

BLOODSTAIN PATTERN ANALYSIS

Il sangue è uno dei più frequenti mezzi di prova fisici che si trovano sulla scena del reato. Attraverso lo studio, la valutazione e l'interpretazione delle macchie di sangue, si è in grado di raccogliere una serie d'informazioni di notevole importanza che permettono, in un secondo momento, la ricostruzione degli eventi, la loro successione e l'origine dei fatti.

L'interpretazione delle macchie di sangue riguarda l'analisi della distribuzione delle stesse sulla scena del reato.

Attraverso lo studio delle forze fisiche che agiscono sul sangue e l'iterazione tra sangue e superficie sulla quale impatta è di solito possibile determinare:

- l'origine e la natura dell'evento che ha prodotto la macchia ematica,
- la distanza tra il punto d'impatto della traccia ematica e l'origine della stessa,
- tipo e direzione della forza che ha provocato la lesione,
- numero di colpi o spari,
- la posizione dell'aggressore, della vittima e degli oggetti durante l'aggressione,
- movimenti della vittima, dell'aggressore ed eventuale spostamento di oggetti dopo l'aggressione.

L'analisi per forma, dimensione e disposizione delle tracce ematiche riguarda un settore delle scienze forensi denominato *Bloodstain Pattern Analysis* (**B.P.A.**).

CENNI STORICI

I primi studi sulle macchie di sangue risalgono al 1895 con lo studio “Sull’origine, forma , direzione e distribuzione delle gocce di sangue causate da ferite alla testa” del medico forense polacco Dr. Eduard Piotrowski.

Nel 1939 il Dr. Victor Balthazard condusse per primo una serie di esperimenti sulla traiettoria degli spruzzi di sangue, presentando poi le sue conclusioni al 22° Congresso di Medicina Forense del 1939 nel trattato “Etudes des gouttes de sang projecté”.

Pietra miliare nel riconoscimento di prova dell’analisi della macchia di sangue dal sistema legislativo fu la ricostruzione della dinamica delittuosa attraverso lo studio delle proiezioni ematiche del Dr. Paul Kirk dell’Università di Berkeley nel 1955.

Il primo trattato moderno di natura teorico-pratica sul B.P.A. si deve a Herbert Leon McDonnell nel 1971 con “Flight characteristic of human blood and stain patterns”, seguito nel 1973 da “Laboratory manual on the geometric interpretation of human bloodstain evidence”e nel 1982 da “Bloodstain patterns interpretation”, lavoro ristampato e aggiornato diverse volte nel corso degli anni. McDonnell fondò inoltre nel 1983 la IABPA (International Association of B.P.A.).

II SANGUE

Il sangue è un tessuto allo stato fluido che viene distribuito in tutto l’organismo attraverso l’apparato cardiovascolare. Esso è costituito da una frazione liquida o plasmatica e da una componente corpuscolata, la quale contiene una serie di cellule distinguibili, in base a caratteri morfologici

specifici, in eritrociti (globuli rossi), leucociti (globuli bianchi) e piastrine (trombociti).

Il sangue svolge un ruolo di primaria importanza nell'organismo: svolge funzione di trasporto delle sostanze nutritive, dei gas respiratori, delle scorie metaboliche e degli ormoni; provvede inoltre alla regolazione termica e del Ph del sangue, ed infine è un mezzo di difesa contro le azioni esterne.

La componente liquida, detta plasma, rappresenta il 55% della massa sanguigna circolante, è formata da acqua (91%) e da sostanze inorganiche, come sodio e potassio, da costituenti organici quali proteine, glucosio, amminoacidi, urea, acido urico, lipidi, creatinina, corpi che tonici e pigmenti biliari.

Le proteine plasmatiche principali sono: l'albumina, la cui funzione principale è quella di impedire ai liquidi, che circolano nei vasi, di fuoriuscire; le immunoglobuline o anticorpi, importanti per la difesa immunitaria; i fattori della coagulazione, che collaborano con le piastrine per arrestare le emorragie; il complemento, un insieme di circa dieci proteine, che collaborano con le cellule del sistema immunitario e con gli anticorpi per l'eliminazione di sostanze estranee ed infine le lipoproteine, che trasportano i grassi nel sangue.

Nella frazione cospuscolata, i globuli rossi hanno una forma a disco biconcavo, con un diametro di 7,5 μ , non hanno nucleo e sono coinvolti nella respirazione, trasportando ossigeno ai tessuti.

I globuli rossi contengono l'emoglobina, una proteina che trasporta l'ossigeno e anidride carbonica, gas che si forma nei tessuti come prodotto finale del metabolismo cellulare. L'emoglobina contiene un gruppo proteico e un gruppo proteico con 4 atomi di ferro. Essa conferisce al sangue il suo caratteristico colore rosso. Quando il sangue fuoriesce in seguito ad una

lesione perderà il suo colore rosso, in quanto l'emoglobina esposta al contatto con l'aria, perde progressivamente l'ossigeno.

I globuli bianchi non rappresentano una classe omogenea di cellule poiché comprendono i linfociti, i granulociti ed i monoliti. Essi svolgono una funzione di difesa dell'organismo dall'aggressione di germi patogeni e hanno un nucleo.

