



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

**Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche
CORSO DI LAUREA IN MEDICINA E CHIRURGIA**

Tesi di Laurea Sperimentale

*“Analisi casistica dei decessi conseguenti a lesioni da calore nel
settore di Medicina Legale nel genovese dal 2018 al 2022”*

Relatore

Prof. Francesco Ventura

Candidata

Breveglieri Giulia

Correlatrice

Prof.ssa Camilla Tettamanti

Anno accademico 2022/2023

INDICE

1. Introduzione

1.1. Cenni di patologia forense.....	2
1.2. Lesività traumatica.....	3
1.2.1. Lesioni da energia chimica.....	4
1.2.2. Lesioni da energia fisica.....	9
1.2.2.1. Datazione delle lesioni termiche (ante-mortem e post-mortem).....	23
1.2.2.1.1. Lesioni termiche e lesioni traumatiche.....	25
1.2.2.1.2. Sopralluogo e osservazione del cadavere.....	29
1.2.2.1.3. Virtuopsy	31
1.2.2.1.4. Istologia.....	33
1.2.2.1.5. Indagini molecolari.....	35
2. Finalità.....	37
3. Materiali e metodi.....	38
3.1 Raccolta della casistica	
4. Risultati.....	43
5. Discussione.....	58
6. Conclusioni.....	63
7. Bibliografia.....	64
8. Ringraziamenti.....	66

1.1 Cenni di Patologia Forense

La Patologia Forense si definisce come l'applicazione della medicina al servizio della risoluzione di problematiche di giustizia [1].

L'ambito di studio della Patologia Forense si concentra sull'osservazione critica delle caratteristiche della lesività, al fine di definirne la natura, la modalità e i mezzi produttivi nell'ambito dei cosiddetti "fatti di pertinenza giudiziaria".

Le lesività di interesse medico-legale sono il risultato dell'impatto fra una o più forme di energia (fisica, meccanica, chimica ecc. ...) sull'organismo umano con caratteristiche riconducibili a fattispecie categorizzabili. Pertanto, la Patologia Forense si serve di una metodologia essenzialmente volta all'attenta e scrupolosa indagine descrittiva delle caratteristiche morfologiche e delle dimensioni delle lesioni oggetto di studio, nonché del loro rilievo topografico. A completamento di suddette indagini, talvolta, è opportuno ricorrere ad esami microscopici, tossicologici e genetici.

Lo studio della patologia forense contribuisce all'indagine giudiziaria, confermando o escludendo l'ipotesi di reato con l'obiettivo di attribuire la responsabilità dello stesso.

1.2 Lesività traumatica

Il corpo umano è costituito da superfici duro-elastiche (componenti muscoli-scheletriche e cutanee), dotate di propri indici di resistenza, i quali possono essere superati mediante l'applicazione di un agente lesivo, che determina chiare alterazioni.

Sulla base della natura dell'agente lesivo possiamo distinguere:

- 1) Lesività da energia chimica
- 2) Lesività da energia fisica

In relazione al tipo di impatto/contatto e alla sede attinta, in relazione agli effetti dell'urto/impatto sull'organismo, possiamo distinguere la lesività:

-diretta: quando è limitata alla stessa regione e/o punto in cui agisce l'agente vulnerante, o *indiretta/trasmissiva*, se si manifesta in sedi diverse dalla zona di impatto.

-immediata, allorquando gli affetti si appalesano, sotto il profilo anatomico-patologico, nell'immediatezza dell'accadimento o *consecutiva* se, invece, si rendono evidenti dopo un intervallo di tempo più o meno ampio.

-locale: a carico del distretto anatomico primariamente interessato dall'esplicazione dell'energia lesiva o *generale* quali shock traumatico od emorragico, trombo-embolizzazione, sindromi commotive [1].

1.2.1 Lesioni da energia chimica

Le lesioni da energia chimica sono distinte in:

1-avvelenamento da CO

2-avvelenamento da pesticidi

3-Avvelenamento da erbicidi

4-Intossicazione acuta da stupefacenti

5-intossicazione da farmaci

6-Lesioni da farmaci

Per le finalità della presente trattazione, l'attenzione si soffermerà sull'*Intossicazione da monossido di carbonio*, la forma più comune di intossicazione nella pratica forense.

Le principali sorgenti di avvelenamento sono da riferirsi alla incompleta combustione (incompleta ossidazione) per mezzo di svariati combustibili contenenti carbonio, spesso da attribuirsi a deficienza dell'impianto di tiraggio di stufe o di caldaie; il CO è presente anche nel gas illuminante, nel gas degli altiforni, nel gas d'acqua carburata e nei gas di scarico degli autoveicoli.

La resistenza al CO di carbonio può essere individuale in relazione alle concentrazioni ambientali, dovute alle variazioni di emoglobina nel sangue.

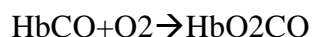
La principale conseguenza di un avvelenamento acuto da monossido di carbonio è un'anossia che può provocare lesioni irreversibili a livello del sistema nervoso centrale, nonché di altri organi e sistemi.

L'emivita di eliminazione del monossido di carbonio (CO) è di circa 4,5 h quando si respira aria ambiente, 1,5 h con ossigeno al 100% e 20 minuti con 3 atmosfere (pressione) di ossigeno al 100% (come in una camera iperbarica).

I meccanismi su cui si basa la tossicità del CO non sono completamente chiari, però essi sembrano coinvolgere:

- Spostamento dell'ossigeno dall'emoglobina (perché il CO ha una maggiore affinità per l'emoglobina rispetto all'ossigeno);
- Spostamento della curva di dissociazione dell'O₂-emoglobina a sinistra (riduzione del rilascio di O₂ dall'emoglobina ai tessuti);
- Inibizione della respirazione mitocondriale;
- Possibili effetti tossici diretti sul parenchima cerebrale.

Dal punto di vista chimico-fisico la combinazione dell'emoglobina con l'ossido di carbonio e con l'ossigeno è regolato dall'equazione di Haldane. Se una soluzione di emoglobina è saturata con una miscela di gas contenente ossido di carbonio e ossigeno le quantità di emoglobina che entrano in combinazione con i due gas sono rispettivamente proporzionali alle pressioni parziali dei singoli gas. L'equilibrio è regolato dalla relazione:



Da cui deriva:

$$\frac{\text{HbCO}}{\text{HbO}_2} = M \frac{\text{Hb P}_{\text{CO}}}{\text{P}_{\text{O}_2}}$$

Dove M è l'affinità relativa del CO per l'emoglobina è 250 volte il valore del Ph del sangue 7.4

La reazione che determina la formazione della carbossiemoglobina è estremamente rapida, mentre quella che porta alla detossificazione è molto più lenta, in quanto il tempo di emissione di dissociazione dell'HbCO è di circa 4-5 ore; ecco perché la combinazione dell'emoglobina con l'ossido di carbonio avviene rapidamente e in maniera competitiva rispetto alla

combinazione dell'emoglobina con l'ossigeno, anche nei casi in cui l'ossido di carbonio è presente nell'aria in quantità minima. Infatti, alla pressione normale di ossigeno nell'aria (P_{O2}) che è del 21% (essendo il valore della costante di Haldane 250), è sufficiente una percentuale di CO nell'aria del 0,1%, per avere, all'equilibrio, un tasso di carbossiemoglobina nel sangue del 50% (la velocità di combinazione è più rapida all'inizio e rallenta quando si avvicina all'equilibrio).

Tra i fattori che possono accentuare la sensibilità all'ossido di carbonio sono da menzionare condizioni di circolazione rallentata, cardiopatie in genere, anemia, asma, ogni condizione di alterato metabolismo, ogni situazione in cui si incrementa l'attività motoria, aumento della temperatura corporea; invece, una più alta percentuale ambientale come un'elevata umidità e una bassa pressione barometrica sono fattori esterni favorenti la combinazione di emoglobina e CO.

È nota una tossicità di specie dell'ossido di carbonio ed è interessante ricordare che alcune specie animali sono più sensibili dell'uomo.

L'anossia da HbCO danneggia *in primis* i tessuti a più alta richiesta di ossigeno, quali tessuto nervoso e cardiaco; di conseguenza, i segni dell'avvelenamento acuto da CO si riferiscono alla compromissione di cuore ed encefalo e sono di gravità crescente in relazione alla percentuale di Hb-CO.

Il sangue ricco di carbossiemoglobina si presenta di colore rosso ciliegia e la sua alta concentrazione nel sangue capillare impartisce un inconsueto colore rosso della pelle, delle mucose e del letto ungueale abbastanza caratteristico da permettere una diagnosi anche nel vivente, ma soprattutto nel cadavere, osservando le sedi ipostatiche di colore rosso vivo e color rosso laccato.

La casistica delle intossicazioni acute mortali da CO si fonda essenzialmente su casi accidentali e suicidari. Per i primi ha giocato un ruolo dominante l'alimentazione in rete in grossi centri urbani di gas illuminante (gas che contiene una elevata percentuale di CO); tale casistica ha mostrato un notevole calo laddove tale gas è stato sostituito con il metano.

La maggior parte degli incidenti per intossicazione da CO è dovuta a difettosa combustione di caldaie e stufe per il riscaldamento. Casi di intossicazione accidentale possono verificarsi nei mesi freddi, in soggetti addormentati all'interno di un'autovettura, tenuta in moto per riscaldare l'abitacolo, o in conducenti di autovetture con un difettoso funzionamento del sistema di scarico ed incompleto isolamento dell'abitacolo. Sono comuni gli incendi (soprattutto in ambiente confinato); in tale evenienza la morte è spesso dovuta all'intossicazione da CO e le ustioni o la carbonizzazione rappresentano un fenomeno post-mortale.

L'altra grande parte di decessi dovuti a questo gas tossico è rappresentata dai casi suicidari realizzati tramite il gas di scarico di autovetture, attraverso un tubo di collegamento all'interno del veicolo con motore acceso.

Il legame dell'ossido di carbonio all'emoglobina è reversibile; infatti, in atmosfera esente da CO, la carbossiemoglobina si dissocia lentamente, rigenerando emoglobina disponibile per il trasporto di O₂, mentre l'ossido di carbonio viene eliminato attraverso i polmoni. La reazione può essere accelerata con la somministrazione di O₂ puro, immediato allontanamento delle fonti di esposizione al gas e ossigenoterapia immediata, i quali accrescono le possibilità di sopravvivenza.

Nei soggetti deceduti per intossicazione acuta da CO è caratteristico il colore rosso ciliegia della cute, in particolare nelle sedi ipostatiche, ben evidenti quando la percentuale di COHb è pari a 30. Anche gli organi interni, il sangue e la muscolatura assumono il medesimo colore.

Il sangue è fluido, brillante. Gli altri reperti autoptici sono aspecifici: i polmoni sono distesi e edematosi, al pari dell'encefalo che presenterà circonvoluzioni appiattite, solchi e scissure superficializzate; talvolta si repertano piccole emorragie nel tessuto corticale cerebrale.

A livello miocardico sono descritti diversi reperti istopatologici: degenerazione delle fibre miocardiche, necrosi focali, emorragie sub-endocardiche del setto interventricolare e dei muscoli papillari. Tuttavia, in alcuni studi sperimentali si è evidenziata la totale assenza di alterazioni miocardiche; laddove presente, la miocitolisi coagulativa (CNB) era espressione della risposta adrenergica dell'organismo alla ridotta contrattilità cardiaca nei casi di intossicazione cronica o nelle forme sub-letali [1].

Nel caso dell'intossicazione acuta la morte avviene per arresto cardiaco in asistolia conseguente a bradicardia, senza evidenza di danno miocardico. La riossigenazione, in questo caso, determina una tipica necrosi catecolinergica senza emorragie interstiziali.

Nel caso di sopravvivenza ad una severa intossicazione, possono osservarsi diversi quadri neuropatologici: necrosi e cavitazione dei nuclei della base o lesioni a carico della sostanza nigra del tronco encefalico.

1.2.2 Lesioni da energia fisica

Le lesioni da energia fisica (Tab.1) si possono dividere in lesioni da:

1-Energia meccanica	-Lesioni da corpi contundenti -Lesioni da arma bianca -Grandi traumatismi -Lesioni da arma da fuoco -Asfissie meccaniche
2-Energia elettrica	-Folgorazione -Fulminazione
3-Energia termica	-Ipotermia -Ipertermia
4-Altre lesioni	-Lesioni da energia radiante -Lesioni da energia barica -ecc.

Tab.1

In merito alle **lesività da energia meccanica**, gli effetti lesivi sull'organismo sono tanto maggiori quanto più elevati sono la velocità ed il peso dell'oggetto impattante e, ancora, proporzionati alla velocità e alla massa dell'organismo stesso, qualora esso sia in movimento secondo i principi della legge cinematica:

$$F=M \times V^2 / 2$$

Per le finalità della presente trattazione, l'attenzione si soffermerà sulle lesioni da energia meccanica, e in particolare sulle lesioni da corpi contundenti, grandi traumatismi e lesioni da arma da fuoco, sulle lesioni da energia elettrica e sulle lesioni da energia termica.

❖ Per quanto riguarda le **lesioni da corpi contundenti** si correlano con l'azione di corpi od oggetti "idonei a contondere" ovvero oggetti con superficie piana, convessa, a margini smussi e senza spigoli vivi, puntuti o margini taglienti; quindi mezzi di offesa e difesa naturali dell'uomo (mani, piedi, gomiti, ginocchia, testa, denti) o degli animali (zampe, testa, corna, denti); strumenti per offesa o difesa personale (bastoni, spranghe, sfollagente, tirapugni, mazze), strumenti di lavoro (martelli, chiavi inglesi, sbarre metalliche, ect ...). L'azione contusiva è convenzionalmente classificata in:

- **Compressione-percussione:** applicazione di forza, perpendicolare od obliqua rispetto alla superficie corporea, per unità di superficie, in un intervallo di tempo lungo o breve e con correlato schiacciamento dei tessuti;
- **Sfregamento:** con applicazione di una forza tangenziale alla superficie corporea;
- **Trazione:** cui si correla effetto di lacerazione e/o strappamento dei tessuti.

Entità ed estensione delle lesioni si correlano con il mezzo impiegato, il distretto corporeo colpito, energia cinetica e reiterazione dell'azione lesiva, potendo determinare:

- **ai tessuti molli superficiali:** escoriazioni, ecchimosi, compressioni, ferite lacero-contuse;
- **ai tessuti e strutture profonde:** ematomi, lacerazioni di muscoli e strappamenti di tendini, fratture ossee, rotture di vasi, dislocazione di organi e strutture che è necessario saper riconoscere quando queste lesioni sono causate da calore o energia meccanica.

- ❖ Per arma bianca s'intende si intende qualsivoglia strumento tagliente atto all'offesa di cui la legge vieta il porto (**tipiche**). Vi si comprendono, in un'accezione più estesa, mezzi non specificamente costruiti per l'offesa, quali utensili di impiego domestico (coltelli, cocci di vetro, porcellana, lamiere, ect ...) occasionalmente impiegabili a scopo vulnerante (atipiche). Ai fini della trattazione descriviamo le caratteristiche di queste lesioni poiché quando si riscontrano in un cadavere carbonizzato è necessario differenziare le lesioni prodotte in vita, che potrebbero essere d'arma bianca, con quelle post-mortali come, ad esempio, quando non si riscontra presenza di fuliggine né macroscopicamente, né istologicamente.

