamento dello stesso nello spazio e può essere assemblata con le altre, ricreando il segmento C1-C2-C3. Ispezionando i vari elementi, si sono riconosciute due lesioni:

- sulla porzione antero-superiore sinistra dell'arco anteriore di C1, si apprezza interruzione della continuità della superficie a forma di "V", con direzione cranio-caudale e latero-mediale, formante con l'asse trasverso un angolo di circa 30°, a margini frastagliati (contrassegnata dalla freccia rossa).
- sulla superficie antero-superiore sinistra di C2, ad interessarne processo trasverso sinistro e corpo, interruzione della superficie lineariforme con direzione cranio-caudale e latero-mediale, formante con l'asse trasverso un angolo di circa 20°, a margini frastagliati. In visione laterale sinistra, è possibile osservare che la medesima lesione prosegue postero-caudalmente sulla faccetta articolare superiore sinistra assumendo andamento curvilineo a concavità volta anteriormente, fino a separare il processo trasverso dal corpo (contrassegnata dalla freccia gialla).

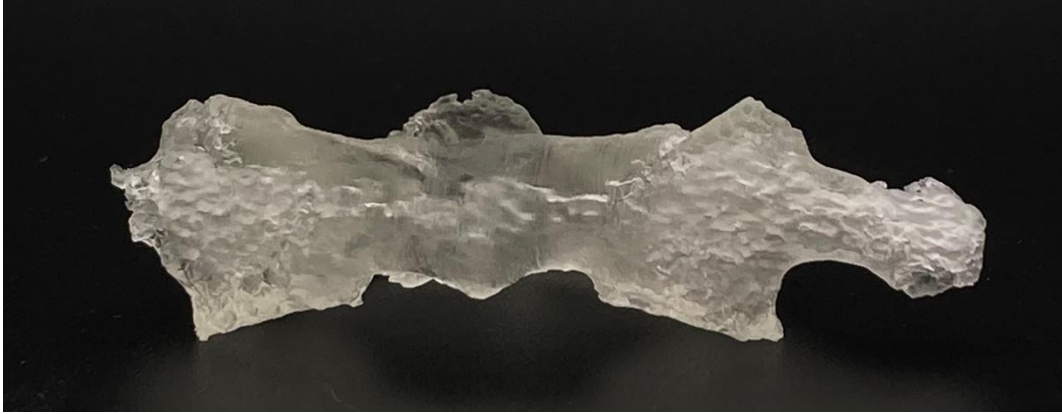


Figura 100: Visione anteriore di C1.



Figura 102: Visione anteriore di C2.



Figura 104: Visione anteriore di C3.



Figura 106: Visione anteriore del segmento C1-C3.

DISCUSSIONE

Lo studio morfometrico di una lesione d'arma bianca sull'osso è elemento fondamentale per stabilire il mezzo con cui la stessa è stata prodotta.

La ricostruzione tridimensionale a partire da immagini microradiologiche dei reperti oggetto del presente studio ha permesso di identificare lesività compatibili con lesioni prodotte mediante l'utilizzo di armi bianche e di andarne a definire le caratteristiche morfometriche.

Interpretazione dei dati microradiologici

CASO 1

Sono stati studiati n. 3 reperti autoptici.

All'ispezione macroscopica dei pezzi non è stato possibile riconoscere a quale segmento rachideo appartenesse il reperto, né definirne le varie superfici nello spazio. Oltre a ciò, non è stata identificata alcuna lesione d'arma bianca.

Al contrario, la ricostruzione con CTVox ha permesso di identificare il segmento rachideo di appartenenza dei vari reperti, di orientare i pezzi nello spazio e di individuare e descrivere nelle tre dimensioni n. 10 lesioni d'arma bianca. Con OsiriX Lite, sono state riconosciute tutte le lesioni individuate in CTVox. Unendo le informazioni morfometriche ricavate dall'analisi mediante i due software citati è stato possibile ricavare informazioni utili alla definizione del tipo di lesione e del mezzo utilizzato per produrla (Tabella 1).

Le lesioni C, D, E, F, sono superficiali e hanno una morfologia lineariforme in tutti i piani. I margini si presentano netti e puliti alla ricostruzione tridimensionale, con assenza di microfratture contigue. Per questi motivi, tali lesioni risultano compatibili con false start dovute ad arma bianca. La larghezza misurata nelle proiezioni, dell'ordine dei millimetri, porta a sostenere che sia stata utilizzata un'arma bianca a lama sottile.