Infine i trombociti o piastrine sono dei frammenti cellulari, privi di nucleo, essenziali per una normale coagulazione, intervenendo allorché si verifica la lesione di un vaso.

Nell'individuo adulto la massa sanguigna circolante è di circa 5-6 litri e corrisponde circa al 8% del peso corporeo. Il rapporto tra componente corpuscolata e componente plasmatici è detto ematocrito.

Il sangue è un liquido viscoso, con una densità di 1,055-1,066 (l'acqua ha una densità di 1).

La reazione ad un evento lesivo

Quando si verifica un evento lesivo a carico di una parete vascolare si innesca un processo fisiologico che ha la funzione di arrestare il verificarsi dell'emorragia. L'organismo reagisce liberando sostanze ad azione vasocostrittrice, come la serotonina, che inducono un'intensa contrazione della muscolatura vasale e il rallentamento del flusso sanguigno.

In seguito si attiva la fase piastrinica con l'adesione delle piastrine al vaso lesso, che aggregandosi, danno origine al tappo piastrinico; inizia poi la fase emocoagulativa, che ha lo scopo di favorire il consolidamento dell'aggregato piastrinico: si forma un reticolo insolubile di fibrina e un coagulo resistente ed insolubile che imbrigherà gli elementi corpuscolari del sangue, arrestando l'emorragia.

Le proprietà fisiche

Il sangue è un fluido, caratterizzato dalla tensione superficiale, dalla viscosità e dalla sua particolare densità.

La tensione superficiale può essere definita come il risultato della forza di coesione delle molecole interne che determina la resistenza alla penetrazione e alla separazione della superficie di un liquido. Lo strato esterno del liquido si comporta come una pellicola elastica che avvolge le molecole; tale proprietà influisce essenzialmente sul comportamento durante il volo e durante l'impatto del sangue su una superficie. La forza della tensione superficiale agisce in modo che la forma sferica della goccia si mantenga inalterata fino al momento in cui altre forze, quali per esempio il contatto con la superficie di impatto, agiranno su di essa.

La viscosità del sangue dipende da vari fattori come la temperatura, lo stress o particolari situazioni (come per esempio la disidratazione) e pertanto non è un fattore costante. Più un fluido è viscoso più lentamente scorre. In un adulto in condizioni di salute buone l'indice di viscosità è compreso tra un range di 4,4 e 4,7 Poise.

Il sangue può colare da una ferita, da vestiti intrisi di sangue, da capelli o da armi e più in generale da ogni oggetto avente una superficie sufficientemente ampia per permettere la formazione di gocce di sangue. Una volta avvenuto l'evento traumatico e prima che la goccia inizi la sua caduta attirata dalla forza di gravità, il sangue fuoriuscito tenderà ad accumularsi sui lembi esterni della ferita fino a formare una goccia. La forza di gravità sarà contrastata dalla tensione superficiale che invece cercherà di ridurre la superficie esposta, spingendo la goccia verso la fonte.

La separazione della goccia avviene nel momento in cui le componenti della forza di gravità superano le forze di coesione della tensione superficiale.

La forma della goccia è dovuta alla tensione superficiale: quando la goccia inizia la sua caduta ha una forma leggermente allungata, via via che la caduta continua essa assume una forma sferica.

Il volume di una singola goccia e la sua velocità durante il suo percorso di volo sono state oggetto di numerosi studi sperimentali (MacDonell nel 1971, Laber nel 1976). Il volume di una goccia è difficilmente tipizzabile e per comodità in laboratorio gli autori hanno considerato una goccia standard, con un volume approssimativo di 0.05 ml (20 gocce per ml).

Una goccia perfetta ricreata in laboratorio raggiungerà una velocità di 75 cm/secondo.

In realtà, non esiste una goccia perfetta, in quanto subentrano fattori esterni che alterano i dati ottenuti sperimentalmente e che non possono essere previsti in toto durante la ricostruzione in laboratorio. Tra questi fattori esterni vi è la diversa fonte del sanguinamento (da una regione anatomica, da un indumento saturo di sangue, da un oggetto imbrattato di sangue,..), la densità e viscosità del sangue, dall'ampiezza della zona dalla quale si genera la goccia.

La velocità massima della caduta di una goccia di sangue si avrà quando l'accelerazione diventerà maggiore delle forze d'attrito dell'aria e varierà proporzionalmente al volume di sangue contenuto in essa.

La forma della macchia

La forma e l'ampiezza di una macchia traggono origine da diversi fattori variabili da caso a caso: l'altezza, il volume della goccia, la superficie colpita e l'angolo d'impatto. Sperimentalmente si è cercato di stabilire una relazione tra la forma della macchia, la sua estensione, il tipo di superficie e l'altezza della caduta.

Una goccia, con un volume noto (si prende come riferimento il volume sperimentalmente trovato da MacDonnell) di 0,05 ml, produce una macchia o

uno schizzo avente un diametro che cresce, in misura proporzionale, al crescere dell'altezza dalla quale cade e dalla superficie sulla quale impatta.