Le armi bianche producono lesioni di vario tipo:

- **Ferite da taglio:** classicamente sono definite soluzioni di continuo recidenti i tessuti molli; eziopatogeneticamente correlate con l'impiego di qualche strumento tagliente, ossia di strumenti che constano di una lama provvista di uno spigolo o margine affilato, capace di esercitare un'azione tagliente, intesa quale recisione netta dei tessuti, in conseguenza di un meccanismo combinato di pressione e di scorrimento.
- **Ferite da fendente:** sono definibili come discontinuazioni recidenti i tessuti molli e le sottostanti strutture scheletriche, correlate all'uso di taglienti caratterizzati per peso e dimensione della lama, che agiscono con un meccanismo di tagliente con quello contundente della massa dello strumento azionato con forza dall'aggressione. Tipici fendenti sono le scuri, le accette, le asce, le mannaie, i pesanti coltelli da macelleria e le roncole.
- **Ferita da punta:** soluzione di continuo eseguita con strumenti appuntiti; ha una sezione circolare, ovalare, poligonale, ed un'estremità appuntita. Si distinguono:

gli appuntiti tipici, ovvero spilloni, aghi, punteruoli, chiodi, stiletti, rebbi di fiocine, rebbi di forconi, lesine, lance, frecce, spine, spicule di animali, e *gli appuntiti atipici*, (strumenti grossolanamente appuntiti o con punta smussa) come l'estremità di rami spezzati, di bastoni, di aste e paletti metallici, di schegge in legno o metallo, corna di animali e qualsiasi oggetto di forma allungata ma poligonale, ad estremità appuntita.

- **Ferita da punta e taglio:** soluzioni di continuo recidenti i tessuti molli correlate con l'uso di mezzi dotati di estremità appuntita, superficie più o meno stretta e uno o più margini taglienti. Si dividono in *propri*, come coltelli, pugnali, spade (che sono strumenti *tipici*), mentre le schegge di vetro, pezzi di metallo appuntiti, frammenti ossei (che sono detti *atipici*). *Gli impropri* sono forbici, trincetto da calzolaio, gli scalpelli, gli spiedi. Il meccanismo lesivo combina l'azione penetrante della punta che agisce da cuneo divaricando i tessuti e recidente i tessuti del filo del tagliente. Questo può essere monotagliante, bitagliante o pluritaglienti.

I grandi traumatismi sono rappresentati da eventi di notevole intensità lesiva, coinvolgenti uno o più persone, caratterizzati da molteplicità, polimorfismo, e polidistrettualità delle lesioni ed a cui consegue quasi sempre la morte della persona.

- **Precipitazione:** possiamo genericamente dividerle in: *cadute al suolo* (la comune caduta o abbattimento al suolo dalla stazione eretta) e le *cadute dall'alto* (corpo libero in caduta da altezze variabili). Anche in questo caso andiamo a descriverle per differenziare le lesioni prodotte in vita con quelle post-mortali: la tipologia e l'estensione della lesività in corso di cadute dall'alto dipende dal peso del corpo, dalla sua velocità, dalla natura della superficie impattata, dalla durata e intensità della forza d'impatto e dalle caratteristiche dei tessuti corporei. Tra questi l'altezza è il

fattore che impatta di più sulle lesioni poiché la velocità d'impatto è correlata alla distanza dalla caduta.

Va sottolineato però, che la dinamica dei corpi in caduta libera frequentemente è caratterizzata da movimenti di rotazione o avvitemento, che dissipano l'energia cinetica. Allo stesso modo, l'urto con altri ostacoli durante la caduta, provoca lesioni secondarie. A fronte di questo, appare evidente che non esista un quadro lesivo patognomonico della precipitazione sia per l'enorme variabilità di fattori fisici intrinseci ed estrinseci all'organismo che propri della dinamica del traumatismo; tuttavia, accanto ad una lesività esterna di tipo contusivo-escoriativo o caratterizzata da soluzioni di continuo della cute e del sottocute, si osserva un imponente quadro lesivo, variamente combinato, a carico delle strutture viscerali ed osteo-muscolari.

Non esiste una corrispondenza diretta tra la sede d'impatto e la gravità delle lesioni; talvolta le lesioni più severe possono essere lontane dal punto d'impatto primitivo, mentre la trasmissione della forza di decelerazione lungo il rachide nell'impatto podalico può comportare anche fratture del bacino, vertebrali, lacerazioni del midollo spinale, fratture ad anello della base cranica, lacerazioni e contusioni del tronco encefalico.

- **Schiacciamento:** è il risultato delle forze di compressione applicate sulla superficie corporea così che la lesività dipende da fattori intrinseci e quindi correlati al mezzo comprimente (peso, volume, forma e dimensione) e/o alle forze stesse (accelerazione, velocità, ect ...) ed intrinseci, legati alla modalità di impatto (rapida, immediata, lenta). Per tali ragioni non è possibile definire un'unica entità nosologica. Le cause del decesso per cui possono attribuirsi a diverse modalità ed essere perciò

ascrivibili sia ai traumi in sé (gravi traumatismi fratturativi, contusivi, profondi, polidistrettuali, polimorfi), sia a meccanismi asfittici per la costrizione toracica o MOF, secondaria agli effetti organici dei traumi stessi (crush syndrome).

- **Incidente stradale da persona occupante il veicolo:** È di frequente osservazione forense che lesioni traumatiche nel contesto di un sinistro della strada vedano il sovrapporsi dei fenomeni correlati alla carbonizzazione per successivo incendio accidentale, da cui un iter diagnostico tutt'altro che agevole [2]. Le caratteristiche delle lesioni traumatiche attengono all'urto del corpo contro le strutture dure, rigide ed anelastiche tipiche dell'abitacolo di un'autovettura. Le lesioni riportate dagli occupanti la vettura variano in relazione a vari fattori: dinamica del sinistro, caratteristiche strutturali dell'autovettura, massa e velocità dei mezzi veicolari impattanti, uso delle cinture di sicurezza e posizione degli occupanti la vettura. Sulla base della compatibilità lesiva, si è da sempre sostenuto che il conducente ed il passeggero al suo lato presentano generalmente una lesività eterogenea, tipicamente multipla, multiforme, polidistrettuale, polimorfica: analogamente, i passeggeri terzi trasportati posteriormente, risultano genericamente più protetti rispetto all'impatto contro le strutture rigide dell'abitacolo, conseguente all'urto anteriore dell'autovettura: sono descritte lesioni contusive a carico di testa e spalle, nonché fratture o lussazioni di gomito. Invece nei tamponamenti risultano particolarmente esposti nei tamponamenti, specie da parte di veicoli pesanti dotati di grossa massa, con espressività lesiva multipla e pluridistrettuale, fra cui spiccano le lesioni vertrebromidollare e cranio-encefaliche.

- ❖ Le lesioni da arma da fuoco sono definite come “congegni meccanici atti a lanciare a distanza corpi pesanti, ossia i proiettili, sfruttando la forte spinta dei gas sviluppati dalla

deflagrazione di speciali miscugli esplosivi”. Gli effetti direttamente ascrivibili all’azione del proiettile sull’organismo dipendono dalla sede di impatto e dal tragitto extracorporeo. Si distinguono: **lesioni contusive, lesioni penetranti, lesioni a scoppio**, lesioni da proiettili secondari. Ci sono altri effetti lesivi correlati dalla deflagrazione delle polveri, d’innesco e di lancio riconducibili: **agli effetti della progressione dei gas** (che escono dalla canna e nei colpi a contatto, penetrando il proiettile, si espandono con violenza nel sottocute), **agli effetti della fiamma, dei fumi, dei residui incombusti** (qualora i colpi siano sparati da vicino, o quasi a contatto, per cui si documentano intorno al foro d’ingresso “segni” correlati alla deflagrazione), **agli effetti delle sostanze costituenti la carica di lancio e l’innesco** oppure dei loro residui, ovvero i Gunshot Residues (GSR).

Le lesività da colpo di arma da fuoco armata con munizionamento singolo si distinguono in:

- **Ferite penetranti: a fondo cieco** (che constano di un foro di ingresso e di un tramite incompleto con ritenzione del proiettile), **trapassanti** (che presentano un foro d’ingresso, tramite intracorporeo completo e foro di uscita), **a setone** (formate da un tramite superficiale scavato nel tessuto cutaneo che collega i fori di entrata e uscita)
- **Ferite da scoppio**: tipiche dei tavolati cranici e/o delle superfici ossee in generale, degli organi cavi in stato di replezione, quali stomaco, intestino, vescica, utero gravido, cuore in diastole; perciò, nel cadavere carbonizzato dobbiamo fare diagnosi differenziale tra questo tipo di lesioni e i visceri che solitamente sono esposti all’esterno.

- **Ferite spurie** (situate intorno o in prossimità del foro di ingresso, prodotte da frammenti di oggetti interposti alla traiettoria ovvero frammenti metallici del proiettile, animati da sufficiente forza viva) [1].

In merito alle **lesività da energia termica**, si fa riferimento principalmente alle ustioni. Tuttavia, queste ultime non sono lesioni specifiche, poiché possono essere prodotte dall'effetto di un'energia fisica (calore, elettricità, radiazioni) o una sostanza chimica che agisce sulla superficie corporea con un'intensità superiore a quella che la stessa può assorbire. Si connotano come agenti ustionanti per mezzo dell'effetto del calore (mezzi urenti), le fiamme, i metalli incandescenti, e comunque corpi solidi roventi, i liquidi bollenti, le esplosioni, le correnti elettriche con il loro effetto elettrotermico.

Le lesioni che ne derivano variano per gravità ed estensione. Per valutare la **gravità** si utilizzano alcuni parametri, quali l'estensione, la profondità, l'agente causale, la sede, l'età del soggetto, malattie preesistenti (diabete, malattie cardiache, malattie respiratorie etc....).

Le ustioni si classificano anche in base alla **profondità**, in quattro gradi:

-I grado: eritema, è caratterizzato macroscopicamente dal rilievo di un'area di colore rossastro, di varia forma e dimensione, a margini sfumati, rilevata, circondata da cute pallida. Essa consegue a intensa iperemia e vasodilatazione locale.

-II grado: flittene, è caratterizzato dal rilievo di bolle o vescicole, a contenuto liquido di colore bianco-giallastro, bordate di aloni rossastro concentrico. Il fondo di tali vescicole si colloca nello spessore dell'epidermide o nello strato superficiale del derma. Alla rottura

si individuano, macroscopicamente, aree disepitelizzate, di varia forma e dimensione, di colorito rossastro, a fondo umido. Sotto il profilo medico-legale i flitteni si connotano come lesioni vitali, vale a dire lesività prodotte ante-mortem. Gli annessi cutanei sono risparmiati, anche se l'area lesa (epidermide che accoglie la raccolta di liquido nel suo spessore) è a rischio di infezione in caso di rottura. In assenza di complicanze infettive, suddette lesioni guariscono senza lasciare reliquati importanti in 2-3 settimane.

-III grado: necrosi dei tessuti molli variamente approfondantesi sino al piano osseo, cui si accompagna la formazione di escare, croste di colorito brunastro giallastro, secche od umide, compatte, coriacee. In questi casi il rischio infettivo per i tessuti danneggiati è molto elevato, come il rischio di diffusione nel sistema circolatorio da parte di sostanze chimiche e di agenti infettivi. La guarigione, ancorché possibile, si realizza lentamente, lasciando sulla superficie danneggiata cicatrici retraenti e deturpanti.

-IV grado: si determina esclusivamente per effetto di fiamma o corpi solidi urenti; si caratterizza per la carbonizzazione dei tessuti che assumono un aspetto friabile, anelastico e un colorito nerastro.

La profondità delle ustioni comunque può variare dopo il trauma fino a giungere a completa demarcazione anche nell'arco di 7-10 giorni. Di conseguenza, anche il decesso - che ne può conseguire - non necessariamente avverrà in maniera immediata, bensì anche ritardata in termini di giorni [1].

Concorre al determinismo della gravità dell'ustione anche l'**estensione** della zona lesa: tanto questa è maggiore e tanto aumenta il pericolo di vita dell'ustionato. Il metodo più utilizzato è "la regola del 9" di Wallace, semplice e di rapido impiego, soprattutto per una prima classificazione sul luogo dell'incidente.

La stima della Regola del Nove della superficie corporea coinvolta si basa sull'assegnazione di percentuali a diverse aree del corpo. L'intera testa è stimata al 9% (4,5% per anteriore e posteriore). L'intero tronco è stimato al 36% e può essere ulteriormente suddiviso in 18% per i componenti anteriori e 18% per la schiena. La parte anteriore del tronco può essere ulteriormente divisa in torace (9%) e addome (9%). Gli arti superiori ammontano al 18% e quindi al 9% per ogni arto superiore. Ogni arto superiore può essere ulteriormente suddiviso in anteriore (4,5%) e posteriore (4,5%). Gli arti inferiori sono stimati al 36%, al 18% per ogni arto inferiore. Anche questo può essere ulteriormente suddiviso in 9% per la faccia anteriore e 9% per la faccia posteriore. Per l'inguine parliamo dell'1% [3].

Nella valutazione della gravità delle ustioni va posta attenzione all'individuazione delle aree critiche del corpo (Tab.2):

Viso	Qualsiasi ustione al volto è grave perché può comportare lesioni alle vie aeree o degli occhi.
Mani e piedi	Sono altre zone a rischio, perché la formazione di cicatrici può determinare la perdita di movimento delle dita.
Regione inguinale	Quando le lesioni interessano genitali, natiche, faccia interna delle cosce la possibilità d'infezione costituisce un problema spesso molto più grave del danneggiamento iniziale dei tessuti.
Gomiti e ginocchia	Sono sedi nelle quali la formazione di una cicatrice retraente tende a limitare le normali escursioni dell'arto

Tab.2

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei fattori che contribuiscono a determinare la gravità delle ustioni, quali la profondità, l'estensione, la sede corporea interessata e l'età del soggetto.

Tab.3: Gravità delle ustioni a seconda del grado e dell'estensione

Livelli gravità	Grado	Estensione
Ustioni lievi	1° grado	<50%
	2° grado	<15% se adulti 10-20% nei bambini
	3° grado	<2% (escluso aree critiche)
Ustioni moderate (in assenza di malattie preesistenti e senza l'interessamento di "aree critiche")	1° grado	Tra il 50 e il 75%
	2° grado	15-25% se adulti 10-20% nei bambini
	3° grado	<10%
Ustioni gravi/critiche	1° grado	>75% (per il rischio di malattia dell'ustionato)
	2° grado	>25% adulti >20% bambini
	3° grado	>10%

	(ustioni in “aree critiche”, complicate da malattie preesistenti, traumi, inalazioni di fumi o gas tossici)	
--	---	--

Le lesioni da ustione provocano numerosi danni, che si possono racchiudere nella definizione di **malattia da ustione**, caratterizzata da danni cardiogeni, ipovolemia e shock distributivo. Questo avviene principalmente a causa dell'aumento della permeabilità capillare e degli spostamenti dei fluidi. Essendo una condizione sistemica si tratta di pazienti delicati: l'insufficienza respiratoria può essere multifattoriale. La lesione primaria ai polmoni e alle vie aeree superiori si verifica a causa di lesioni da inalazione termica diretta. La lesione secondaria può verificarsi precocemente, dopo l'attivazione della risposta infiammatoria sistemica, o più tardi, dopo lo sviluppo della sepsi.

A seguito di gravi lesioni termiche, i pazienti mostrano risposte fisiologiche e metaboliche con conseguente tachicardia persistente, tachipnea e aumento della temperatura interna basale. Inoltre, a seguito di una grave lesione da ustione questi soggetti sono ipermetabolici con conseguente perdita di proteine e riduzione della massa magra. Mentre lo stato ipermetabolico fornisce glucosio ai tessuti glucosio-dipendenti, alla fine contribuisce alla disfunzione immunitaria, alla sepsi e all'insufficienza d'organo con successivo decesso.

Anche il danno renale acuto è comune a seguito di una lesione da ustione ed è associato a una mortalità riportata compresa tra l'80 e il 100%.

Nell'ambito della lesività da calore, la carbonizzazione (Fig.1) consegue a combustione completa in presenza di ossigeno e temperature elevate (>300°). Le aree di

carbonizzazione hanno varia forma e dimensione, con vario grado di approfondimento, alternarti ad aree di ustione, di necrosi, di flitteni ed arrossamento, responsabili nel complesso del cosiddetto “**aspetto a pelle di leopardo**” con cute secca e nerastra. Peli e capelli si presentano totalmente bruciati. Il cadavere spesso a motivo della coartazione tissutale (cutanea, muscolare e tendinea) si presenta in atteggiamento da *lottatore*, caratterizzato da iperflessione degli arti superiori addotti e flessi al torace ed inferiori con ginocchia flesse e addotte. I visceri spesso sono direttamente visibili all'esterno. La bocca semiaperta, i denti ben esposti.