Le lesioni C e D, inoltre, si presentano parallele tra loro, come a significare che l'aggressore, nel primo tentativo di colpire, abbia estratto il mezzo a causa della resistenza

incontrata, dovuta alla presenza dell'osso, e abbia inferto un secondo colpo nelle vicinanze del primo, senza variare la direzione del mezzo nell'impatto. Ciò conferma l'ipotesi che si tratti di false start.

Le lesioni A e B, in proiezione assiale, e la lesione G, in proiezione sagittale, presentano una morfologia triangolare e una profondità maggiore delle lesioni precedentemente descritte. Sono quindi riconducibili a incisioni, che vengono a crearsi quando un'arma bianca si approfonda sulla corticale ossea.

Le lesioni I, H, L, appaiono come complete sezioni ossee. In particolare, le lesioni I e H appartenenti al reperto 2, si accompagnano a microframmenti di osso, probabilmente responsabili del rumore di fondo evidenziato nelle ricostruzioni in CT Vox. I margini, che non si presentano completamente netti, e la presenza di microfratture contigue alla sezione di taglio, fanno ricondurre queste lesioni a lesioni da fendente. L'angolo rilevato, inoltre, consente di risalire alla direzione con cui è stato utilizzato il mezzo.

Secondo quanto emerge dall'analisi morfometrica condotta, i mezzi di produzione delle lesioni sono compatibili con armi bianche a lama sottile come coltelli, per il reperto 1, e fendente, per i reperti 2 e 3. Confrontando questo risultato con i dati circostanziali, secondo cui l'aggressore ha utilizzato n. 3 coltelli da cucina, di cui uno seghettato, e un'ascia, si può sostenere che l'analisi radiologica abbia discriminato correttamente le lesioni da fendente da quelle da coltello ma tra queste ultime non è riuscita a distinguere quelle in cui veniva utilizzato il coltello a lama seghettata da quelle prodotte da coltello a lama non seghettata.

CASO 1			
Reperto	Tipo e sede	Lesione	Mezzo di produzione
Segmento di rachide cervicale			
Lesione A	Interruzione della corticale sul corpo vertebrale lineariforme vista dall'alto, triangolare in sezione assiale, a margini netti	Incisione	Coltello
Lesione B	Interruzione della corticale del corpo vertebrale lineariforme vista dall'alto, triangolare in sezione assiale, a margini netti	Incisione	Coltello
Lesione C	Interruzione della corticale sul processo spinoso, lineariforme, a margini netti	False start	Coltello
Lesione D	Interruzione della corticale sul processo spinoso, lineariforme, a margini netti	False start	Coltello
Lesione E	Interruzione della corticale sul processo articolare sx, lineariforme, a margini netti	False start	Coltello
Lesione F	Interruzione della corticale su processo articolare sx, lineariforme, a margini netti	False start	Coltello
Lesione G	Interruzione della corticale della faccetta articolare, lineariforme vista dall'alto, triangolare in sezione sagittale, a margini netti	Incisione	Coltello
Segmento di rachide dorsale prossimale			
Lesione H	Sezione ossea completa nella porzione prossimale	Piano di taglio	Fendente
Lesione I	Sezione ossea completa nella porzione laterale destra	Piano di taglio	Fendente
Segmento di rachide dorsale distale			
Lesione L	Sezione ossea completa nella porzione supero-laterale sinistra	Piano di taglio	Fendente

Tabella II: Lesioni del Caso 1.

CASO 2

All'ispezione macroscopica del reperto non è stata identificata nessuna lesione d'arma bianca, la corticale ossea si presentava integra e le superfici articolari apparivano

normoconformate. Anche la ricostruzione tridimensionale ha confermato l'assenza di lesioni d'arma bianca a livello osseo.

Questi risultati permettono di escludere che siano stati utilizzati fendenti o corpi contundenti per attuare il depezzamento, così come armi bianche come seghe manuali od oscillanti.

La superficie vertebrale caudale è stata disarticolata dalla vertebra sottostante con coltello a lama sottile monotagliante, come si desume dai dati autoptici. Stante la negatività sia dal punto di vista macroscopico sia microradiologico, si può affermare che tale lama sia passata attraverso le cartilagini articolari non intaccando la corticale ossea. Questa considerazione porta a ipotizzare che anche il mezzo utilizzato per il depezzamento possa essere un'arma bianca a lama sottile e che questa abbia agito proprio a livello delle articolazioni intervertebrali (sinfisi tra i corpi vertebrali, artrodie tra processi articolari), senza lesionare l'osso, attuando perciò una disarticolazione.