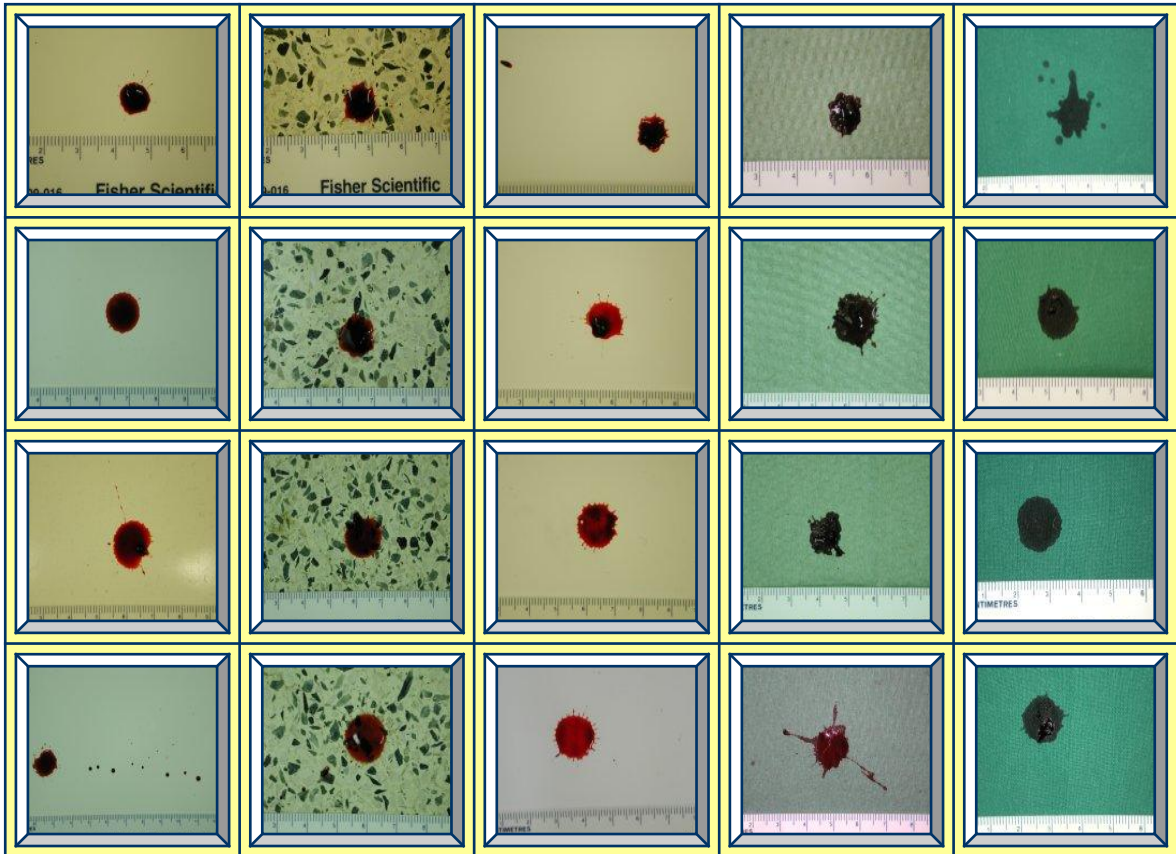
Nel caso sperimentale vennero usate superfici aventi diverso substrato (lisce e ruvide) e delle altezze variabili tra 15 cm e 210 cm. Il diametro delle macchie è aumentato da 13 mm a 21,5 mm, ma si può notare come le dimensioni del diametro non hanno subito variazioni sostanziali nel range compreso tra 170 cm–210 cm. L'area delle macchie è aumentata proporzionalmente con l'aumentare dell'altezza.

In un esperimento condotto in laboratorio da due medici legali italiani (Romanese e Ferrero) è stato dimostrato che già a 100 cm, i diametri delle macchie risentono sempre meno dell'altezza della caduta.

La natura della superficie colpita influenza l'aspetto (dimensione e forma) della macchia, in quanto le irregolarità del substrato possono determinare un deflusso irregolare del sangue contenuto nella goccia.

Si possono distinguere diversi tipi di superficie: liscia, ruvida, porosa e di diverso materiale (carta, tessuto, vetro, legno). Se si fa cadere una goccia di sangue da una medesima altezza su substrati di diversa natura, si può osservare una differenza sostanziale nei contorni delle macchie che si formano: la macchia che si forma su un substrato ruvido si presenta con dei bordi irregolari (che possono ricordare un merletto) che presentano delle punte sottili ed aguzze, con delle distorsioni, che si irradiano dal corpo della macchia verso i margini esterni e le zone circostanti, ed inoltre si possono formare dei piccoli schizzi periferici intorno alla macchia.