Fig. 1



Le cornee di colore bluastro. Frequenti le fratture craniche da scoppio. Le ossa carbonizzate si presentano di colorito biancastro, leggere e di consistenza ridotta, friabili.

Per quanto riguarda le **lesività da energia elettrica**, la corrente elettrica ha vari effetti a livello cellulare, in particolare sui potenziali d'azione, che variano in base alle cellule

attraversate; quelle nervose e muscolari possono avere i danni maggiori per alterazioni della produzione del segnale nervoso e della contrazione muscolare. Il passaggio della corrente elettrica provoca elettrolisi, distruzione e morte cellulare, che sono correlate allo sviluppo di calore durante il passaggio della corrente.

Più è alta la resistenza del materiale attraversato e maggiore è la forza termica che si sviluppa e quindi il danno. Ad esempio, i tronchi nervosi e i vasi presentano una bassa resistenza termica e una buona conduttività, perciò su di loro il danno sarà minore, mentre ossa, tessuto connettivo, tendini e tessuto adiposo hanno un'elevata resistenza, per cui si avrà un danno termico molto elevato.

I pathways (attraverso la cute, infatti, si riesce a identificare il sito di entrata e quello di uscita della corrente elettrica) che si sviluppano sono verticale, che interessa le strutture assiali del corpo ossia il SNC, il cuore e la muscolatura respiratoria, e orizzontale, che di solito, ha un percorso mano-mano, transtoracico, con interessamento del cuore e della muscolatura respiratoria mentre piede-piede comporta un danno locale molto severo, ma non letale [1].

1.2.2.1 Datazione delle lesioni termiche (Lesioni ante mortem e post mortem)

Nella valutazione forense dei corpi carbonizzati è di importanza cruciale individuare la presenza di rilievi che permettano di ricondurre la causa di morte all'azione dell'energia termica oppure ad altra causa con esposizione del cadavere alla fiamma in epoca post-mortale. Tale distinzione utile al fine di individuare l'occultamento di atti omicidari mediante carbonizzazione del cadavere. Pertanto, è di particolare interesse considerare il rilievo di eventuali lesioni vitali, che possano consentire di ricostruire la dinamica dell'evento, dimostrando che il soggetto era in vita nel momento in cui era esposto alla fiamma. Distinguiamo segni vitali esterni, come flittene (compreso il contenuto ricco di pus e la reazione infiammatoria circostante), depositi di fuliggine agli angoli degli occhi (i cosiddetti *crow's feet*), ciglia parzialmente bruciate e, talvolta, petecchie emorragiche congiuntivali [4].

Tuttavia, suddetti reperti non risultano visibili se il corpo ha subito un'esposizione prolungata al calore fino alla carbonizzazione, pertanto Tra quest'ultimi citiamo: depositi di fuliggine nel tratto respiratorio, indice di un'inalazione di fumi e, quindi, di una conservata attività respiratoria (questi residui carboniosi si possono trovare anche nell'esofago e nello stomaco); livelli di CO-Hb nel sangue del cadavere: la percentuale di carbossiemoglobina nel sangue del cuore e dei grossi vasi superiore al 10%, formatasi per assorbimento di CO sviluppatosi dall'incendio, è espressione della perdurante azione cardio-circolatoria; ed embolia grassosa nel polmone, proveniente da parziale liquefazione dell'adipe sottocutaneo (anch'essa espressiva di attività cardio-respiratoria)[1].

Si può utilizzare l'esame istologico delle vie respiratorie per dimostrare i cambiamenti dovuti all'inalazione di gas caldi. Tuttavia, va ricordato in questo contesto che alcuni reperti, ad esempio l'allungamento nucleico e la disposizione delle palizzate nell'epitelio

delle vie respiratorie, possono anche essere dovuti agli effetti post mortem del calore sul corpo. D'altra parte, altri reperti come iperemia, edema della mucosa delle vie respiratorie ed edema polmonare interstiziale e intralveolare sono aspecifici. Il distacco della mucosa dell'epiglottide, della trachea e dei bronchi può essere dovuto anche all'autolisi e alla decomposizione [4].

1.2.2.1.1 Lesioni termiche e lesioni traumatiche

Nell'ambito della diagnosi differenziale tra lesioni vitali e lesioni post-mortali, assume notevole importanza la distinzione tra fratture da calore e fratture ad altra eziologia traumatica. Le fratture da calore sono causate da sollecitazioni statiche diffuse all'interno dell'osso o da forze di trazione dei tessuti molli, determinate dalla disidratazione e dalla carbonizzazione. Le caratteristiche possono variare in base alla temperatura e alla durata dell'esposizione al calore.

A differenza delle fratture traumatiche dirette, le fratture da calore hanno l'aspetto di fratture a patina o fessure sottili, tipicamente quando interessano le ossa piatte. Sulle ossa lunghe possiamo osservare fratture longitudinali (lungo l'asse maggiore delle ossa lunghe), fratture curvilinee, fratture trasversali perpendicolari all'asse longitudinale delle ossa e fratture da delaminazione o da distacco, tipicamente delle regioni epifisarie. Inoltre, è stata descritta la presenza di fratture a gradini e fratture lungo la linea di ustione, che ne seguono il confine e separano l'osso bruciato da quello non bruciato [5].

In generale, l'osso attraversa quattro fasi, una volta esposto al calore: la disidratazione, la pirolisi dei costituenti organici, la perdita di carbonati e la conversione in cristalli causando la calcinazione, e, infine la fusione e la coalescenza dei cristalli inorganici con conseguenti cambiamenti dimensionali [6].

L'interpretazione di eventuali traumi, nei casi di resti scheletrici sottoposti a combustione, può essere difficile. Tuttavia, sia gli studi sperimentali che l'esperienza sul campo indicano che le prove diagnostiche di un trauma possono sopravvivere all'evento della combustione, ma il loro aspetto può essere influenzato dalla frammentazione legata alla combustione. La microscopia elettronica a scansione indica che tra 150 °C e 1150 °C gli effetti del calore non

sono evidenti. Tuttavia, la Letteratura Scientifica ha individuato che generalmente tra 800 °C e 1400 °C compaiono nuovi cristalli, i quali si fondono quando la temperatura è al di sopra dei 1000 °C. Inoltre, la componente organica dell'osso sopravvive fino a temperature di 400 °C. Nello studio al microscopio elettronico a scansione di denti inceneriti, si è rilevato che la dentina presenta cambiamenti strutturali a partire da 600 °C circa. A partire da circa 800 °C le barre di smalto presentano una struttura alterata [7].

Le variazioni di colore delle ossa indicano gli intervalli di temperatura a cui queste sono state esposte. Oltre alla temperatura di esposizione i fattori che influenzano il colore dell'osso sono il tempo di esposizione, la posizione rispetto alla fonte di calore, la disponibilità di ossigeno e il rapporto tra i componenti organici e inorganici dell'osso, che rispondono diversamente alle varie temperature. L'osso generalmente è di colore avorio chiaro, che si trasforma in bruno e nero a seguito della carbonizzazione. La fase successiva è la pirolizzazione dei composti organici, che porta a una sfumatura grigia dell'osso, per poi diventare di colore bianco segnalando la calcinazione che corrisponde alla perdita completa di tutti i composti organici e la fusione e la coalescenza dei cristalli inorganici.

Per standardizzare le descrizioni del colore delle ossa citiamo le *Munsell Soil Colour Charts* e il *CEILAB*. Le prime contengono nove schede di colore raggruppate ed ogni chip di colore è descrivibile con un nome standard e con una combinazione di tre componenti del colore: tinta, croma e valore (che indica la luminosità), il *CIELAB*, invece, è un altro metodo per la registrazione del colore delle superfici ossee. È un sistema tridimensionale dove ogni colore è definito da tre coordinate; l'asse L^* è un riflesso della luminosità classificata da 0 (nero) a 100 (bianco), l'asse a^* i colori rosso/verde (il rosso per i valori positivi, il verde per quelli negativi), e l'asse b^* i colori giallo/blu (il giallo per i valori positivi, il blu per quelli negativi). Il colore $L^*a^*b^*$ può essere registrato da uno spettrofotometro elettronico o da un

colorimetro, riducendo al minimo le interazioni e gli errori inter-osservatori, consentendo la modellizzazione matematica e il tracciamento di un grafico tridimensionale dei colori.

Diversi studi hanno analizzato i cambiamenti della microstruttura e dell'istologia dell'osso in relazione all'esposizione al calore. È stato studiato il comportamento degli osteoni in relazione al calore con l'intento di dedurre la temperatura di combustione. Ma questi studi non hanno raggiunto un consenso.

Si è poi studiato otticamente i cambiamenti dei minerali ossei utilizzando la microscopia elettronica a scansione (SEM). Fino a 200 °C tutti riportano una superficie ossea intatta e leggermente ondulata con canali vascolari regolari. Da 200 a 300°C descrivono la superficie come più ruvida e granulata, e, a partire da 300 °C, si è osservato uno strato "vitreo" di carbone e un modello di fessurazione poligonale emergente sull'osso subcondrale, formato da fessure tra i canali vascolari facilitate dalla disidratazione. Tra 400 °C e 600 °C si descrivono superfici ossee bucherellate e "spumose". A temperature superiori a 800 °C si è riscontrata la presenza di cristalli sferici e la formazione di nuovi cristalli esagonali. Inoltre, è stata osservata una fusione localizzata dei cristalli esagonali con formazione di cristalli di varia morfologia e dimensioni diverse a temperature superiori a 1000 °C. A partire da una temperatura di 1600 °C si osserva una completa distruzione di tutte le caratteristiche strutturali dell'osso a causa della fusione e della successiva ricristallizzazione del minerale osseo al raffreddamento.

Con l'uso della microscopia elettronica a trasmissione (TEM) si osserva una transizione delle fibrille di collagene da inalterate, con un diametro uguale, a fibrille caratterizzate dalla presenza di una o più aree di fusione localizzate, a fibrille corte di lunghezza inferiore a 3 µm, con aree di fusione a bulbo su entrambe le estremità. Infine, abbiamo i campioni amorfi

in cui non è stata rilevata alcuna evidenza di bande. Questo modello di deterioramento si osserva con l'aumento del calore.

La cristallinità si riferisce all'ordine all'interno del reticolo cristallino: l'osso fresco presenta una bassa cristallinità, mentre l'osso alterato termicamente mostra un aumento della cristallinità e cristalli più grandi: la diffrazione a raggi X (XRD) è uno strumento popolare per la determinazione dei cambiamenti nella matrice ossea. Un aumento delle dimensioni dei cristalli con l'utilizzo della XRD si nota però, solo a partire da temperature superiori a 700 °C.

La spettroscopia infrarossa di Fourier (FTIR) invece sembra essere la più accurata per la determinazione dell'indice di cristallizzazione a temperature di combustione inferiori.

In conclusione, si può dire che, ad oggi, i risultati più accurati nella descrizione dell'osso esposto al calore e nella stima della temperatura possono essere ottenuti quando si prendono in considerazione sia tecniche quantitative, come l'FTIR, sia dati qualitativi come il colore e la microstruttura. Ciò nonostante, c'è ancora molto potenziale per il perfezionamento di queste tecniche e sono necessarie indagini più approfondite per una migliore comprensione degli eventi e cambiamenti post-combustione [8].

1.3.3.1 Sopralluogo e osservazioni del cadavere

Il Sopralluogo giudiziario è atto avente come finalità ultima la ricostruzione delle modalità di produzione di un fatto delittuoso, nonché delle circostanze in cui questo è venuto a realizzarsi, nell'intento di stabilirne la natura, ricercare eventuali tracce del reo, ricostruire la dinamica dell'evento, anche in riferimento al *modus operandi* dell'autore del reato [1].

Nel caso dei cadaveri con lesività di origine termica, già nel corso del sopralluogo occorrerebbe cercare di chiarire l'identità della vittima, la presenza di lesioni vitali esterne e individuare elementi che possano orientare sulla causa della morte, utili a porre il sospetto di reato.

In primo luogo, è difficile risalire all'identità del cadavere poiché il calore altera o cancella i connotati, induce la retrazione cutanea e sottocutanea dissimulando l'età del soggetto e infine la cornea può assumere un aspetto opalescente. Ai fini dell'identificazione, vi saranno esami e valutazioni successive che potrebbero essere utili, si menziona l'analisi dei materiali protesici, sia odontologici che non odontologici [9].

Anche l'odontologia forense in questi casi è rilevante, anche se l'osso alveolare ed i denti sono distrutti dal calore. I resti dovrebbero essere analizzati da un odontoiatra forense sul posto e fotografati in situ, la testa deve essere esposta correttamente, eventuali strutture dentali devono essere raccolte, fotografate e riposte in un contenitore [10]. Successivamente, l'identificazione dentaria avverrà tramite il confronto morfologico antemortem e postmortem dell'impronta dentaria e degli impianti (comprensivi di numeri seriali).

Nel corso del sopralluogo il medico legale raccoglie dati utili allo stabilire l'epoca della morte. In questi casi la valutazione del raffreddamento cadaverico tramite la misurazione rettale non è molto informativa, mentre l'entomologia e l'entomotossicologia si sono rivelate

utili anche nei cadaveri carbonizzati per avere informazioni sulla causa del decesso, sulle circostanze e sull'epoca dell'incendio; pertanto, occorre procedere al campionamento entomologico [11]. Inoltre, è necessario un adeguato campionamento del terreno e dei detriti circostanti, poiché la carbonizzazione può esitare in fratture e disarticolazioni. È necessario quindi raccogliere tutti i resti ossi e coinvolgere subito un antropologo forense per distinguere resti umani da quelli animali e dai contaminanti ambientali e valutare lo stato di conservazione dei resti sulla scena, mappare e catalogare i corpi.

Bisogna, inoltre, analizzare la posizione, l'ubicazione e l'orientamento del corpo, esaminare e documentare le condizioni del cadavere in situ. Per risalire al mezzo ustionante si esamina il vestiario della vittima e si va a ricercare la natura dell'eventuale liquido infiammabile.

1.3.3.2 Virtuopsy

La Virtuopsy è una tecnologia multidisciplinare che combina le tecnologie delle tecniche mediche di imaging 3D e la scansione superficiale 3D con la patologia forense.

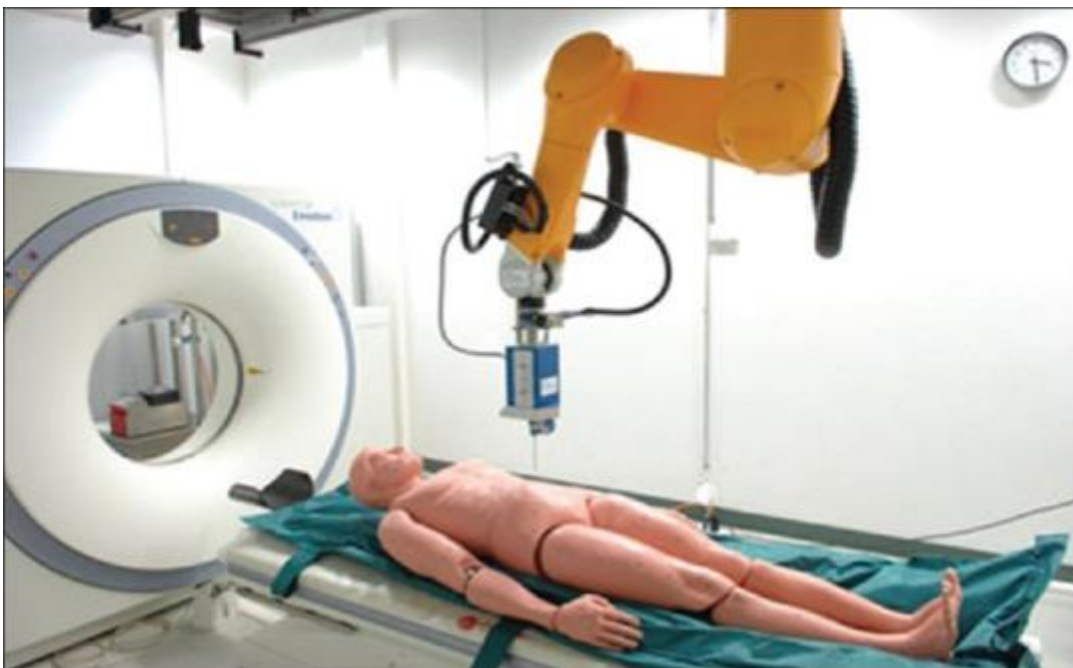
Il primo passo nell'esecuzione di una virtuopsy è la preparazione del cadavere per l'imaging. Il personale posiziona piccoli dischi lungo la superficie del corpo, in modo da allineare facilmente la scansione della superficie e quella dell'interno. Questi dischi segnano dei punti che possono essere utilizzati per ottenere un'unica immagine coesa.