CASO 3

All'ispezione macroscopica, è possibile identificare il reperto 1 come appartenente al rachide cervicale, mentre non è stato possibile riconoscere a quale segmento rachideo appartenesse il reperto 2, né definirne le varie superfici nello spazio. Oltre a ciò, non è stata identificata alcuna lesione d'arma bianca a livello osseo. Il reperto 2 presenta delle lesività sulle cartilagini che rivestono le faccette articolari inferiori, presentando plurime indentature lineariformi superficiali compatibili con l'azione reiterata di una lama sottile agente con andamento obliquo rispetto al piano articolare stesso.

La ricostruzione tridimensionale ha confermato l'assenza di lesioni d'arma bianca a livello osseo.

Questi risultati permettono di escludere che siano stati utilizzati fendenti o corpi contundenti, così come armi bianche come seghe manuali od oscillanti, per separare le vertebre C4-C5, che avrebbero invece determinato microfratture e/o dislocazioni di frammenti ossei.

Sapendo, dai dati che ci sono giunti con il pezzo anatomico, che il mezzo utilizzato per disarticolare C5 dal rachide ad essa più caudale, corrisponde ad un coltello monotagliante a lama sottile, e stante il mancato rilievo a livello radiologico di segni di taglio in questo reperto, è possibile affermare che lo stesso sia stato applicato in corrispondenza delle cartilagini articolari, le quali, come emerso dall'analisi macroscopica, presentano infatti sulla superficie plurime indentature lineariformi.

CASO 4

È stato studiato n. 1 reperto autoptico, composto da 3 vertebre che all'ispezione macroscopica non era possibile identificare. Tuttavia, è stato possibile orientare il segmento nello spazio, definendone le varie superfici, senza identificare lesioni d'arma bianca.

Al contrario, la ricostruzione tridimensionale ha permesso di identificare il segmento rachideo di appartenenza delle tre vertebre, di orientare i pezzi nello spazio e, in aggiunta, di individuare e descrivere nelle tre dimensioni n. 3 sospette lesioni d'arma bianca.

Le lesioni K e L appaiono in CTVox come incisioni dotate di margini irregolari, compatibili con lesioni d'arma bianca. La presenza di margini irregolari porta ad escludere tra i mezzi di produzione quello di un'arma bianca a lama sottile.

In ricostruzione multiplanare, le lesioni K e L si approfondano nella corticale ossea del processo spinoso arrivando a diretto contatto con le trabecole, il che rende difficile descrivere la morfologia della lesione, complice anche la scarsa risoluzione offerta dalla ricostruzione.

Per la loro profondità e per l'assenza di una morfologia tipica triangolare, si può escludere che le lesioni siano state prodotte da un'arma bianca a lama sottile a favore dell'ipotesi che sia stata invece utilizzata un'arma bianca a lama seghettata [].

La lesione M consiste in una sezione ossea completa, che attraversa la vertebra craniale trasversalmente. La nettezza del taglio porta ad escludere, anche per questa lesione, che siano stati utilizzati corpi contundenti e/o fendenti.

Dall'analisi morfometrica condotta, i mezzi di produzione delle lesività sono compatibili con armi bianche a lama seghettata per le lesioni K e L.

Secondo i dati circostanziali, per procedere al depezzamento, l'aggressore si è servito di un coltello da cucina per recidere i tessuti molli e la cute, nonché di una sega e di un seghetto dotato di denti ravvicinati, quest'ultimo ricoperto di vernice blu. Durante l'analisi macroscopica, è stato possibile identificare la presenza di alcuni frammenti di vernice che durante il depezzamento si sono depositati sulla superficie superiore del processo spinoso della vertebra più craniale, particolare che l'analisi radiologica, per le sue caratteristiche intrinseche, non ha individuato.

Complessivamente, l'esito dell'analisi morfometrica condotta risulta in accordo con quanto emerso dalle indagini.

CASO 5

La sola ispezione macroscopica non è stata sufficiente per determinare il segmento di appartenenza del reperto, né per orientarlo nello spazio. In aggiunta, non è stato possibile identificare alcuna lesione d'arma bianca.

Al contrario, la ricostruzione microradiologica tridimensionale ha permesso di osservare le vertebre con una risoluzione elevata e di riconoscere che si trattava di C1, C2 e C3. Inoltre, è stato possibile orientare le varie superfici nello spazio e individuare n. 2 sospette lesioni d'arma bianca.

Alla ricostruzione tridimensionale, la Lesione N si presenta come discontinuità corticale a margini netti, con forma di "V", avendo le caratteristiche di un'incisione. L'assenza di microfratture contigue consente di escludere che tale lesione sia stata prodotta da corpo contundente o da fendente.

La Lesione N si approfonda nell'osso determinando un'interruzione completa della corticale, che disloca e allontana il processo trasverso della seconda vertebra dal corrispettivo corpo. Questo permette sia di escludere che sia stato impiegato un coltello a lama sottile sia di stimare che la forza impressa al colpo dall'aggressore fosse elevata. In aggiunta, la profondità delle lesività e la dislocazione dei frammenti ossei, può far sospettare l'utilizzo di una lama con elevata resistenza meccanica.