SINGOLA GOCCIA DI SANGUE CADUTA DA DIVERSE ALTEZZE: 0,5, 1, 2, 3 METRI SU DIFFERENTI MATERIALI



sup.liscia

pavimento

carta

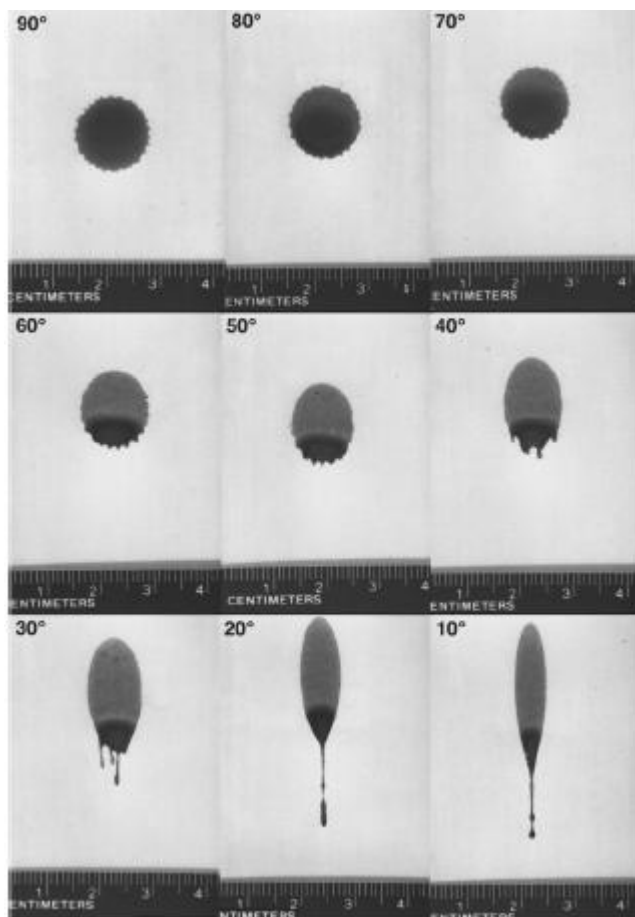
tovagliolo

tessuto

Una goccia che cade su un piano orizzontale, verticalmente rispetto alla superficie (90°), genera una macchia di forma essenzialmente circolare, e via via che l'inclinazione aumenta ($80^\circ - 30^\circ$), la forma risulta sempre più allungata, ovalare con dei prolungamenti

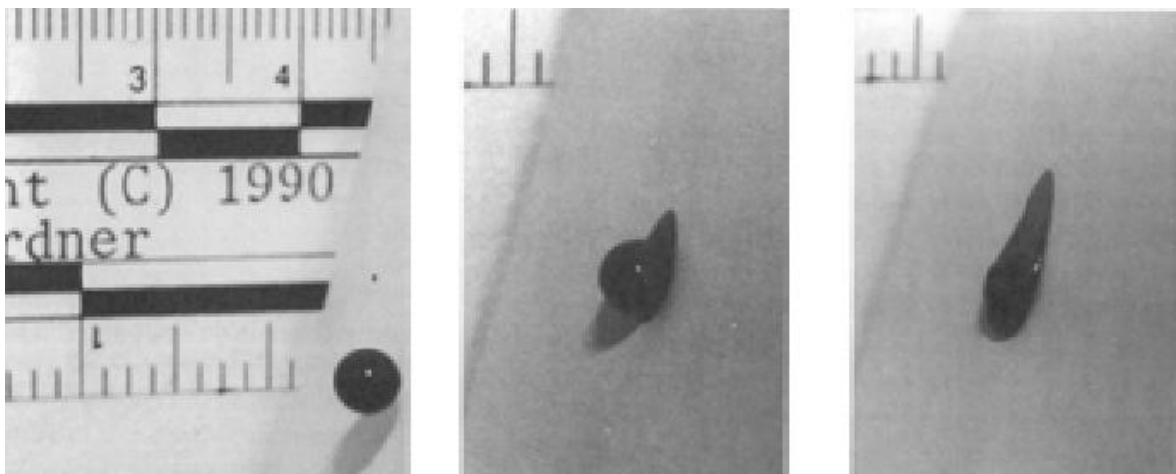
Indicazione	Forma
90°	Circolare

90° - 80°	Circolare, non ci sono sostanziali cambiamenti
80° - 40°	Allungata, ellittica
< 40°	Allungamento notevole, la macchia sembra un fuso, è accompagnata da un lungo e sottile prolungamento dell'estremità inferiore



Uno studio condotto sul comportamento della goccia e della risultante macchia, (Bevel e Gardner) ha permesso di distinguere 4 fasi che si susseguono dopo che la goccia ha colpito la superficie: contatto, colatura, dispersione e fase di assestamento.

Quando la goccia tocca la superficie, lo fa solo con la sua parte finale che si deforma e si appiattisce mentre la parte superiore rimane sferica, fino a quando a sua volta non toccherà il piano. A questo punto la goccia si appiattisce e collassa verso l'esterno formando un bordo e dando la forma della macchia, che in un secondo momento permetterà all'esperto di ricostruire e determinare l'angolo d'impatto. La dispersione del sangue sarà proporzionale al volume del liquido contenuto nella goccia e alla velocità



d'impatto.