Dopo che i marcatori sono stati posizionati dal virtibot (Fig. 2), questo crea un modello a colori 3D del cadavere. La scansione utilizza camere stereoscopiche (risoluzione di 0,02 mm) per catturare l'immagine a colori con l'ausilio di un proiettore per creare un reticolo a maglie sul corpo. Il robot si muove sul corpo creando un'immagine 3D e il processo richiede solo 10 secondi.

Il corpo è, quindi, sottoposto ad una TC, una procedura che termina in 20 s e acquisisce fino a 25.000 immagini. In un breve intervallo di 10 minuti, immagini nitide e dettagliate di ossa e tessuti vengono ricostruite digitalmente, utilizzando le sottili scansioni precedentemente ricavate. Diversi tessuti, oggetti estranei (come proiettili) e le sostanze corporee assorbono i raggi X dello scanner in maniera variabile e i diversi livelli di assorbimento sono resi in una visualizzazione 3D di diversi colori e opacità. Le immagini possono essere, inoltre, manipolate e ruotate da varie angolazioni, fornendo un'istantanea flessibilità assente nell'autopsia convenzionale. Le informazioni che si possono ricavare riguardano: l'epoca della morte, l'identificazione dell'individuo, il tipo di lesioni, la determinazione del sesso e dell'età della vittima e può essere utile anche nelle morti dovute alle ustioni. Un esempio di applicazione riguarda il caso di un corpo carbonizzato a seguito di un incendio di un veicolo

a motore, innescato successivamente alla collisione tra il veicolo stesso e un oggetto fisso [12]. I metodi radiologici di MSCT e RMN hanno permesso di documentare le lesioni causate dall'energia termica e le reazioni vitali di rilevanza forense (embolia d'aria e aspirazione di sangue), dimostrando che l'imaging post mortem sia un buono strumento di visualizzazione forense con un grande potenziale per l'esame di corpi completamente carbonizzati [13].

Fig.2: Sistema Virtibot



1.3.3.3 Istopatologia

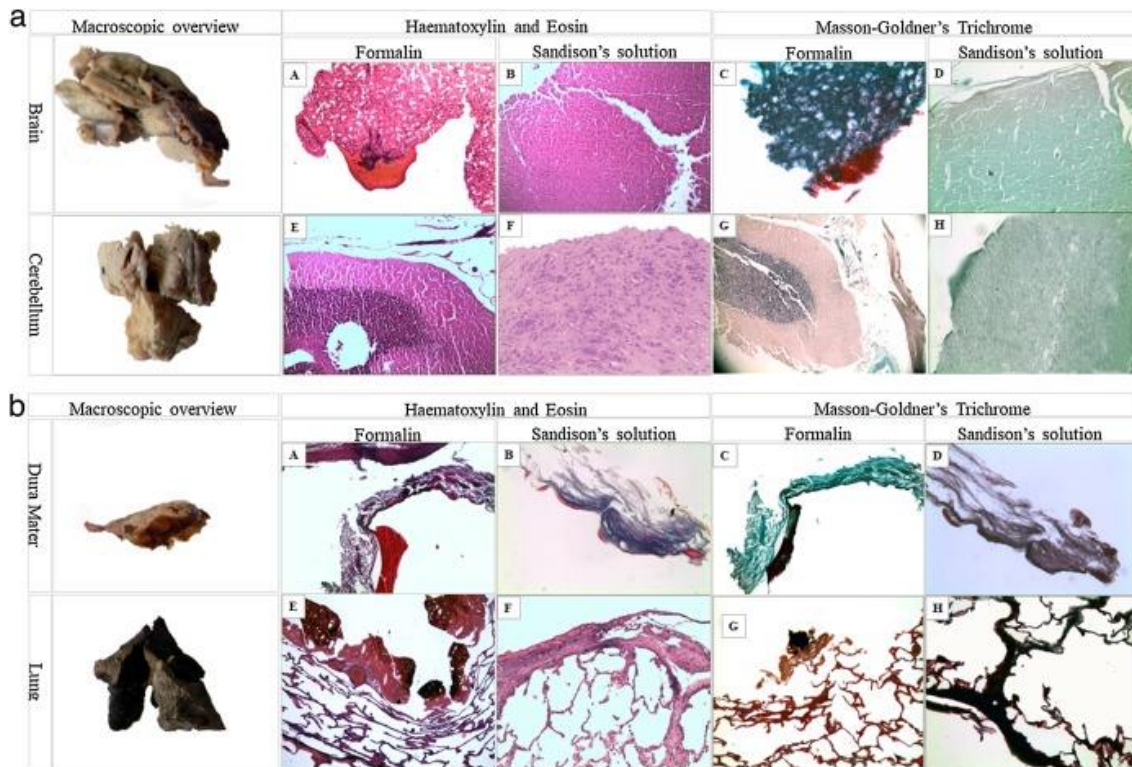
Nella valutazione forense dei cadaveri carbonizzati, l'analisi istologica presenta dei limiti determinati dal tipo di agente lesivo, non consentendo di fornire ulteriori informazioni o determinare il residuo biologico dei restanti componenti organici dei visceri. I limiti dell'esame istologico sono rappresentati dalla fragilità dei tessuti, che si presentano disgregati ed estremamente disidratati, tanto da essere facilmente persi durante l'elaborazione istologica standard. Inoltre, l'esiguo numero di vetrini istologici ottenuto per scarsità di materiale può essere frequentemente caratterizzato da artefatti tecnici.

L'uso di diverse soluzioni reidratanti sta prendendo sempre più campo in varie procedure forensi: per protocolli di identificazione su falangi mummificate, in campo entomologico per le procedure che coinvolgono larve di ditteri, su cadaveri sottoposti a fenomeni colorabili/enfisematosi al fine di valutare il solco cutaneo causato da asfissia meccanica da sospensione e su campioni cutanei sottoposti a particolari fenomeni putrefattivi (corificazione e mummificazione) al fine di migliorare l'esame istologico. Ciò vale anche per i cadaveri carbonizzati: con l'applicazione della soluzione reidratante Sandison, su campioni cutanei e viscerali. I vetrini istologici osservati dopo colorazione con ematossilina eosina e la colorazione tricromatica di Masson-Goldner, hanno mostrato aspetti morfo-strutturali superiori rispetto a quelli ottenuti dalla fissazione di routine con la formalina.

La soluzione reidratante di Sandison, poiché contiene un emulsionante (sodio carbonato Na_2CO_3), penetra in profondità e in modo omogeneo nei tessuti cadaverici, mediante un solvente - etanolo al 96 % - stabilizza i tessuti e previene il loro collasso e, infine, per mezzo di un fissativo – la formalina - inattiva i batteri.

Per questi motivi, questa tecnica determina un buon miglioramento sia della morfologia tissutale e della sua colorazione, con il ripristino delle strutture e la parziale eliminazione degli artefatti da lesività termica (Fig.3).

Fig.3: Confronto tra i campioni ottenuti tramite fissazione in formalina e la soluzione di Sandison



Nel complesso, rispetto ai campioni ottenuti di routine con fissazione in formalina, il suo uso su campioni di pelle ha prodotto un chiaro miglioramento della morfologia tissutale, sui visceri parenchimatosi ha parzialmente eliminato le alterazioni causate da gravi carbonizzazioni con un discreto miglioramento e sugli organi cavi ha permesso una moderata rigenerazione delle strutture istologiche. Nel dettaglio, la soluzione reidratante di Sandison si è rivelata particolarmente efficace su cute, encefalo e campioni di aorta; ha permesso di ottenere un ripristino isto-morfologico parziale di campioni della dura madre, dell'esofago, del polmone, del cuore, del fegato e dei reni. Non ha permesso di ottenere miglioramenti significativi della milza e su campioni dell'intestino tenue, in cui persistevano segni di coagulazioni di proteine per il calore, coartazioni e focolai di picnosi nucleare [14].

1.3.3.4. Indagini molecolari

La tipizzazione del DNA consente l'identificazione di qualsiasi campione biologico, purché sia possibile recuperare una quantità sufficiente di DNA dai campioni. Tuttavia, i laboratori forensi ricevono spesso campioni contenenti solo minime quantità di DNA, che possono anche includere sostanze che inibiscono la reazione a catena della polimerasi (PCR). La demineralizzazione totale è il metodo migliore per la maggior parte dei casi di estrazione del DNA dalle ossa, anche se non fornisce DNA puro. L'estrazione del DNA da aggregati rimuove molto meglio il resto del materiale genetico, i contaminanti, gli inibitori e il DNA esogeno mediante un forte trattamento ossidante ed è anche un buon metodo di scelta quando il DNA deve essere estratto da ossa esumate gravemente degradate. Entrambi i metodi forniscono DNA di alta qualità, buono per la tipizzazione dei loci STR. Uno dei vantaggi dell'isolamento del DNA dagli aggregati potrebbe essere l'eliminazione molto efficiente dei contaminanti del DNA, che rappresentano un problema serio soprattutto quando le ossa gravemente degradate vengono sottoposte all'estrazione del DNA [15].

Tra le situazioni più complesse è presente il caso del cadavere carbonizzato: l'effetto della temperatura sulla qualità del DNA costituisce un problema significativo nella genetica forense. La qualità del DNA dentale dipende fortemente dalla temperatura e dalla durata dell'esposizione al calore. Tutti i loci STR possono essere rilevati in denti esposti a 100 °C per 60 minuti, ma l'identificazione genetica è quasi impossibile in denti esposti a 200 °C e oltre (i dati della Letteratura indicano che la temperatura media dei forni di cremazione commerciali varia da 500 a 1250 °C e che non è possibile isolare alcun prodotto PCR dopo l'esposizione a 600 °C e oltre).

L'esposizione alle temperature sopra riportate incenerisce completamente i tessuti superficiali e distrugge parzialmente le ossa, costringendo il Medico Legale a cercare

un'alternativa ad ossa e denti ed avere del materiale forense che dovrebbe fornire rapidamente e a basso costo DNA in quantità e qualità sufficienti. A seconda della superficie corporea carbonizzata, in alcuni casi è possibile isolare DNA di buona qualità dalla cartilagine costale e da dischi derivati da frammenti di colonna vertebrale e identificare con successo le vittime. Tuttavia, questo processo è applicabile solo quando queste strutture sono ancora in un buon stato di conservazione poiché molto spesso dai cadaveri carbonizzati non è possibile effettuare alcun prelievo.

Inoltre, bisogna tenere presente che vi è una correlazione negativa tra l'indice di degradazione del DNA e l'età dei cadaveri: da ciò si deduce che la qualità del DNA diminuisce con l'età, il che influisce negativamente sulla possibilità di tracciare un profilo del materiale genetico nelle vittime anziane. Tuttavia, la fibrocartilagine del disco intervertebrale non è più adatta dei tessuti duri, ma nel caso di resti carbonizzati può essere considerata un materiale di partenza alternativo per un isolamento del DNA più rapido ed economico per l'identificazione personale [16].

2. FINALITA'

L'obiettivo di questo studio è effettuare un'analisi della casistica dei decessi secondari a lesioni da calore, a intossicazione da CO e a lesioni da energia elettrica dal 2018 al 2022 nel settore Genovese. L'indagine retrospettiva è stata eseguita analizzando la casistica necroscopica dell'Istituto di Medicina Legale dell'Università di Genova nel quinquennio suddetto. Tale casistica comprende Riscontri Diagnostici (RD) e Autopsie Giudiziarie (AG), effettuati presso la sala settoria dell'Istituto di Medicina Legale di Genova.

Relativamente alle differenze tra le due tipologie settorie, il riscontro diagnostico ha le seguenti finalità:

- Verifica anatomica della diagnosi clinica
- chiarimento dei quesiti clinico scientifici
- riscontro di malattie infettive e diffuse o sospette tali, ai fini dell'igiene pubblica.
- accertamento delle cause di morte di deceduti senza assistenza medica, trasportati in ospedale o in obitorio.
- accertamento delle cause di morte di persone decedute a domicilio quando sussiste dubbio sulla causa stessa.

Il riscontro diagnostico è obbligatorio in soggetti deceduti senza assistenza medica, trasportati ad un ospedale o ad un obitorio [17]. Negli altri casi è disposto d' autorità da medici curanti.

L'autopsia giudiziaria è disposta dalla Procura della Repubblica su cadaveri vittime di reato o di sospetto reato come accertamento tecnico non ripetibile [18]. A differenza del Riscontro Diagnostico, oltre a verificare la diagnosi di morte, ha le finalità giudiziarie di stabilire l'epoca e i mezzi della morte e di rispondere ad altri quesiti richiesti dal magistrato (colpa medica, nesso di causalità, ecc.)

3. MATERIALI E METODI

3.1 Raccolta della casistica

La casistica è stata raccolta analizzando i dati relativi ai Riscontri Diagnostici e quelli forniti dalle Autopsie Giudiziarie nel Genovese dal 2018 al 2022, selezionando 18 casi. Abbiamo suddiviso tutti i decessi legati ad ustione in gruppi secondo un metodo visivo basato sulla localizzazione, l'area, la profondità e la distribuzione delle di queste, ovvero **ustioni di II°, II°-III° o II°-III°-IV° grado** (e ne abbiamo calcolato l'estensione secondo la regola del "9") e **cadaveri completamente carbonizzati**. Abbiamo preso anche in considerazione e distinto i casi **di decesso secondari a lesioni da energia elettrica** e quelli in cui la morte è avvenuta per **intossicazione da CO senza ustioni**. Su 18 casi, 5 sono di sesso femminile, 13 di sesso maschile. L'età media era di 59 anni.

A seconda delle esigenze del caso si è proceduto ad effettuare il sopralluogo, l'ispezione esterna, l'esame autoptico, gli esami istologici, tossicologici e genetici.

1.Sopralluogo: *In primis* si è cercato di chiarire l'identità della vittima, di evidenziare la presenza di lesioni vitali esterne e di individuare elementi che possano orientare circa la causa della morte, utili a porre il sospetto di reato. È stata analizzata la posizione, l'ubicazione e l'orientamento del corpo e, in seguito, sono state esaminate e documentate le condizioni del cadavere in situ, in modo da poter fare una prima valutazione circa l'estensione e la direzione dei danni causati dall'incendio (se avvenuto).

2.Esame autoptico: tutti i riscontri diagnostici sono stati eseguiti presso l'istituto di Medicina Legale di Genova. Gli accertamenti autoptici sono stati eseguiti presso la sala settoria dell'obitorio comunale di Genova. L'esame esterno dei corpi si è basato sull'osservazione della localizzazione, dell'area, della profondità e della distribuzione delle

ustioni (se presenti), Sono stati descritti lo stato della formazione pilifera (capelli, sopracciglia e barba), il colore della pelle, residui di fuliggine e carbonizzazione “con atteggiamento a lottatore”.