Confrontando questo risultato con i dati circostanziali, secondo cui le lesioni sono state prodotte con una roncola, si può dire che l'analisi radiologica non è in contrasto con quanto concluso all'accertamento necroscopico.

Vantaggi e limiti dell'analisi microradiologica

Dei 5 casi analizzati, sono stati studiati in tutto 8 segmenti di rachide, per un totale di 21 vertebre che, secondo i dati circostanziali, potevano presentare lesioni d'arma bianca.

In prima istanza, l'analisi microradiologica si è dimostrata utile per riconoscere i segmenti rachidei a cui appartenevano i reperti permettendo inoltre di orientarli correttamente nello spazio, a differenza della sola ispezione macroscopica che si è dimostrata limitata in tal senso. In aggiunta, se macroscopicamente non è stato possibile documentare alcuna lesione d'arma bianca a livello osseo, all'analisi microradiologica si sono rilevate n. 15 lesioni riconducibili a tale tipologia di mezzo. Grazie all'analisi morfometrica condotta si è risaliti al possibile mezzo utilizzato per la loro produzione, come riportato in Tabella 3.

CASO	Reperto n°	Lesione	Tipo di lesione	Mezzo di produzione
1	1	A	Incisione	Coltello a lama indefinita
		B	Incisione	Coltello a lama indefinita
		C	False start	Coltello a lama indefinita
		D	False start	Coltello a lama indefinita
		E	False start	Coltello a lama indefinita
		F	False start	Coltello a lama indefinita
		G	Incisione	Coltello a lama indefinita
	2	H	Piano di taglio	Fendente
		I	Piano di taglio	Fendente
3	J	Piano di taglio	Fendente	
2		/	/	/
3	1	/	/	/
	2	/	/	/
4		K	False start	Arma bianca a lama seghettata
		L	False start	Arma bianca a lama seghettata
		M	Piano di taglio	Arma bianca, non fendente, non lama sottile
5		N	Incisione	Coltello con lama ad elevata resistenza meccanica
		O	Incisione	Coltello con lama ad elevata resistenza meccanica

Tabella III: Tipi di lesioni individuate all'analisi microradiologica con il corrispondente possibile mezzo di produzione.

La possibilità di correlare una lesione ossea al rispettivo mezzo di produzione attraverso l'analisi morfometrica microradiologica era già stata evidenziata in diversi studi, primo fra tutti quello di Thali et al. (23), che segnalava come l'uso di questa tecnica per lo studio di lesioni ossee causate da arma bianca fosse in grado di fornire informazioni utili per determinare dimensione e forma del mezzo di produzione. In tal senso, il nostro studio ha permesso di determinare la classe di appartenenza del mezzo per 14 delle lesioni individuate (cfr. Tabella 3, Lesioni A-L, N, O), e di escludere alcuni tipi di classe per la Lesione M (cfr. Tabella 3).

Tuttavia, i risultati ottenuti, quando compatibili con l'azione di un coltello, non permettevano di distinguere lesività prodotte da una lama seghettata da quelle prodotte da una non seghettata, con riferimento particolare al Reperto 1, Caso 1. Questo riscontro si pone in accordo con quanto concluso da Capuani et al., i quali hanno prodotto sperimentalmente lesioni su clavicole umane utilizzando un'accetta e due coltelli (uno seghettato ed uno non), acquisendo successivamente tramite micro-TC immagini evidenzianti i conseguenti segni di taglio (20). Questi ultimi sono stati analizzati con tre diverse metodologie (microscopia ottica, SEM, Micro-CT) per poi essere confrontati con macroscopia a epifluorescenza. Il confronto ha permesso di concludere che la micro-TC può essere considerata uno strumento utile per ricondurre alcuni segni ossei a ferite da fendente, ma che la stessa tecnica non consente di differenziare lesioni prodotte con coltello seghettato da quelle generate da un coltello non seghettato, in quanto in ricostruzione 3D la superficie ossea viene come levigata.

Nonostante nel Caso 1 non sia stato possibile definire quale lesione fosse prodotta dal coltello seghettato piuttosto che da quello non seghettato, dall'analisi morfometrica microradiologica del Caso 4 si sono potuti ricavare alcuni elementi che hanno portato a propendere per l'utilizzo di un'arma con lama seghettata piuttosto che una a lama non seghettata: le lesioni K e L del suddetto caso, infatti, apparivano in ricostruzione come lesioni dotate di margini irregolari, abbastanza profonde da attraversare lo spessore della corticale ossea e raggiungere l'osso trabecolare. Una lama seghettata, infatti, produce un taglio più grande e profondo rispetto a quello di un coltello non seghettato, che, al contrario, produce un taglio stretto e lineare, con minimo danno osseo (20).