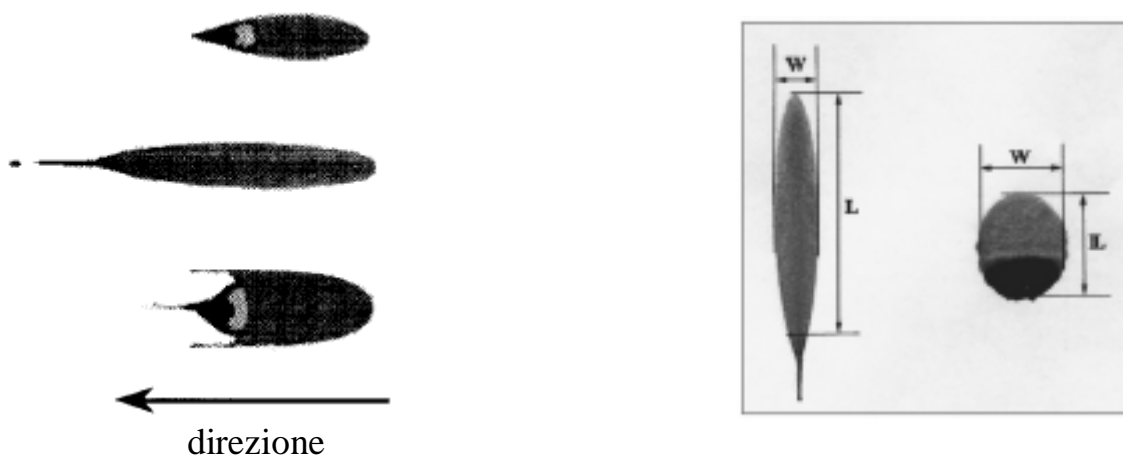
La determinazione della successione degli eventi si baserà, in un primo momento su una ricostruzione a ritroso e sull'esame obiettivo della scena. Il punto nel quale viene rinvenuto più sangue (più macchie) coincide con il luogo in cui l'aggressione ha avuto la sua fine e viceversa il sito, in cui verrà rintracciato meno sangue, sarà da ritenersi il punto di partenza dell'evento criminoso.

Dalla macchia alla goccia

La forma della macchia può aiutare nell'identificazione della direzione di provenienza della goccia; questo permetterà di formulare un'ipotesi investigativa circa il luogo in cui ha avuto inizio l'azione.

Analizzando la macchia, si possono tracciare due ipotetiche rette che rappresentano rispettivamente la lunghezza e la larghezza della macchia.

La retta che rappresenta la lunghezza indica la provenienza della goccia, ma è un'informazione che può presentare una doppia chiave di lettura, nel senso che possono essere due le direzioni di provenienza.



E' necessario trovare degli elementi che orientino la ricerca: la presenza di schizzi secondari, la irregolarità dei margini della macchia, la formazione di punte nei bordi. Le macchie pertanto possono presentarsi oltre che con la forma ovalare con aspetti differenti: affusolate, a "punto esclamativo" o sfrangiate.

Queste "formazioni" dipendono dall' angolo d' impatto:

- Tra 70° - 90° avremo delle macchie in prevalenza circolari, dove l'asse della larghezza e l'asse della lunghezza si equivalgono;

- Con angoli d'impatto più acuti, tra 70° - 40° la formazione d'irregolarità è presente da un solo lato, accompagnate da un gocciolamento, dovuto alla forza di gravità, che indicano la traiettoria;

- Oltre i 40° la macchia che si crea ha una forma ellittica, con dei prolungamenti finali continui o discontinui.

Più la macchia ha una forma ellittica, più è facile ricostruire la traiettoria, mentre una macchia con forma circolare solleva più problematiche nell'interpretazione, in quanto bisogna tener conto nella valutazione anche della particolare superficie.

La macchia di sangue si forma in seguito ad una serie di avvenimenti che hanno inizio con un evento lesivo che genera il sanguinamento. Vari fattori, non costanti e legati al contesto dell'evento lesivo e della scena criminis, intervengono nella formazione. Ciononostante si possono individuare delle costanti che possono fornire indicazioni preziose a chi sta studiando le tracce ematiche rinvenute. L'altezza, la superficie e l'angolo d'impatto influenzano la forma, l'ampiezza e l'aspetto della macchia.

L'altezza può essere posta in correlazione con l'ampiezza della macchia: ad altezze diverse corrispondono diametri diversi, inoltre la natura della superficie colpita influenza l'aspetto creando distorsioni, punte e bordi irregolari. Queste informazioni forniscono le prime indicazioni utili per la ricostruzione dell'evento.

DETERMINAZIONE DELLA TRAIETTORIA

Una volta determinata la sequenza degli eventi e la direzione di provenienza della goccia, bisogna determinare il punto di origine della goccia e il punto di convergenza delle macchie, che permetteranno di individuare, definire e

tracciare la traiettoria e fornire così un valido supporto alle ipotesi investigative.

La traiettoria può essere ricostruita con tre metodiche:

- Ricostruendo il punto di convergenza, su un piano bidimensionale,
- Ricostruendo il piano d'origine (alle misure prese sul piano bidimensionale si aggiunge anche l'altezza)
- Ricostruendo la traiettoria attraverso il software di balistica

Ognuno di questi metodi sarà usato in relazione ai bisogni investigativi.

Il punto di convergenza

Qualora una possibile fonte di sanguinamento venga sottoposta ad una forza esterna, le gocce di sangue risultanti dall'applicazione della forza colpiscono differenti bersagli e superfici con una velocità diversa e una diversa angolatura.

Il punto di convergenza è l'area in cui le gocce sono proiettate.