È stata effettuata un'analisi delle ipostasi (se presenti e valutabili) [19].

Per quanto riguarda la sezione cadaverica, si è proceduto ad analizzare, a seconda del caso:

-Testa: tecniche di sezione del cuoio capelluto, di apertura della calotta cranica e di estrazione dell'encefalo; esame e descrizione dei tessuti pericranici, del cranio (calotta e base), della dura e dei seni durali, delle leptomeningi, dell'encefalo e dei vasi, dell' ipofisi e, a seconda delle indicazioni, delle cavità sinusali, orbitarie e dell'orecchio medio e interno;

-Collo: esame e descrizione di lingua, faringe, laringe, tiroide, principali vasi del collo, muscoli e tessuti prevertebrali, rachide cervicale;

-Torace-Addome: ispezione delle cavità toracica (e del cavo pericardico) e addominale (aspetto delle superfici e contenuto; topografia e rapporti degli organi) e delle pareti toraciche e addominali, compresi le strutture muscolari (diaframma) e lo scheletro toracico, il rachide lombare ed il bacino;

-Tecnica di eviscerazione (in massa, organo per organo, a blocchi);

-Esame sistematico (esterno ed interno) e descrizione di tutti i visceri, delle strutture canalari e dei vasi principali: cuore, aorta (e suoi rami principali) e vene cave; polmoni, trachea, bronchi, arterie e vene polmonari; esofago, stomaco, duodeno, intestino tenue e crasso; fegato, colecisti e vie biliari; pancreas; milza; surreni; reni, pelvi e ureteri; vescica, prostata, testicoli (utero, ovaie e tube); linfonodi. Rilevazione del peso dei seguenti organi: encefalo, cuore, polmoni, fegato, milza e reni, surreni e tiroide [20].

3. Esami istologici o immunoistochimici: gli esami istologici standard prevedono il prelievo di frammenti di organi e tessuti dal tavolo settorio che vengono conservati in

formalina. Prima di procedere all'inclusione è necessario allontanare la componente acquosa utilizzando dell'alcol, che è insolubile in paraffina: una volta allontanata l'acqua, si procede alla rimozione dell'alcol attraverso sostanze quali benzene o xilene. Una volta inclusi in paraffina e le sezioni, ottenute mediante microtomo a slitta, poi sono colorate in prima battuta con ematossilina-eosina ed eventualmente in seguito, a seconda delle esigenze, si possono utilizzare altre colorazioni. Il numero e l'estensione dei campioni per l'esame istologico sono lasciati alla valutazione del patologo forense in base alla necessità di supportare o di approfondire la diagnosi macroscopica ovvero sulla guida degli standard specifici e in rapporto alle esigenze peculiari del caso. Se questo non prevede un protocollo particolare di indagine istologica è da ritenersi opportuno in tutti i casi il prelievo di un campione dei principali organi (Encefalo, Cuore, Polmoni, Fegato, Milza, Reni) e dei tessuti sede di lesioni traumatiche anche al fine di valutare l'epoca di produzione delle stesse [20]. Con questa metodologia è stato possibile mettere in evidenza in alcuni casi, nella cute interessata da lesioni da calore, la necrosi coagulativa termale, la completa omogenizzazione dermica e ipodermica l'aspetto omogeneo delle fibre collagene ed elastiche di aspetto con distruzione della cromatina nucleare.

All'interno dei vasi del derma e dell'ipoderma è stata riscontrata la formazione di microtrombi.

4. Esami tossicologici: La concentrazione di carbossiemoglobina (COHb) è stata calcolata nel sangue centrale congelato con un metodo spettrofotometrico oppure attraverso indagine emogasanalitica su campione fresco. Lo screening per l'abuso di sostanze e di alcol è stato effettuato nei liquidi biologici disponibili (sangue centrale e periferico, urina e/o contenuto dello stomaco) o tessuti (capelli, peli pubici, cervello, fegato e reni) [19].

Gli esami tossicologici richiesti nelle Autopsie Giudiziarie sono stati eseguiti presso il

Laboratorio di Tossicologia Forense dell'Università di Pavia e presso il Laboratorio di Tossicologia dell'Ospedale "La Colletta" di Arenzano, mentre per quanto riguarda i Riscontri diagnostici i test tossicologici sono stati effettuati presso il laboratorio di Tossicologia dell'ospedale "la Colletta" di Arenzano.

5. **Estrazione del DNA:** Se disponibili, saliva e frammenti di tessuto muscolare o di denti sono stati raccolti durante l'esame autoptico e utilizzati per l'analisi del DNA [19].

La seguente tabella (Tab. 4) mostra se, nei casi osservati, è stata eseguita un'Autopsia Giudiziaria o un Riscontro Diagnostico e se sono state necessarie altre analisi (istologiche, tossicologiche e genetiche).

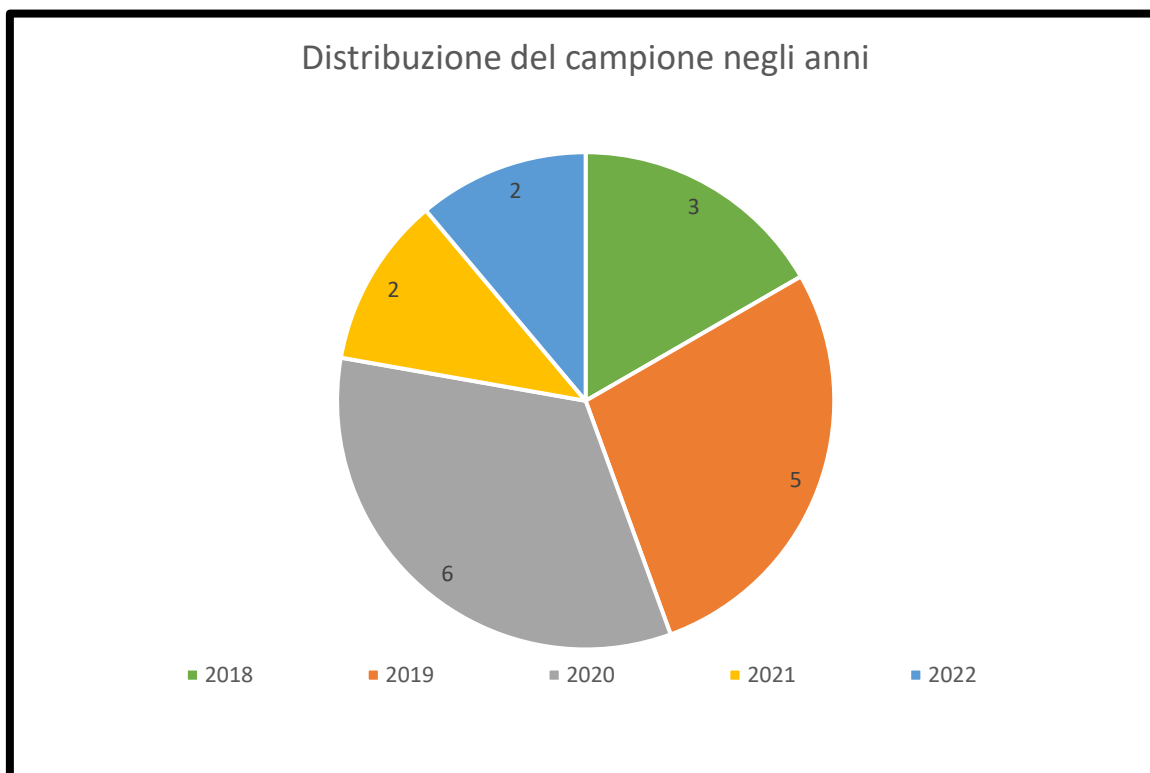
Tab.4: Analisi effettuati in base alle esigenze del singolo caso

Casi	AG/RD	Tipo di lesione	Sopralluogo	Esame istologico	Esame tossicologico	Esame genetico	Sezione cadaverica
Caso 1	RD	II°-III°	Eseguito	Eseguito	Eseguito	Non eseguito	Eseguita
Caso 2	RD	Intossicazione da CO	Eseguito	Eseguito	Eseguito	Non eseguito	Eseguita
Caso 3	RD	Carbonizzazione	Eseguito	Non Eseguito	Non eseguito	Eseguito	Non Eseguita
Caso 4	RD	Intossicazione da CO	Eseguito	Eseguito	Eseguito	Non Eseguito	Eseguita
Caso 5	RD	Carbonizzazione	Eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non Eseguita
Caso 6	AG	Intossicazione da CO	Eseguito	Eseguito	Eseguito	Non Eseguito	Eseguita
Caso 7	AG	Intossicazione da CO	Eseguito	Eseguito	Eseguito	Non Eseguito	Eseguita
Caso 8	AG	Carbonizzazione	Eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non Eseguito	Eseguita
Caso 9	RD	Carbonizzazione	Eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non Eseguita
Caso 10	RD	Carbonizzazione	Eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non Eseguito	Non Eseguita
Caso 11	RD	II°	Eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non Eseguita
Caso 12	AG	Elettrocuzione	Eseguito	Eseguito	Eseguito	Non Eseguito	Eseguita
Caso 13	RD	II°-III°	Eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Non Eseguita
Caso 14	AG	II°-III°	Non eseguito	Eseguito	Non eseguito	Non eseguito	Eseguita
Caso 15	AG	Elettrocuzione	Eseguito	Eseguito	Non Eseguito	Non Eseguito	Eseguita
Caso 16	RD	II°-III°	Eseguito	Non eseguito	Eseguito	Non Eseguito	Non Eseguita
Caso 17	RD	II°-III°- IV°	Eseguito	Non Eseguito	Eseguito	Non Eseguito	Non Eseguita
Caso 18	AG	II°-III°	Non eseguito	Eseguito	Non Eseguito	Non Eseguito	Eseguita

4. Risultati

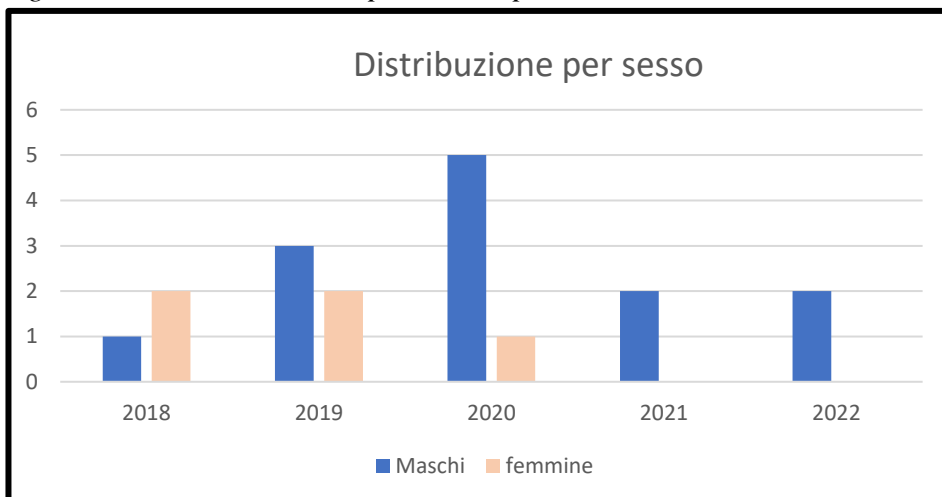
I casi selezionati corrispondono a vittime decedute nel periodo che va da 2018 al 2022.

Fig.4: Distribuzione del campione negli anni (2018-2022)



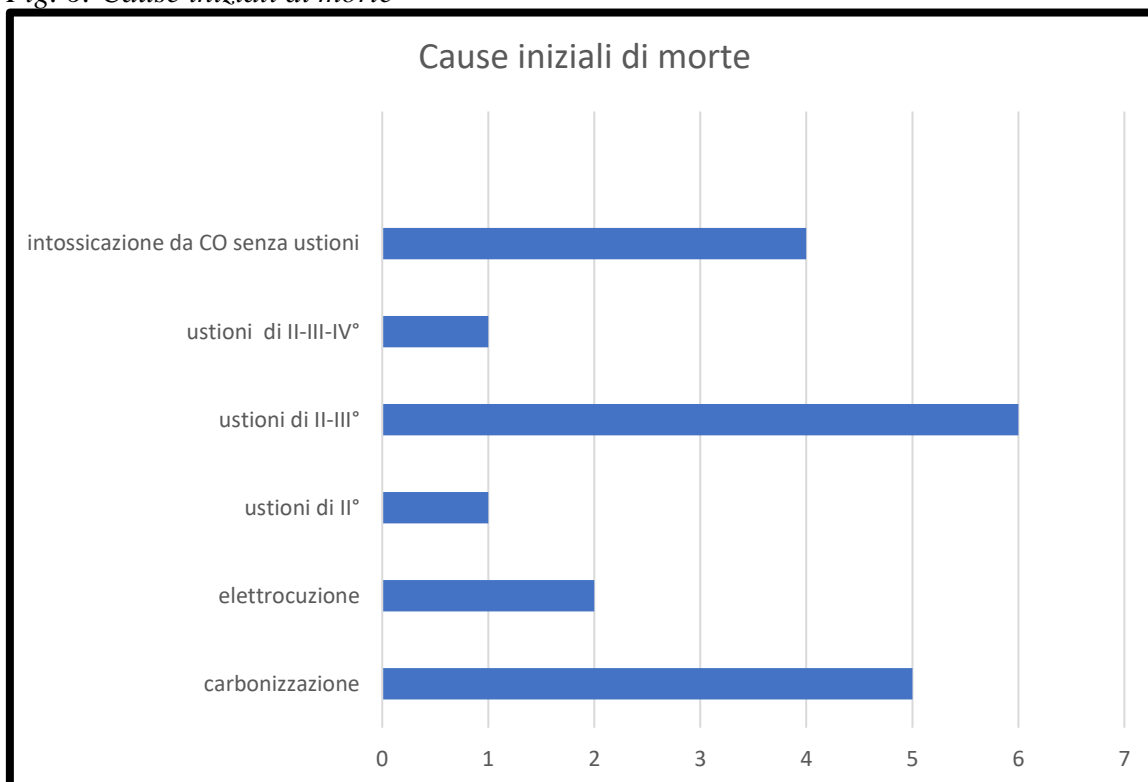
Dal grafico (Fig.4) emerge come la maggior parte dei casi presi in considerazione corrisponde a decessi avvenuti nell'anno 2019 (nr. casi 5=27%) e nell'anno 2020 (nr. casi 6=33%), con una media di 3,6 decessi all'anno.

Fig.5: Distribuzione decessi per anno e per sesso



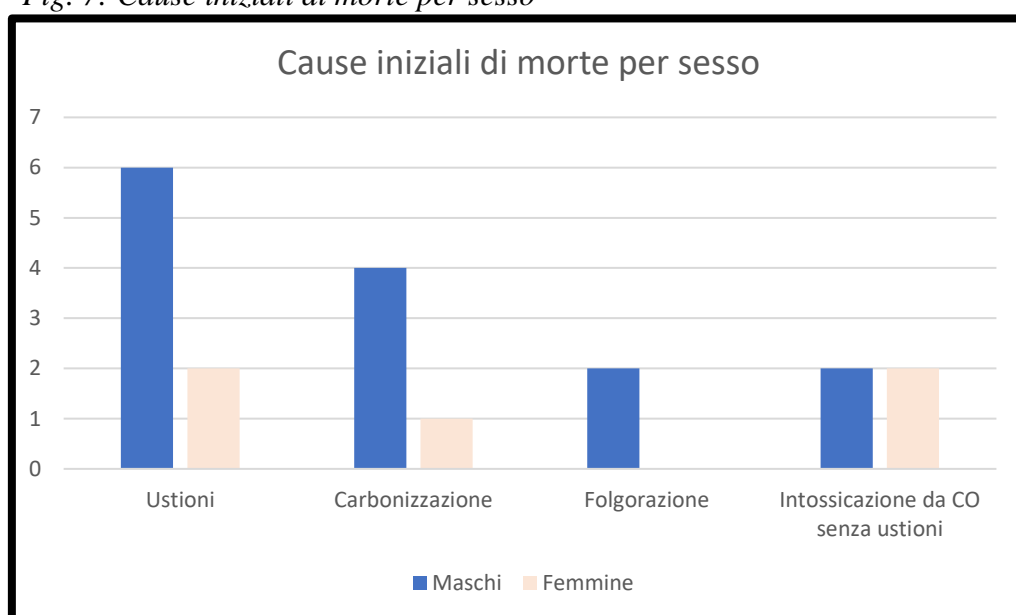
In questo grafico (Fig.5) invece abbiamo riportato la distribuzione del nostro campione per sesso e per anno dal quale risulta che nessuna vittima di sesso femminile tra i casi selezionati sia morta nell'anno 2020 e nel 2021. Nell'anno 2019 i decessi di sesso femminile corrispondono a 2/3 di quelli maschili e 2020 sono 1/5 di quelli maschili. Solo nel 2018 i decessi femminili sono il doppio di quelli maschili.