Nella casistica a disposizione, sei delle lesioni individuate sono state identificate come false start, in quanto si presentavano superficiali, in coppia e parallele tra loro (Lesioni E ed F; Lesioni C e D; Lesioni K ed L). Nel caso delle Lesioni C e D ed E e F è stato possibile identificare il mezzo di produzione in un coltello a lama sottile, mentre per le lesioni K e L in un'arma bianca a lama seghettata. Le false start sono le lesioni ossee più informative per dedurre il mezzo di produzione, come messo in luce da Alsop et al. [(24)] i quali hanno riprodotto sperimentalmente false start su campioni di femori e tibie utilizzando vari tipi di seghe e hanno elaborato dei modelli che sono stati in grado di prevedere con precisione fino al 100% gli spessori della lama della sega, attraverso lo studio morfometrico di dette false start.

Il presente studio ha quindi dimostrato che anche in una casistica reale, a differenza della maggior parte degli studi che sfruttano una casistica sperimentale (24),(25), la false start sia una lesione altamente informativa, il cui studio morfometrico permette di risalire all'arma bianca che l'ha prodotta e allo spessore della lama.

Nei casi di negatività all'ispezione macroscopica, il mancato rilievo di lesioni a livello osseo (che potrebbe sembrare un limite della tecnica microradiologica), può comunque fornire informazioni per via indiretta. Infatti, nei casi in cui sia noto dai dati circostanziali e/o necroscopici che vi sia stata una lesione a livello del segmento in esame, sebbene l'eventuale negatività all'indagine microradiologica non consenta di identificare il mezzo per l'assenza di lesioni ossee, come nel Caso 2, ciò permette comunque di ricavare informazioni, escludendo l'impiego in quel segmento di mezzi quali fendenti o corpi contundenti che avrebbero inevitabilmente danneggiato l'integrità della corticale ossea.

Tra i limiti della metodica applicata, va menzionata la difficoltà nel valutare morfologicamente segni di trauma a livello dell'osso trabecolare. Nel caso delle Lesioni K e L, infatti, la porzione più profonda del taglio interessa l'osso trabecolare. La disposizione irregolare delle trabecole ha impedito di definire i confini precisi delle lesioni rendendo difficile selezionare i punti per eseguire le misurazioni. Ciò risulta in accordo con quanto sostenuto da Rubinacci et al. i quali evidenziano come la stessa difficoltà, oltre che per l'indagine microradiologica, si ritrovi anche per i metodi microscopici (SEM) (38).

Nel Reperto 2 del Caso 3 (ottenuto per disarticolazione tra C4 e C5 impiegando un coltello a lama sottile), l'analisi macroscopica aveva evidenziato indentature sulla superficie cartilaginea. Per le caratteristiche intrinseche della micro-TC che non permette di visualizzare i tessuti molli (come il tessuto cartilagineo), tale informazione non era apprezzabile alla ricostruzione tridimensionale. Nel Caso 5, invece, la ricostruzione tridimensionale microradiologica, privata dei tessuti molli, non consentiva di dire che con il medesimo colpo, l'aggressore avesse lesionato sia i tessuti molli che la vertebra ad essi sottostante. L'indagine microradiologica da sola, quindi, può non essere sufficiente per chiarire la dinamica di un evento lesivo, né per stabilire il livello di forza impresso da un aggressore nello sferrare un colpo.

Il limite appena evidenziato riguarda anche eventuali residui di materiale estraneo sul reperto, che in alcuni casi possono essere essenziali per correlare un mezzo di produzione ad una lesione da esso generata. Si pensi al Caso 4, in cui all'ispezione macroscopica si apprezzavano residui di verniciatura blu appartenenti al seghetto utilizzato dal colpevole.

STAMPA 3D: Prospettive future

Il modello 3D stampato consente di riconoscere nell'immediato il segmento come composto da C1, C2 e C3 e di riconoscere n. 2 interruzioni della superficie che è possibile ricondurre (per sede e morfologia) alle Lesioni N e O, le quali appaiono come incisioni dai margini frastagliati, in assenza di microfratture circostanti. Anche di fronte al modello stampato 3D si può, dunque, escludere che le lesioni siano state prodotte da un corpo contundente o da fendente.

Si può, altresì, apprezzare visivamente e al tatto la dislocazione del processo trasverso sinistro della seconda vertebra, elemento che aveva portato a sospettare l'utilizzo di una lama con elevata resistenza meccanica.