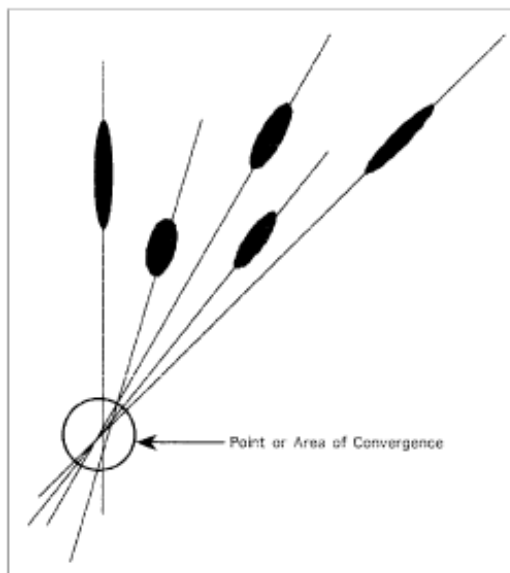
L'area viene individuata tracciando una retta, che dalla macchia, ricostruisce al contrario il percorso della goccia. Lungo questo percorso si trova il punto in cui si è originata la perdita ematica.

Se le macchie sono diverse e si procede nella ricostruzione del percorso di provenienza per ognuna di esse, si crea un punto in cui le traiettorie si intrecciano. Questo è il punto in cui probabilmente si è originata la perdita ematica.

La ricostruzione del punto di convergenza così trovato presenta dei limiti: non indica l'altezza dalla quale proviene la goccia, e possono crearsi delle aree di convergenza errate, come nel caso di poche macchie generate da eventi diversi.

Il punto di convergenza può essere stabilito, anche, usando dei fili di piombo che vengono tirati partendo dalla macchia fino a trovare il punto di

convergenza. La presenza di più aree di convergenza indica la presenza di molteplici siti d'impatto.



4.2 L'angolo d'impatto

Nel corso dei suoi studi, Victor Balthazard, ha dimostrato l'esistenza di una relazione tra le dimensioni della macchia di sangue e l'angolo con il quale la goccia impatta sulla superficie o angolo d'impatto.

L'angolo d'impatto è l'angolo che si viene a formare tra la traiettoria seguita dalla goccia e la superficie. Una goccia che cade superficialmente su una superficie ha un angolo d'impatto di 90° .

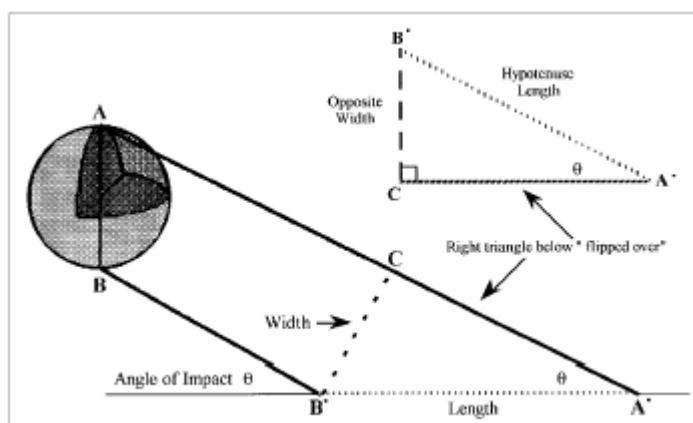
Per dimostrare l'esistenza di questa relazione Balthazard ha considerato una macchia perfetta, ovvero una macchia in cui, se si divide la macchia nel senso della lunghezza o della larghezza, le due metà sono uguali.

La determinazione dell'angolo d'impatto avviene applicando le funzioni matematiche trigonometriche del seno, coseno e tangente. Partendo dal presupposto che la macchia quando è in volo assume una forma sferica

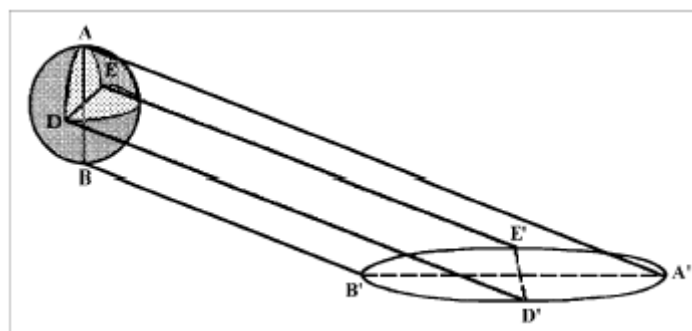
(lunghezza e larghezza si equivalgono), nel momento dell'impatto perde questa sua forma allungandosi (tranne nel caso di impatto verticale in cui la forma della macchia, come abbiamo visto, è circolare).

La larghezza della goccia corrisponde alla larghezza della macchia e la lunghezza della goccia troverà corrispondenza in quella della macchia.

L'angolo d'impatto è individuato tra la superficie e la retta BB' .



Le relazioni trigonometriche sono più evidenti se si rappresenta la sezione della macchia e quella della goccia. Se viene tracciata una retta perpendicolare a AA' che parte da B' si forma un triangolo rettangolo che ci permetterà di determinare l'angolo d'impatto.



Per definizione un triangolo rettangolo ha un angolo di 90° e due angoli diversi da 90° , la somma dei tre angoli deve essere uguale a 180° .