Fig. 6: Cause iniziali di morte



Dal grafico (Fig.6) emerge come, dei 18 casi selezionati, le cause iniziali di morte siano più frequentemente attribuite alla carbonizzazione (nr.5 = 28%) e alle ustioni di II°-III° grado (nr.6=33%), seguite dall'intossicazione da CO senza ustioni (nr.4=21%), mentre l'elettrocuzione (nr.2=11%), le ustioni di II° grado (nr.1=6%) e le ustioni di II°-III°-IV° grado (nr.1=6%) sono meno frequenti.

Fig. 7: Cause iniziali di morte per sesso



Abbiamo analizzato le cause di morte iniziale per sesso e, dal grafico (Fig.7), abbiamo riscontrato che nessuna vittima di folgorazione è di sesso femminile, solo 1/5 dei cadaveri carbonizzati è di sesso femminile, mentre i decessi legati alle ustioni sono per un 1/3 di sesso femminile, per 2/3 di sesso maschile.

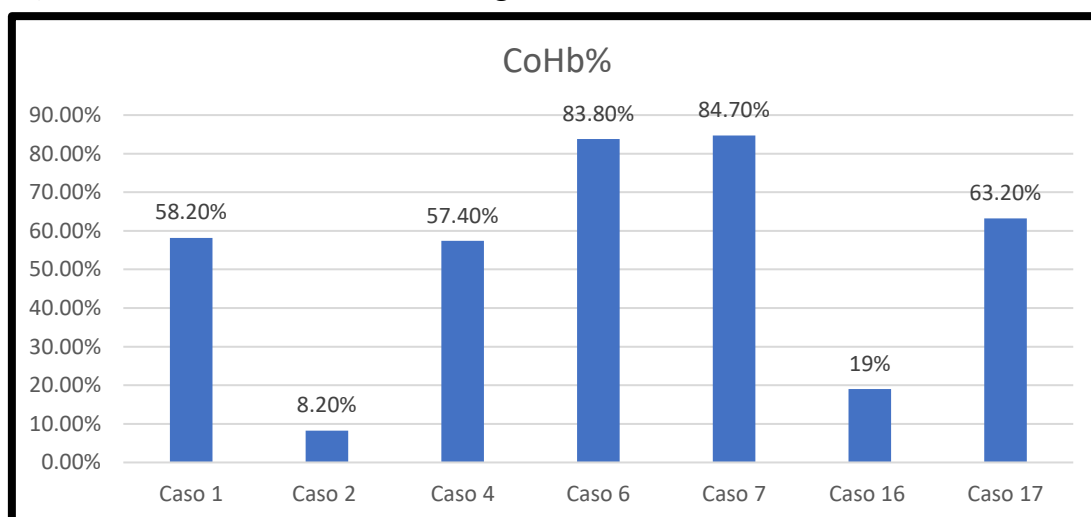
Abbiamo registrato 4 casi di intossicazione da CO senza ustioni e due sono di sesso femminile, due di sesso maschile.

L'avvelenamento da monossido di carbonio si diagnostica con la misurazione della CoHB% poiché la carbossiemoglobina è la molecola responsabile della sintomatologia la cui gravità è correlata alla concentrazione (Tab.5):

Tab.5: Sintomatologia nelle diverse concentrazioni di HbCO%

HbCO%	Sintomi
0-10	Da nessun sintomo oggettivabile a modesto malessere
10-20	Cefalea, possibile nausea
20-30	Cefalea acuta, nausea, vertigini
30-50	Diplopia, confusione mentale, nausea, vomito, possibile collasso, aumentata frequenza respiratoria, tachicardia
50 -70	Coma, depressione cardiaca e respiratoria, insufficienza respiratoria, morte

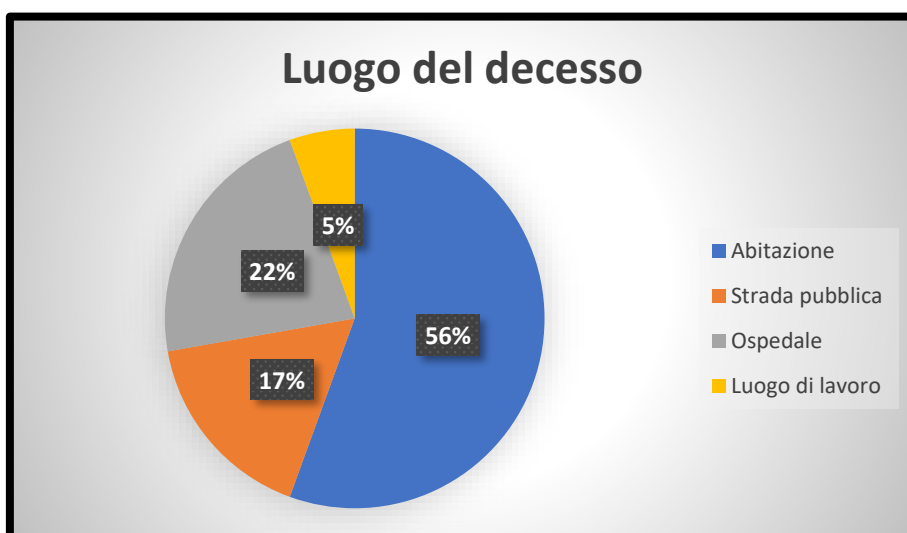
Fig. 8: Concentrazioni di carbossiemoglobina rilevate



La morte generalmente si manifesta quando almeno il 50-60% dell'emoglobina è sotto forma di carbossiemoglobina. Tuttavia, sotto il profilo diagnostico, le morti da monossido di carbonio possono dar luogo ad errate interpretazioni per l'esistenza di patologie

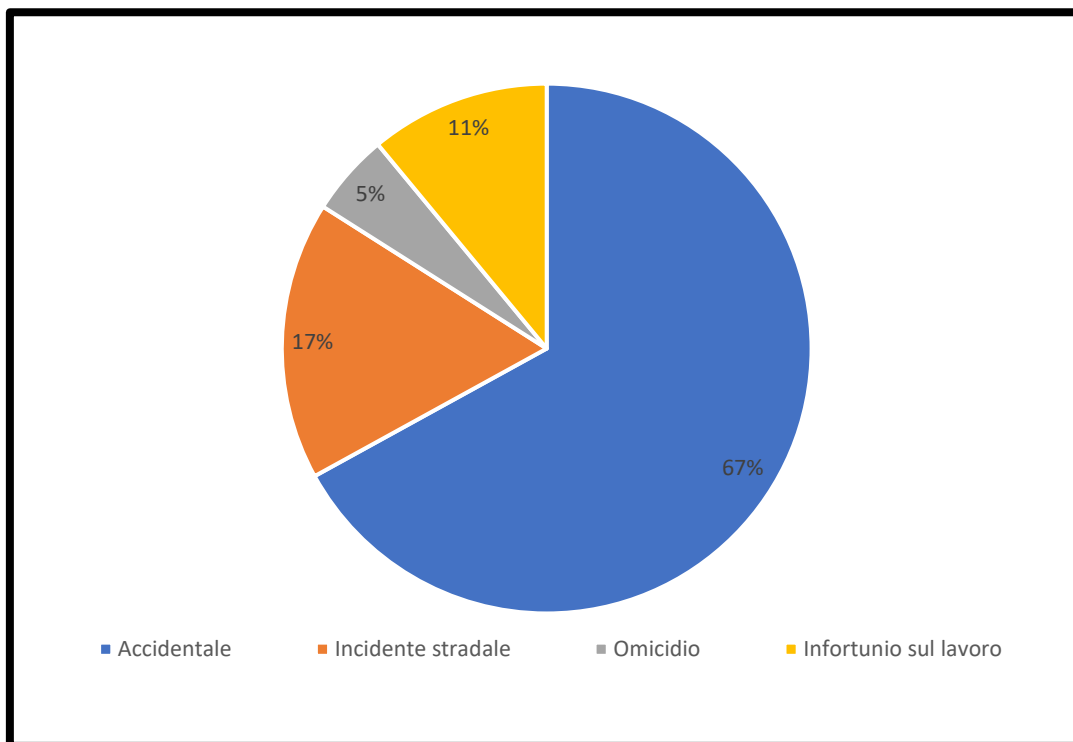
sovrapponibili [1]. Il valore medio di carbossiemoglobina registrato nella nostra casistica (Fig.8) è 53.5%, in linea con i valori minimi in cui si può manifestare la morte. Il minimo valore registrato è 8,2% (valore che si può riscontrare anche in soggetti fumatori, o esposti ad ambienti fortemente inquinanti), di molto inferiore rispetto al valore minimo di decesso. Comunque, nel 70% dei casi del nostro campione, deceduti per intossicazione da CO, abbiamo rilevato valori superiori o in linea con il valore minimo in cui può avvenire il decesso.

Fig. 9: Luogo del decesso



Il 56% dei decessi è avvenuto nell'abitazione della vittima, ciò vale sia per i casi di intossicazione da CO, che per alcuni casi di ustioni. Il 22% dei decessi è avvenuto in ospedale, e ciò vuol dire che le lesioni della vittima, seppur gravi hanno permesso ai soccorsi il trasporto in un nosocomio dove infine sono deceduti. Il 17% dei decessi è morto in una strada pubblica e questi casi sono incidenti stradali a cui è seguito un incendio che ha portato alla carbonizzazione della vittima. Solo un 5% dei decessi è avvenuto sul luogo di lavoro (Fig.9).

Fig.10: Diagnosi dei mezzi

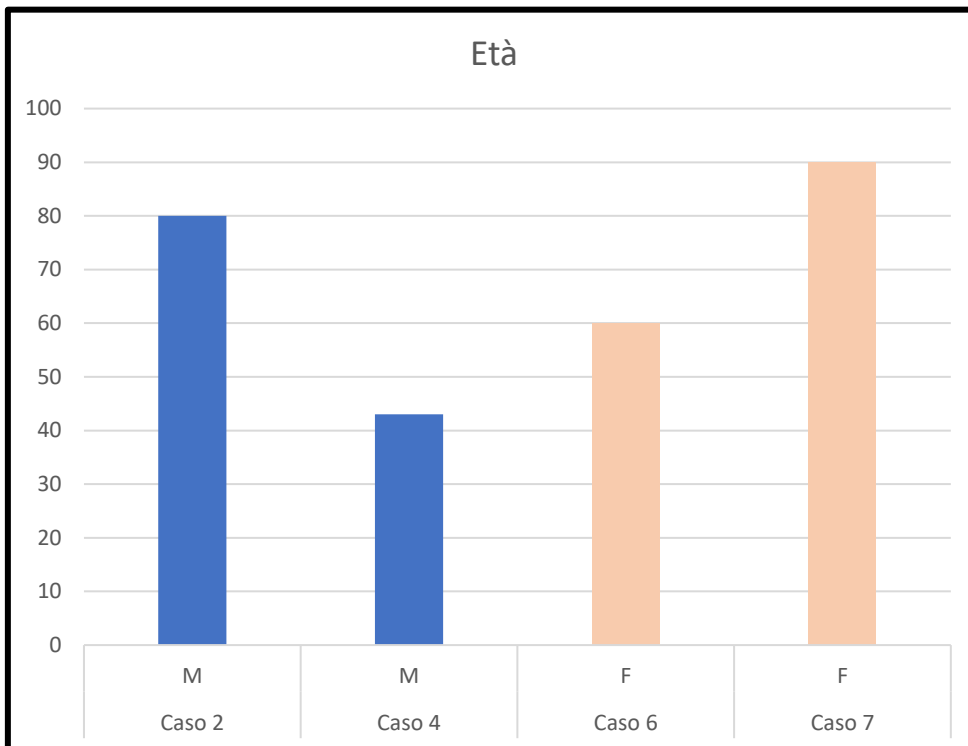


La maggior parte delle morti è di natura accidentale. Il 17% dei decessi è avvenuto a seguito di un incidente stradale e sono tutti casi di carbonizzazione. L'11% dei decessi corrisponde ad infortunio sul lavoro, tutti derivanti da folgorazione, e abbiamo solo il 5% dei casi di natura omicidiaria (Fig.10).

Decessi da intossicazione di CO (senza ustioni)

Nella nostra casistica abbiamo individuato quattro decessi determinati da intossicazione da monossido di carbonio, ma senza riportare ustioni. Due vittime sono di sesso maschile e due di sesso femminile. L'età media è 70,5 anni. Il seguente grafico (Fig.11) mostra l'età e il sesso di ciascun caso preso in considerazione.

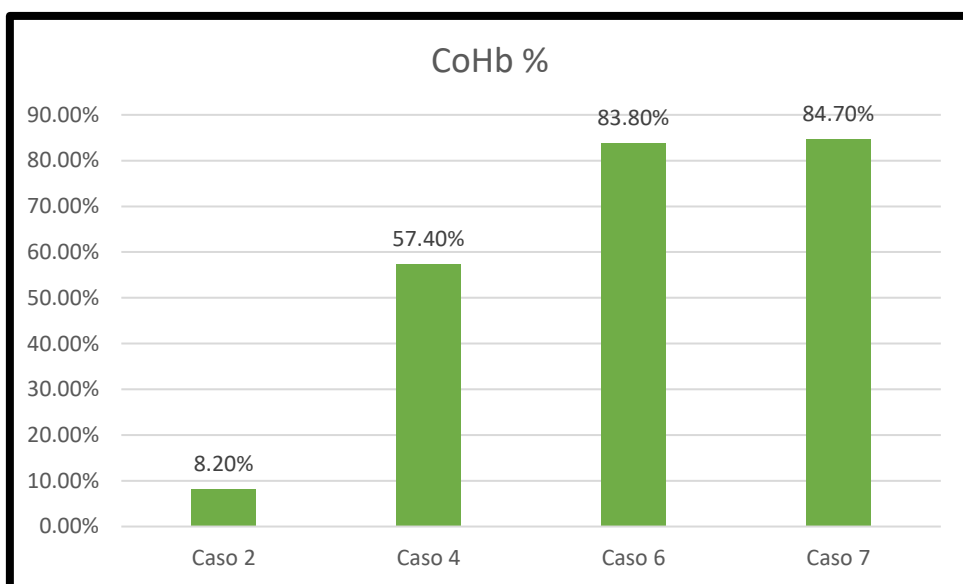
Fig. 11: Età per ciascuno caso di intossicazione da CO senza ustioni



Tutti i decessi da intossicazione da monossido di carbonio (in vittime che non riportavano ustioni) sono avvenuti in abitazione. Nei casi in cui l'intossicazione derivava da fumi di combustione, il cadavere non solo era ricoperto di fuliggine, ma questa era presente a livello dell'albero tracheobronchiale.

Nel seguente grafico (Fig.12) viene illustrata la concentrazione di monossido di carbonio rilevata grazie alle indagini laboratoristiche.