La stampa 3D, utilizzata nel Caso 5, si è dimostrata una tecnica promettente per riprodurre lesioni precedentemente ricostruite microradiologicamente, riuscendo a preservarne la forma. Ciò ha permesso, quindi, di trarre le stesse considerazioni per quanto riguarda lo strumento utilizzato per produrre il quadro lesivo.

Tuttavia, come evidenziato da precedenti studi come quello di Edwards et al. [(39)], la stampa 3D non permette una visione morfologica completa e non riesce a riprodurre alcune linee di frattura. In questo studio, infatti, i modelli stampati riproducono le lesioni oggetto di interesse con minor nitidezza dei margini rispetto alla ricostruzione micro-radiologica, consentendo di identificare la classe del mezzo di produzione ma non le caratteristiche individuali dello stesso.

La stampa 3D condivide con le ricostruzioni micro-radiologiche la perdita dell'informazione colorimetrica. Tale aspetto potrebbe sembrare un limite, tuttavia, considerando che le stampe a colori sarebbero estremamente realistiche, nel corso di un processo potrebbero rappresentare un contenuto ad alto impatto emotivo. In ogni caso, combinando la stampa 3D con metodiche di scansione di superficie o volumetriche o sfruttando la fotogrammetria potrebbe essere recuperata l'informazione colorimetrica qualora ritenuto opportuno [(37)].

La stampa 3D non è, allo stato attuale, una metodica validata e utilizzabile in tribunale. È noto dalla Letteratura che esistano numerose possibili fonti di errore nel processo di stampa, che si verificano durante il processo di produzione, di segmentazione, di generazione dei dati STL, di post-elaborazione [(33)]. Tuttavia, come dimostrato dal presente contributo, parrebbe riuscire a raggiungere l'obiettivo che si pone, ossia riprodurre con alta fedeltà quadri lesivi complessi. Ciò risulterebbe di particolare utilità per esporre tali contenuti a chi non dispone di competenze nel campo medico, valicando la necessità di mostrare il reperto autoptico di riferimento nel corso di un processo e tutte le problematiche che questo implicherebbe (potenziale pericolo biologico, manipolazione eccessiva, effetti emotivi e morali sulla famiglia della vittima) (40). Con le stesse premesse, la stampa 3D potrebbe essere impiegata anche nella didattica e nella formazione, ad esempio per la riproduzione di quadri patologici e per la programmazione di un intervento chirurgico in un distretto corporeo difficilmente accessibile, quale elemento prezioso per chiarire rapporti anatomici complessi.

Inoltre, la stampa 3D potrebbe anche essere utilizzata per riprodurre armi bianche prive di margini pungenti o taglienti. Tale metodo, in associazione alla ricostruzione 3D dell'osso, permetterà il fit-matching utile per identificare il mezzo di produzione della lesione.

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti permettono di confermare la micro-TC come un'utile risorsa per condurre analisi morfometriche di lesioni ossee al fine di stabilirne il mezzo di produzione, evidenziandone l'applicabilità in un distretto, come quello vertebrale, mai indagato prima in tal senso in Letteratura. Le vertebre, per la loro localizzazione profonda e per i numerosi rapporti anatomici che instaurano tra loro e con le strutture contigue, rimangono un distretto anatomico difficilmente sondabile nel corso di un esame autoptico. Studiare il rachide in modo sperimentale risulta complesso, complice, non ultima, anche la difficoltà di raccogliere una casistica umana, a differenza delle ossa lunghe che, invece, sono facilmente ottenibili da amputazioni chirurgiche condotte a fine terapeutico.

Ad oggi, per visualizzare la *signature* del mezzo lesivo (pareti e pavimento del segno di taglio), il SEM rappresenta lo strumento di riferimento.

La micro-TC, però, oltre a consentire l'osservazione dell'osso ad una risoluzione comparabile a quella ottenuta in microscopia, permettendo di rilevare caratteristiche submillimetriche, è una metodica non invasiva, al contrario del SEM, il cui utilizzo implica inevitabilmente la compromissione del reperto. Inoltre, la micro-TC offre la possibilità di ottenere ricostruzioni virtuali tridimensionali dalle acquisizioni e, attraverso la ricostruzione MPR, consente la misurazione delle dimensioni del segno di taglio anche da punti di vista non accessibili in microscopia ottica.

Il presente studio, pur analizzando una casistica ridotta, dimostra come l'analisi microradiologica a livello vertebrale sia una metodica promettente ancorchè non sostitutiva dell'analisi macro- e microscopica, e vada posta come uno strumento ad esse integrativo utile a rilevare e caratterizzare morfometricamente microlesività ossee prodotte da arma bianca.