Per convenzione il lato opposto all'angolo retto è l'ipotenusa, e due lati si chiamano cateti.

La lunghezza della macchia risultante corrisponde all'ipotenusa del triangolo rettangolo, mentre la larghezza corrisponde al cateto. L'angolo α del triangolo rettangolo rappresenta l'angolo d'impatto della goccia di sangue. Il seno dell'angolo sigma (nel nostro caso A') è uguale al risultato del rapporto del cateto diviso per la lunghezza dell'ipotenusa.

$$\text{Sen } \alpha = \text{cateto} / \text{ipotenusa} = \text{larghezza} / \text{lunghezza}$$

$$\text{Inverso Sen } \alpha = \text{angolo d'impatto}$$

Oltre a questo metodo, l'angolo d'impatto può essere specifico anche con altri metodi come l'uso di tavole delle funzioni trigonometriche, si calcola il rapporto e il rispettivo angolo viene riportato dalle tavole. E' importante riconoscere che sia la formula, sia le relazioni così individuate, forniscono un valido aiuto nella ricostruzione della traiettoria.

Vi è sempre la possibilità che, durante il volo, si palesi una piccola oscillazione, o intervenga un errore nel calcolo della traiettoria, quindi il valore dell'angolo d'impatto non può essere considerato come un valore assoluto, è sempre ipotizzabile una variazione di $5^\circ - 7^\circ$.

Il punto di origine

Il punto d'origine di una macchia di sangue è il luogo nel quale ha avuto inizio la perdita ematica che ha originato la macchia stessa.

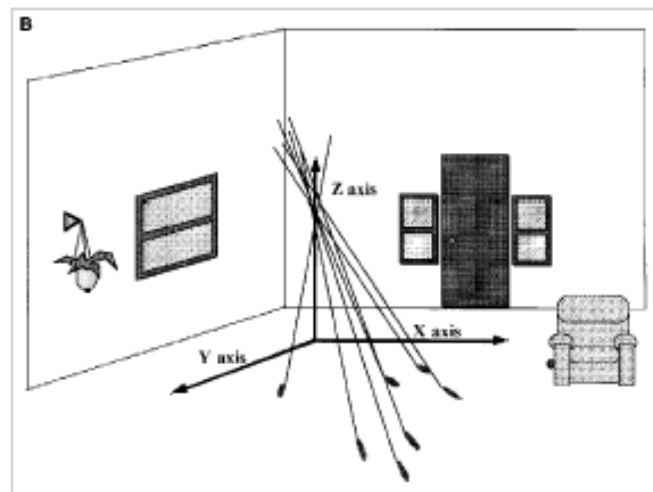
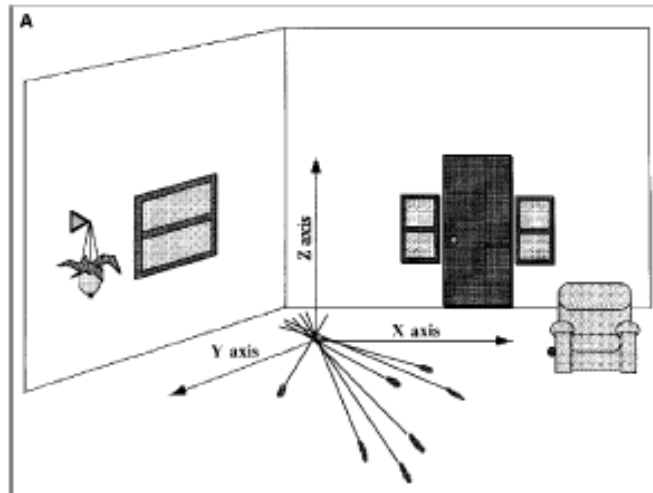
Per risalire al punto di origine si utilizzano le informazioni desunte dalla determinazione dell'angolo d'impatto e dalla localizzazione spaziale dell'area di convergenza. La combinazione di questi due parametri permette di individuare sia l'altezza sia la distanza esistente tra la macchia e la sua origine. I metodi usati per il calcolo sono diversi:

- La rappresentazione grafica
- La sua ricostruzione mediante l'uso di softwares per calcolare la traiettoria
- La sua definizione mediante l'uso delle funzioni trigonometriche

Anche in questo caso si parte dal presupposto che in un triangolo rettangolo la tangente di un angolo è equivalente al rapporto tra la lunghezza del lato opposto ed il lato adiacente.

La ricostruzione avviene in diverse fasi:

- Determinazione dell'angolo d'impatto
- Determinazione dell'arco di convergenza
- Viene misurata la distanza che intercorre tra l'area di convergenza e la singola macchia
- Calcolo del punto d'origine (o altezza) applicando la seguente formula:
$$TG \alpha = \text{opposto/adiacente}$$



Sia la ricostruzione attraverso il calcolo della tangente sia la ricostruzione grafica danno adito ad un certo margine di errore in quanto presuppongono una traiettoria “pulita” della goccia dal momento in cui inizia il percorso fino alla formazione della macchia. Questo tipo di traiettoria non è possibile nella realtà: è necessario considerare sempre sia le forze d’attrito dell’area sia la forza di gravità.