Fig.12: Percentuale di CoHb% rilevata nei casi da intossicazione da CO (senza ustioni)

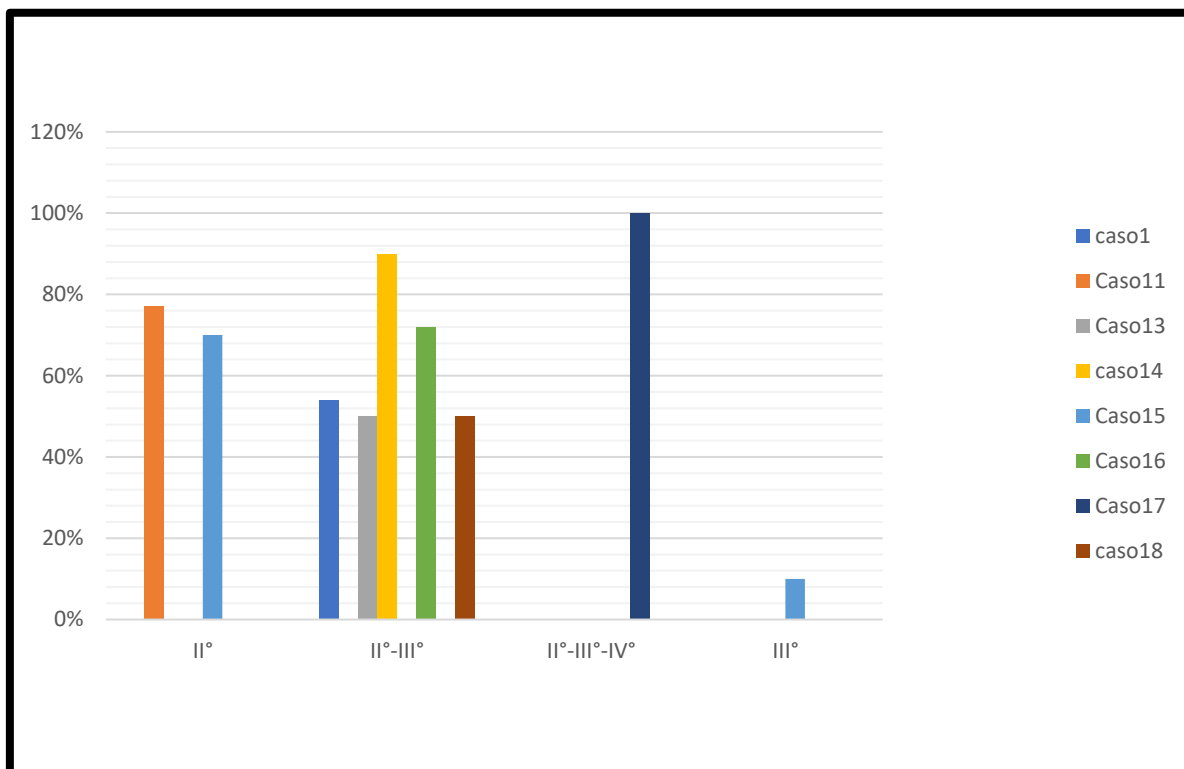


La minor concentrazione è stata rilevata nel caso nr. 2, mentre i valori più elevati si riscontrano nel caso 6 e 7. Nel caso 4 la concentrazione di carbossiemoglobina è 57,4%. Solo in un caso la concentrazione di carbossiemoglobina è inferiore al minimo valore a livello del quale si manifesta il decesso.

Decessi legati alle ustioni

Otto dei casi selezionati sono legati alle ustioni. L'estensione di questo tipo di lesione si stimano secondo "la regola del nove", già trattata nell'introduzione.

Fig.13: Grado di ustioni in relazione alla superficie corporea interessata



Nel grafico (Fig. 13) sulle ascisse sono riportati i diversi gradi d'ustione, sulle ordinate abbiamo riportato delle percentuali che rappresentano la superficie corporea interessata dalle ustioni. Si può notare che la maggior parte dei casi presentano ustioni di II°-III° grado. L'unico caso in cui erano presenti solo ustioni di II° grado era il caso 11, ma presentava il 77% della superficie corporea coperta da ustioni.

Nei casi esaminati l'estensione minima (50% della superficie corporea) si riscontra nei casi 13 e 18. La massima estensione della superficie corporea è quella del caso 17, in cui tutto il corpo è coperto da ustioni di II°-III°-IV° grado.

Nella tabella sottostante (Tab.6) vediamo come la maggior parte dei luoghi in cui la vittima viene a contatto con le fiamme o con un mezzo ustionante, sia la propria abitazione.

Il decesso conseguente alle ustioni può avvenire giorni dopo l'evento: nella nostra casistica ciò è avvenuto in 5 casi su 8. I pazienti sono stati ricoverati nel centro Grandi Ustionati di Villa Scassi e a seguito delle ustioni si sono registrati casi di sepsi, un caso di shock ipovolemico e casi di compromissione multiorgano, fino all'insufficienza cardio-respiratoria.

Il decesso è stato immediato in 3 casi su 8, mentre, nei casi in cui il paziente è stato trasportato in un nosocomio in seguito alle ustioni, il tempo tra l'evento lesivo e il decesso è in media 8,3 giorni. In 2 due casi su 8 non è stato possibile ricostruire il tempo tra l'insulto termico o chimico ed il decesso.

Tab.6: Caratteristiche dei casi di decessi legati ad ustioni

Casi	Luogo dell'evento	Luogo della morte	Accelerante	Causa della morte	Tempo tra evento e decesso
Caso 1	Abitazione	Abitazione	Non noto	Intossicazione acuta da CO secondaria a inalazione di fumi di combustione	Decesso immediato
Caso 11	Abitazione	Abitazione	Non noto	Arresto cardiorespiratorio dovuto a lesioni da ustioni	Decesso immediato
Caso 13	Abitazione	Ospedale	Liquido infiammabile	Ustioni di secondo e terzo grado. Insufficienza della ventilazione meccanica, sepsi e shock settico: MOF, MIA, IR.	Non noto
Caso 14	Abitazione	Ospedale	Alcol	arresto cardio-respiratorio secondario a shock ipovolemico da ustioni cutanee di II e III grado interessanti oltre il 90% della superficie corporea	8 giorni
Caso 15	Posto di lavoro	Ospedale	Non noto	insufficienza cardiocircolatoria terminale in soggetto con gravi ustioni provocate da folgorazione	10 giorni
Caso 16	Abitazione	Ospedale	Alcol	Ustioni di secondo e terzo grado, insufficienza respiratoria, insufficienza renale, sd. multiorgano	Non noto
Caso 17	Abitazione	Abitazione	Non noto	Gravi lesioni calore con carbonizzazione diffusa in soggetto assunto acuto di Alcol e BDZ	Decesso immediato
Caso 18	Abitazione	Ospedale	Gas combustibile per uso domestico.	scompenso cardiocircolatorio in soggetto con sepsi e plurimi addensamenti polmonari in esiti di ustioni di II-III grado	7 giorni

Gli esami istologici sono stati effettuati solo nel caso 15 e 14. Essendo le ustioni del caso 15 provocate da folgorazione, sono stati effettuati dei prelievi autoptici non solo alla cute, ma anche al cuore alle coronarie, alla milza, ai reni e surreni, all'encefalo ed ai polmoni: tutte questi organi erano danneggiati dal passaggio della corrente elettrica, ma ai fini del nostro studio ci concentriamo sull'analisi istologica della cute (Tab. 7).

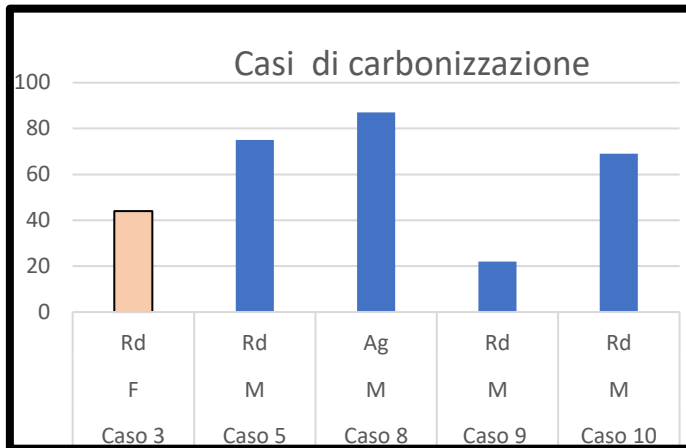
Tab. 7: Risultato delle analisi istologiche sulla cute ustionata

Casi	Cute
Caso 13	<p>Al torace si osserva una diffusa 'omogenizzazione' scleroalinosica a tutto spessore del derma con compattamento e allungamento delle cellule fibroblastiche con scomparsa del dettaglio nucleare e citoplasmatico: reperti, compatibili con danno termico.</p> <p>Agli arti inferiori si osserva interruzione dell'epidermide in corrispondenza di aree di ulcerazione sostenute da cospicua presenza granulocitaria neutrofila superficiale.</p>
Caso 14	<p>La cute interessata dalla lesione è caratterizzata da massiva e totale disepitelizzazione dell'epidermide, da necrosi coagulativa termale di entrambi gli strati del derma, a tutto spessore, con omogenizzazione dermica sino alla giunzione dermoipodermica con interessamento anche dell'ipoderma stesso, con omogeneizzazione dei lobuli adiposi e dei setti interlobulari.</p> <p>Fibre collagene ed elastiche di aspetto omogeneo con distruzione della cromatina nucleare</p> <p>All'interno dei vasi del derma e dell'ipoderma si osservano proteine, detriti, grumi cellulari e formazione di microtrombi.</p> <p>Nello spessore del derma si osserva inoltre materiale estraneo polverulento in granuli carboniosi.</p>

Decessi con completa carbonizzazione del cadavere

I casi selezionati di carbonizzazione completa sono 5/18. L'età media è 59,4 anni.

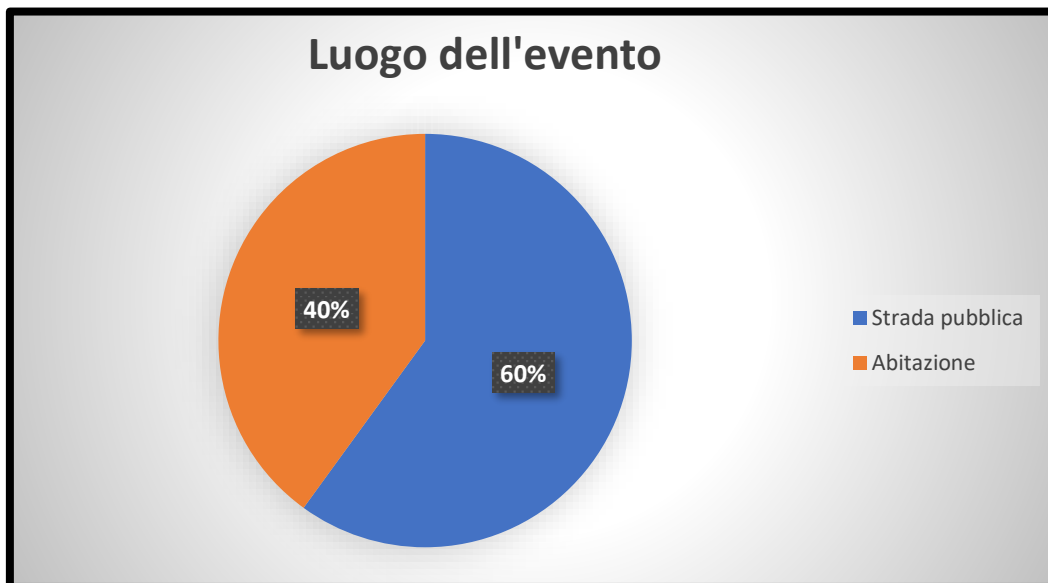
Fig.14



Le vittime da carbonizzazione (Fig. 14) sono per 4/5 di sesso maschile. Abbiamo solo un caso di una vittima di sesso femminile.

Il seguente grafico (Fig.15) invece illustra come nel 40% dei casi di carbonizzazione siano avvenuti in abitazione e il 60% su una strada pubblica.

Fig.15: Luogo della carbonizzazione e del ritrovamento dei cadaveri.

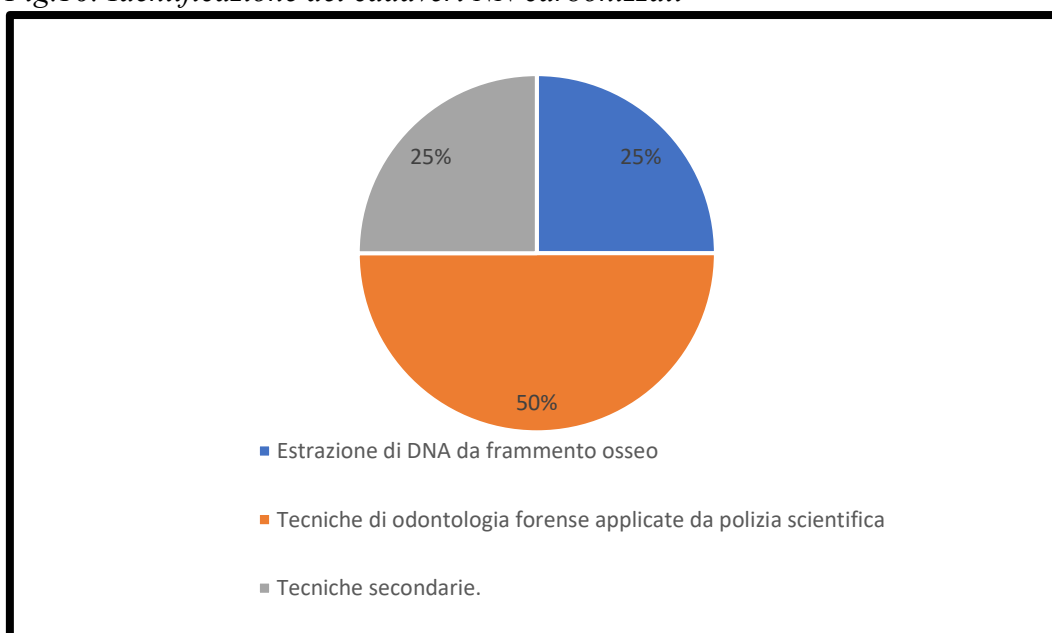


Le vittime ritrovate in una strada pubblica sono decedute tutte in seguito ad un incidente stradale, a cui è seguito un incendio che ne ha determinato la morte e la carbonizzazione.

I soggetti deceduti nella propria abitazione sono anch'essi vittime di un incendio.

Per i cadaveri carbonizzati di cui non era nota l'identità sono state utilizzate alcune tecniche secondarie per il riconoscimento

Fig.16: Identificazione dei cadaveri NN carbonizzati



Nei cadaveri NN carbonizzati a seconda del caso è stato utilizzato un determinato metodo di identificazione (Fig. 16): per il caso 3 si è proceduto all'estrazione del DNA da un frammento osseo, sia nel caso 9 e 10 la polizia scientifica ha utilizzato delle tecniche odontologiche (previa fotografia della dentatura di entrambi i soggetti). Nel caso 9 ai fini dell'identificazione sono state utilizzate tecniche secondarie, ed in particolare gli effetti personali prelevati sulla scena del ritrovamento del cadavere

Decessi legati a folgorazione

Nella nostra casistica abbiamo riscontrato solo due casi di morte in seguito a folgorazione in due soggetti di sesso maschile, entrambi di 57 anni, entrambi sul luogo di lavoro per contatto con un cavo dell'alta tensione. Nel caso 12 la vittima è deceduta poco dopo la folgorazione, mentre nel caso 15 il soggetto è morto dieci giorni dopo in ospedale; quest'ultimo presentava plurime ustioni di II°-III°.

Nel caso nr. 13 sono stati eseguiti esami istologici (descritti in precedenza) e tossicologici.

Le analisi chimico-tossicologiche eseguite sangue cardiaco ed urine, prelevati in corso di autopsia, hanno permesso di rilevare la completa assenza di psicofarmaci, sostanze d'abuso e alcool.