Per consolidare la sua applicabilità in ambito forense e per poterne portare i risultati in un processo, è necessario validare tale tecnica valutando accuratezza, riproducibilità e precisione.

A tale riguardo, l'esecuzione di studi sperimentali che utilizzino vertebre, però, è penalizzata dalla difficoltà di reperire questi campioni, che provengono esclusivamente da casistiche autoptiche con lesioni potenzialmente interessanti il rachide. Se, da una parte, la casistica autoptica ha il vantaggio di presentare lesioni inferte in condizioni reali, nel caso in cui non si riesca a identificare a priori il mezzo di produzione del quadro lesivo, non è possibile stabilire con certezza a quale mezzo corrisponda la lesione ritrovata, il che porterebbe a risultati non interpretabili. D'altra parte, però, essendo il prelievo di segmenti di rachide subordinato alla possibile presenza di lesioni in tale distretto, un futuro protocollo di studio potrebbe riguardare la standardizzazione del metodo di prelievo stesso andando ad analizzare le caratteristiche della superficie di taglio così ottenuta.

Pur essendo necessari studi che utilizzino casistiche più ampie per validare e per consentire l'utilizzo della stampa 3D in tribunale, questo studio ne ha evidenziato le potenzialità quale promettente strumento nelle mani del patologo forense.

BIBLIOGRAFIA

1. Di Luca N.M., Feola T. Manuale di Medicina Legale. Edizioni Minerva Medica, Torino; 2017.
2. S. Black,, E. Ferguson. Forensic Anthropology: 2000 to 2010. CRC Press; 2016.
3. Carew RM, Errickson D. Imaging in forensic science: Five years on. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2019 Mar;16:24–33.
4. Villa C. Forensic 3D documentation of skin injuries. *Int J Legal Med*. 2017 May;131(3):751–9.
5. Eckert W.G. The history of the forensic application in radiology. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*. 1984 Mar;5(1):53–6.
6. Carew R.M., Viner M. D., Conlogue G., Márquez-Grant N., Beckett S. Accuracy of computed radiography in osteometry: a comparison of digital imaging techniques and the effect of magnification. *J Forensic Radiol*. 2019;(Imaging 19).
7. Ebert LC, Franckenberg S, Sieberth T, Schweitzer W, Thali M, Ford J, et al. A review of visualization techniques of post-mortem computed tomography data for forensic death investigations. *Int J Legal Med*. 2021 Sep;135(5):1855–67.
8. Riva F, Buck U, Buße K, Hermsen R, Mattijssen EJAT, Kerkhoff W. Error estimation on extracorporeal trajectory determination from body scans. *Int J Legal Med*. 2022 May;136(3):729–37.
9. Norberti N, Tonelli P, Giacconi C, Nardi C, Focardi M, Nesi G, et al. State of the art in post-mortem computed tomography: a review of current literature. *Virchows Arch*. 2019 Aug;475(2):139–50.
10. Ebner L, Flach PM, Schumann K, Gascho D, Ruder T, Christe A, et al. The tip of the tip of the knife: Stab sequence reconstruction using postmortem CT in a homicide case. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2014 Oct;2(4):205–9.
11. Zerbini T, da Silva LFF, Ferro ACG, Kay FU, Junior EA, Pasqualucci CAG, et al. Differences between postmortem computed tomography and conventional autopsy in a stabbing murder case. *Clinics*. 2014 Oct;69(10):683–7.
12. Carew RM, Errickson D. An Overview of 3D Printing in Forensic Science: The Tangible Third-Dimension. *J Forensic Sci*. 2020 Sep;65(5):1752–60.
13. Vachirawongsakorn V, Painter J, Márquez-Grant N. Knife cut marks inflicted by different blade types and the changes induced by heat: a dimensional and morphological study. *Int J Legal Med*. 2022 Jan;136(1):329–42.
14. Adams Bradley J. *Forensic Anthropology*. Chelsea House Publishers; 2007.

15. Love JC. Sharp force trauma analysis in bone and cartilage: A literature review. *Forensic Science International*. 2019 Jun;299:119–27.
16. Love JC, Wiersema JM. Skeletal Trauma: An Anthropological Review. *Academic Forensic Pathology*. 2016 Sep;6(3):463–77.
17. Symes SA. Morphology of Saw Marks in Human Bone: Identification of Class Characteristics. :259.
18. Bailey JA, Wang Y, van de Goot FRW, Gerretsen RRR. Statistical analysis of kerf mark measurements in bone. *Forensic Sci Med Pathol*. 2011 Mar;7(1):53–62.
19. Nogueira L, Alunni V, Bernardi C, Quatrehomme G. Saw marks in bones: A study of “secondary features” of false start lesions. *Forensic Science International*. 2018 Sep;290:157–61.
20. Capuani C, Rouquette J, Payré B, Moscovici J, Delisle MB, Telmon N, et al. Deciphering the elusive nature of sharp bone trauma using epifluorescence macroscopy: a comparison study multiplexing classical imaging approaches. *Int J Legal Med*. 2013 Jan;127(1):169–76.
21. Poulsen K, Simonsen J. Computed tomography as routine in connection with medico-legal autopsies. *Forensic Science International*. 2007 Sep;171(2–3):190–7.
22. Schnider J, Thali MJ, Ross S, Oesterhelweg L, Spendlove D, Bolliger SA. Injuries due to sharp trauma detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): A feasibility study. *Legal Medicine*. 2009 Jan;11(1):4–9.
23. 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*. 2003;48(6):1336–42.
24. Alsop K, Baier W, Norman D, Burnett B, Williams MA. Accurate prediction of saw blade thicknesses from false start measurements. *Forensic Science International*. 2021 Jan;318:110602.
25. Pelletti G, Cecchetto G, Viero A, Fais P, Weber M, Miotto D, et al. Accuracy, precision and inter-rater reliability of micro-CT analysis of false starts on bones. A preliminary validation study. *Legal Medicine*. 2017 Nov;29:38–43.
26. Norman DG, Watson DG, Burnett B, Fenne PM, Williams MA. The cutting edge — Micro-CT for quantitative toolmark analysis of sharp force trauma to bone. *Forensic Science International*. 2018 Feb;283:156–72.
27. Hodgdon T, Danrad R, Patel MJ, Smith SE, Richardson ML, Ballard DH, et al. Logistics of Three-dimensional Printing. *Academic Radiology*. 2018 Jan;25(1):40–51.
28. Ebert LChr, Thali MJ, Ross S. Getting in touch—3D printing in Forensic Imaging. *Forensic Science International*. 2011 Sep;211(1–3):e1–6.

29. Carew RM, Morgan RM, Rando C. Experimental assessment of the surface quality of 3D printed bones. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2021 Sep 3;53(5):592–609.
30. Shelmerdine SC, Simcock IC, Hutchinson JC, Aughwane R, Melbourne A, Nikitichev DI, et al. 3D printing from microfocus computed tomography (micro-CT) in human specimens: education and future implications. *BJR*. 2018 Jun 14;20180306.
31. Carew RM, Morgan RM, Rando C. A Preliminary Investigation into the Accuracy of 3D Modeling and 3D Printing in Forensic Anthropology Evidence Reconstruction. *J Forensic Sci*. 2019 Mar;64(2):342–52.
32. Stull KE, Tise ML, Ali Z, Fowler DR. Accuracy and reliability of measurements obtained from computed tomography 3D volume rendered images. *Forensic Science International*. 2014 May;238:133–40.
33. Msallem B, Sharma N, Cao S, Halbeisen FS, Zeilhofer HF, Thieringer FM. Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using FFF, SLA, SLS, MJ, and BJ Printing Technology. *JCM*. 2020 Mar 17;9(3):817.
34. Blau S., Phillips E., O'Donnell C., Markowsky G. Evaluating the impact of different formats in the presentation of trauma evidence in court: a pilot study. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 51(6):695–704.
35. Errickson D, Fawcett H, Thompson TJU, Campbell A. The effect of different imaging techniques for the visualisation of evidence in court on jury comprehension. *Int J Legal Med*. 2020 Jul;134(4):1451–5.
36. Baier W, Norman DG, Donnelly MJ, Williams MA. Forensic 3D printing from micro-CT for court use- process validation. *Forensic Science International*. 2021 Jan;318:110560.
37. Carew RM, Iacoviello F, Rando C, Moss RM, Speller R, French J, et al. A multi-method assessment of 3D printed micromorphological osteological features. *Int J Legal Med*. 2022 Sep;136(5):1391–406.
38. Rubinacci A, Tresoldi D, Villa I, Rizzo G, Gaudio D, De Angelis D, et al. Application of high resolution pQCT analysis for the assessment of a bone lesion: A technical note. *Legal Medicine*. 2015 Jan;17(1):60–4.
39. Edwards J, Rogers T. The Accuracy and Applicability of 3D Modeling and Printing Blunt Force Cranial Injuries. *J Forensic Sci*. 2018 May;63(3):683–91.
40. Baier W, Warnett JM, Payne M, Williams MA. Introducing 3D Printed Models as Demonstrative Evidence at Criminal Trials. *J Forensic Sci*. 2018 Jul;63(4):1298–302.