5. Discussione

Secondo il **National Burn Repository** del 1016, le ustioni registrate nel periodo dal 2006 al 2015 sono state 205 003, mentre i morti legati a tali lesioni sono 6664, con una media annua di 666,4 decessi per anno. [21]. Se confrontiamo questi dati con quelli presi in considerazione nel nostro studio, possiamo confrontare l'incidenza di queste morti, in relazione alla popolazione: nel settorato genovese l'incidenza è 0,28 per 100000 abitanti, nella USA è 0,23 per 100000 abitanti.

Secondo uno studio su 82 cadaveri che presentavano ustioni di vario grado fino alla carbonizzazione, selezionati dagli archivi dell'Università La Sapienza di Roma e l'Università di Pisa, 46 erano completamente carbonizzati (56%), 16 presentavano ustioni di II°-III°-IV° (20%), 7 avevano ustioni di III° (8%), 12 presentavano ustioni di II°-III° (15%) e solo un caso presentava ustioni di III-IV° (1%).

Se confrontiamo questa casistica con i casi da noi selezionati, possiamo notare delle evidenti differenze, motivabili con le differenti dimensioni dei due campioni.

Nel nostro caso le morti legate ad ustioni e carbonizzazione sono 13 di cui 5 casi presentano carbonizzazione (38%), 6 casi presentavano ustioni di II°-III° (46%), un caso presentava sole ustioni di II° (8%) ed un caso presentava ustioni di II°-III°-IV° (6%).

Sempre nello stesso studio le analisi istologiche sono state condotte su 44 casi. A livello della cute, nei casi di ustione nella maggior parte dei casi si aveva disepitelizzazione dell'epidermide con le cellule disposte a "palizzata" con alcune lacune sub-epidermiche. Il tessuto connettivo sottostante mostrava la distruzione della cromatina nucleare nonché fenomeni di necrosi coagulativa.

Questi risultati sono compatibili con i riscontri delle analisi istologiche sulla cute che sono state effettuate in due casi dove erano presenti ustioni.

Oltre alle indagini istologiche erano state fatte su 45 casi anche analisi tossicologiche: 35 casi (77%) avevano concentrazioni di CoHb tra il 10 e il 50% mentre solo 9 casi presentavano concentrazioni di CoHb superiori al 50% (quindi la minima concentrazione letale) e 2 casi (3%) erano negativi [19].

Anche in questo caso per via delle dimensioni del campione possiamo giustificare le eclatanti differenti tra questo studio e i dati da noi raccolti, dove in 2/3 dei casi legati ad ustioni su cui erano stati eseguiti esami tossicologici abbiamo riscontrato una percentuale di carbossiemoglobina > 50%.

Sempre riguardo alle ustioni, nella nostra casistica abbiamo dei casi che possono rientrare nella definizione della cosiddetta "isolated body combustion", la quale si può applicare a due situazioni:

- quando la "combustione corporea" è "isolata" dal rapido intervento dei soccorsi con un veloce confinamento dell'incendio.
- quando la "combustione corporea" viene "isolata" dallo spegnimento spontaneo dell'incendio localizzato al corpo.

I tre fattori che favoriscono questo fenomeno sono: l'incapacità fisica di origine tossica (alcol, sostanze sedative, ecc.), grave handicap fisico e morte improvvisa di origine "naturale". Giocano un ruolo importante anche un contesto sociale di solitudine e la composizione degli indumenti. [22].

In tre casi nel nostro campione le vittime rientrano nella prima situazione per l'arrivo dei soccorsi e il trasporto in nosocomio, in altri due casi invece alle analisi tossicologiche erano stati rilevati alcol e benzodiazepine; quindi, queste due vittime erano in una condizione di incapacità fisica di origine tossicologica, cosa che può aver favorito il fenomeno dell'"isolated body combustion".

Nella nostra casistica abbiamo un caso di sesso femminile in cui la morte correlata ad ustioni è di natura omicidiaria. Secondo uno studio effettuato in Tunisia le vittime di omicidio attraverso l'uso delle fiamme di sesso femminile erano sposate nel 53.8% dei casi, il 50% era disoccupata e il 73,2 % viveva in un'area urbana. Le ustioni inflitte a scopo omicidiario si sono verificate, più frequentemente in abitazioni private per le vittime di sesso femminile (80,8%). Le donne sono state per lo più aggredite dal partner durante un litigio. Nel sesso femminile le ustioni erano localizzate al collo nel 73,1% dei casi, al tronco anteriore nel 69,2%, agli arti superiori nel 100%, arti inferiori nel 77,8% [23]. In linea con questo studio possiamo dire che nel nostro caso la vittima è stata uccisa dal partner e che le ustioni le sono state provocate nella loro abitazione in un contesto urbano.

Nei casi selezionati nel nostro studio abbiamo cinque casi di carbonizzazione. In due il cadavere era noto, negli altri è stato necessario utilizzare delle tecniche di identificazione. Sempre citando lo studio sui casi raccolti dagli archivi dell'Università La Sapienza e l'Università di Pisa, sono stati eseguiti degli studi di identificazione genetica su 20 cadaveri, 16 dei quali erano carbonizzati [19].

Nella nostra casistica le indagini genetiche sono state condotte in un 1/3 dei casi di carbonizzazione di cadavere NN, in 2/3 sono state applicate delle tecniche di odontologia forense dalla polizia scientifica e in un caso sono stati ritrovati degli effetti personali che hanno aiutato nel riconoscimento della vittima.

I decessi dovuti a folgorazione si verificano quando vi è il passaggio di una corrente elettrica attraverso il corpo. I meccanismi letali possono coinvolgere il cuore con fibrillazione ventricolare, o i muscoli respiratori o i centri respiratori del tronco encefalico con paralisi/cessazione respiratoria.

L'entità della corrente che attraversa il corpo dipende direttamente dalla differenza di potenziale del circuito e dalla resistenza del corpo e dei tessuti. La maggior parte dei decessi è accidentale. L'indagine su eventuali casi richiede un'attenta collaborazione tra gli investigatori della scena del crimine, gli esperti di sicurezza sul lavoro e gli esperti di elettricità e il patologo esaminatore. All'autopsia, un caso tipico mostrerà la classica lesione "targetoide" di un'ustione elettrica, con una carbonizzazione centrale circondata da un bordo di pelle pallida dovuto al vasospasmo con un bordo iperemico.

Le ustioni possono essere piuttosto piccole e sottili o più profonde. Anche se caratteristiche delle ustioni elettriche, queste lesioni non sono patognomoniche [24].

Nella nostra casistica abbiamo due casi di morte folgorazione in cui le circostanze sono concordi con la letteratura in merito: entrambi i casi sono di natura accidentale (nello specifico si tratta di incidenti sul luogo di lavoro). In un caso la folgorazione ha provocato un danno sistemico alla vittima, la quale presentava una lesione compatibile con il cosiddetto "marchio elettrico". Nel secondo caso la folgorazione ha causato delle ustioni che poi sono state la causa del decesso della vittima.

Entrambi gli incidenti sono avvenuti sul posto di lavoro: in questi casi a volte non si riesce a identificare la fonte della lesione nel macchinario su cui il deceduto stava operando o nelle attrezzature circostanti. Vi è la possibilità di un guasto intermittente, o di conduzione o elettrocuzione da una fonte distante, poiché l'ambiente deve essere dichiarato sicuro prima che gli altri dipendenti possano tornare al lavoro [24].

Per quanto riguarda i decessi legati all'intossicazione da monossido di carbonio, l'incidenza e la mortalità cumulative a livello mondiale dell'avvelenamento da CO nel 2017 sono state stimate rispettivamente a 137 casi per milione di abitanti e a 4,6 morti per milione di abitanti.

L'incidenza mondiale dell'avvelenamento da CO è rimasta praticamente stabile negli ultimi 25 anni, mentre la mortalità e la percentuale di pazienti deceduti sono invece diminuite rispettivamente del 36% e del 40%. Come prevedibile in base alle cause più frequenti che colpiscono quasi in egual misura entrambi i sessi (cioè guasti agli impianti di riscaldamento e incendi), l'incidenza dell'avvelenamento da CO è quasi identica tra i sessi, anche se la mortalità è risultata doppia nel sesso maschile [25].

La morte generalmente si manifesta quando almeno il 50-60% dell'emoglobina è sotto forma di carbossiemoglobina [1]. Confrontando la letteratura con il nostro campione, abbiamo selezionato quattro casi (due di sesso femminile e due di sesso maschile) di morte da intossicazione acuta da CO secondaria a inalazione di fumi di combustione senza ustioni. Solo in un caso la percentuale di carbossiemoglobina era molto inferiore alla minima concentrazione letale, ma negli altri tre sono stati rilevati valori di carbossiemoglobina al di sopra del 50% di CoHb.

Tutti i casi sono avvenuti nelle rispettive abitazioni delle vittime per inalazione di fumi di combustione.

6. Conclusioni

Il nostro studio è stato eseguito analizzando la casistica necroscopica dell'Istituto di Medicina Legale dell'Università di Genova dal 2018 al 2022. Tale casistica comprende Riscontri Diagnostici (RD) e Autopsie Giudiziarie (AG), effettuati presso la sala settoria dell'Istituto di Medicina Legale di Genova: il nostro campione contiene 18 decessi legati ad ustioni, carbonizzazione, folgorazione e intossicazione da monossido di carbonio in tale quinquennio.

Avendo analizzato il nostro campione e avendolo confrontato con la letteratura in merito, abbiamo notato delle differenze significative. Nel già citato studio eseguito presso l'Università la Sapienza di Roma e l'Università di Pisa, dobbiamo considerare la differente popolosità della capitale e di Pisa, rispetto a quella di Genova oltre all'assenza di un intervallo di tempo predefinito.

Nonostante ciò, le caratteristiche dei singoli casi da noi analizzati non si discostano dalle descrizioni di tali fenomeni in letteratura: la maggior parte dei decessi è di natura accidentale, i riscontri delle sezioni cadaveriche, quando eseguite, rispecchiano la classica presentazione autoptica dei cadaveri con ustioni, carbonizzazione da monossido di carbonio e folgorazione, le analisi tossicologiche per la ricerca della carbossiemoglobina nel 70% dei casi in cui sono state eseguite sono al di sopra del valore minimo letale, e le analisi istologiche sulla cute ustionata sono compatibili con la letteratura in merito.

7. Bibliografia

- [1] Buccelli C., Fineschi V. Norelli G.A. *Medicina Legale e delle Assicurazioni*. Padova: Piccin Nuova Libraiia S.p.A. 2014
- [2] De Leo, Raniero, Schiraldi, e Turrina. «*The importance of the multidisciplinary study in the solution of a “strange” traffic accident*». Sezione di Medicina Legale, Dipartimento di Diagnostica e Sanità Pubblica, Università degli Studi di Verona, s.d.
- [3] Moore, Ra, B. Waheed, e B. Burns. «Rule of Nines». *StatPearls Publishing*, 30 maggio 2022.
- [4] Bohnert, M., S. Pollak, e CR. Werner. «Problems associated with the diagnosis of vitality in burned bodies». *Forensic Sci Int.*, 27 agosto 2003.
- [5] Galtés, I., e S. Scheirs. «Differentiation between perimortem trauma and heat-induced colPathol.», settembre 2019.
- [6] Aalders, MCG, W. Duijst, T. Krap, e RJ. Oostra. «Mechanical or thermal damage: differentiating between underlying mechanisms as a cause of bone fractures. » *Int J Legal Med*, luglio 2022.
- [7] Ellingham, ST., M. Islam, G. Taylor, e Tj Thompson. «Estimating temperature exposure of burnt bone - A methodological review.» *Sci Justice.*, maggio 2015.
- [8]. Ubelaker, DH. «The forensic evaluation of burned skeletal remains: a synthesis.» *Forensic Sci Int.*, 10 gennaio 2009
- [9] Cattaneo, C., F Collini, A Cappella, D De Angelis, A. Mazzucchi, E Muccino, e E Sguazza. «Analysis of metallic medical devices after cremation: The importance in identification». *Sci Justice.*, marzo 2017.
- [10] Deepalakshmi, TK: e M. Prabhakar. «Role of dental implants in forensic identification. » *Dent Sci.*, maggio 2014
- [11] Andreola, S., C. Cattaneo, D. Gibelli, A. Taborelli, S. Vanin, e E. Zanotti. «Decomposition and entomological colonization of charred bodies - a pilot study». *Croat Med J*, agosto 2013
- [12] Babu, DB., RK. Badam, K. Garlapati, L. Reddy, T. Sownetha, e S. Waghay. «Virtopsy: Touch-free autopsy.» *J Forensic Dent Sci*, 2017.
- [13] Dirnhofer, R., C. Ozdoba, T. Plattner, T Schweitzer, MJ Thali, K Yen, e P Vock. «Charred body: virtual autopsy with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging. » *J Forensic Sci.*, novembre 2002.
- [14] Gentile G, Battistini A, Andreola S, et al. “Technical note: Preparation improvement of charred cadaveric viscera using Sandison's rehydrating solution for histological analysis.” *Forensic Sci Int* 2020

- [15] Maciejewska, A., J. Jakubowska, e R. Pawłowski. «Comparison of three methods of DNA extraction from human bones with different degrees of degradation.» *Int J Legal Med.*, gennaio 2012.
- [16] Banaszek, P., E. Chełmecka, K. Drożdżiok, A. Pałasz, M. Szczepański, e M. Tomsia. «The intervertebral discs' fibrocartilage as a DNA source for genetic identification in severely charred cadavers. » *Forensic Sci Med Pathol.*, dicembre 2022.
- [17] Regolamento Polizia Mortuaria: DPR 285/1990.
- [18] Ai sensi del C.P e del C.P.P
- [19] Cialella, C., M. dell'Aquila, A. De Matteis, M. Di Paolo, V. Fineschi, P. Frati, R La Russa, et al. «Cause of Death in Charred Bodies: Reflections and Operational Insights Based on a Large Cases Study». *Diagnostics (Basel)*., 16 agosto 2022.
- [20] “L'autopsia medico-legale”. <https://www.gipf.it/2016/09/26/linee-guida-gipf-l'autopsia-medico-legale>
- [21] American Burn Association, National Burn Repository: 2016 Report
- [22] Duband, S., e M. Peoc'h. «Letter to the Editor—Commentary on the So-Called Spontaneous Human Combustion Phenomenon». *J Forensic Sci* 56 (settembre 2011).
- [23] Belghith, M., Ben Khelil, M., Hamdoun, M., Harzallah, H., Keksi, D. e Zhioua M. «Pattern of homicidal burns in Northern Tunisia: An autopsy-based study over 15 years (2005–2019)». *J Forensic Sci*, 2021.
- [24] Byard, RW. «Electrocution – post-mortem presentations, problems and pitfalls». *Forensic Sci Med Pathol.*, marzo 2023.
- [25] Lippi, G., e C. Mattiuzzi. «Worldwide epidemiology of carbon monoxide poisoning.» *Human&Experimental Toxicology*. (2020).
- [26] Widdop, B. «Analysis of carbon monoxide». *Ann Clin Biochem.*, luglio 2002.

8. Ringraziamenti

Innanzitutto, ringrazio il Prof. Francesco Ventura e la Prof.ssa. Camilla Tettamanti per l'opportunità di frequentare la Sezione Dipartimentale di Medicina Legale dell'Università degli Studi di Genova e di realizzare questo lavoro di ricerca.

In particolare, ringrazio la Dott.ssa Roberta Mercuri per il prezioso aiuto nella stesura di questo elaborato, per il tempo da lei dedicatomi e per la sua gentile disponibilità.

Ringrazio la mia famiglia e i miei genitori per avermi sempre supportato in questo percorso di studio.

Grazie a Sabrina, Chiara, Bianca, Luca, Kenneth, Elia, Alessandro e Andrea, amici e compagni in questo lungo viaggio.

Ringrazio Francesca, per avermi fatto trovare la forza di andare sempre avanti e di seguire le mie passioni.

Infine, un pensiero particolare va ai miei nonni, che avrei tanto voluto ancora qui con me.