Nella ricostruzione del punto d’origine si deve tener conto di questi due fattori, per non incorrere in un errore di valutazione che può portare all’esclusione, a priori, di un’ipotesi investigativa.

L'individuazione del punto in cui le macchie hanno origine è di grande aiuto nella ricostruzione dell'evento, perché implementa le informazioni già in possesso di chi deve ricostruire la scena.

Le informazioni aggiuntive sono:

- Individuazione del luogo in cui i colpi sono stati portati
- Posizione degli attori sulla scena del reato
- Determinazione di possibili colpi aggiuntivi e dei possibili spostamenti dei soggetti coinvolti

Le gocce seguono una possibile traiettoria dalla sede della lesione alla superficie d'impatto che dipende dalla velocità e dalla distanza percorsa.

L'area d'origine può indicare se la vittima era seduta, in piedi o sdraiata nel momento dell'aggressione. In una stessa scena possono coesistere punti d'origine differenti: questo fenomeno può essere indicativo della variazione di posizione della vittima e dell'aggressore.

Queste informazioni servono a supportare le ipotesi investigative, a dare credito o smentire le tesi sostenute dai testimoni e dalle persone coinvolte direttamente negli eventi.

MORFOLOGIA DELLE MACCHIE DI SANGUE

Ogni macchia rinvenuta sulla scena del reato ha una storia da raccontare che verrà rilevata attraverso un'attenta e accurata analisi del materiale repertato.

La disposizione, la forma ed in generale tutti gli elementi che caratterizzano una singola macchia o le macchie nel loro contesto generale, sono fattori indispensabili per capire ciò che è accaduto, per identificare i mezzi e gli scenari che hanno caratterizzato l'evento.

Nel corso degli anni si è cercato di pervenire ad una classificazione omogenea delle macchie, ma ciò non è stato ancora possibile. Ciò che è palese invece è la metodica di lavoro da seguire: è inevitabile partire da una dettagliata descrizione di ciò che si vede per sviluppare un'ipotesi investigativa. Chi si occupa della ricostruzione dovrà in primis cercare di non farsi condizionare dalle proprie idee e dai preconcetti.

La distinzione tra macchie da contatto e schizzi di sangue

Il sangue ha proprietà adesive, quindi rimane facilmente adeso alle superfici con le quali viene a contatto. Negli schizzi il sangue viene proiettato sulla superficie come risultato dell'applicazione diretta di una forza su un bersaglio (di solito una persona!) da cui scaturisce il sangue. La forza risulta da un evento singolo ed istantaneo, un impatto violento tra due superfici (agente contusivo e agente lesivo).

Le macchie da contatto sono invece provocate per strisciamento, sfregamento o per pulitura. In questo caso il sangue passa da una superficie all'altra.

La distinzione tra queste due dinamiche principali ha permesso di stilare una classificazione che prende come punto di partenza lo svolgimento dell'azione.

CLASSIFICAZIONE DI P.L. KIRK

SPATTER GROUP

6.1 Impact spatter

La relazione tra la velocità dell'impatto e la dimensione della macchia ha permesso di caratterizzare tre gruppi di spruzzi di sangue: quelli a bassa, media e alta velocità d' impatto.

Impatti a bassa velocità. (LVIS – Low-Velocity Impact Blood Spatter). Il sangue si muove lentamente (1,5 m/sec) per cui la forza applicata non è molto elevata e non si assiste ad una vera e propria dispersione della goccia. Tali impatti comprendono anche quelli causati dalla forza di gravità.

Gli spruzzi hanno una forma circolare (o leggermente ovale) con margini regolari o leggermente irregolari e sono relativamente ampi (4 mm o più). Sia

MACCHIE DI SANGUE		
Spatter Group Schizzi	Composte	Non Spatter Group
Impact Spatter: <ul style="list-style-type: none">• Da lesione traumatica• Da arma da fuoco• Exhalation• Splash		Imbrattamento: <ul style="list-style-type: none">• Da contatto• Vuoto – Zona d'ombra (Blockage)• Da movimento: Wipes (pulitura) e Swipes (strofinamento)
Cast Off: <ul style="list-style-type: none">• Cessation Cast Off• Movimento ad arco• Sgocciolamento		PABS: <ul style="list-style-type: none">• Sangue asciutto• Sangue coagulato• Mix
Lesione arteriose: <ul style="list-style-type: none">• Fiotto• Zampillo• Pioggia		Altro

la forma sia l'ampiezza della macchia sono diverse a seconda della superficie sulla quale impattano. Un impatto su un bersaglio avente una superficie ruvida e porosa, per esempio, lascia una macchia caratterizzata da una forma circolare con margini irregolari che formano delle punte (spines) che partono dal centro e si espandono verso l'esterno.

Esempi di attività che possono generare tali schizzi di sangue sono:

- gocce di sangue che cadono per il solo effetto della forza di gravità;
- sangue che sgocciola dentro una pozza di sangue;
- singole gocce che cadono da una sorgente in movimento orizzontale (ad esempio prodotte da un soggetto che cammina o corre);
- gocce schizzate o proiettate su una superficie orizzontale o verticale;
- gocce trasportate da oggetti insanguinati (capelli, mani, piedi, armi,...).



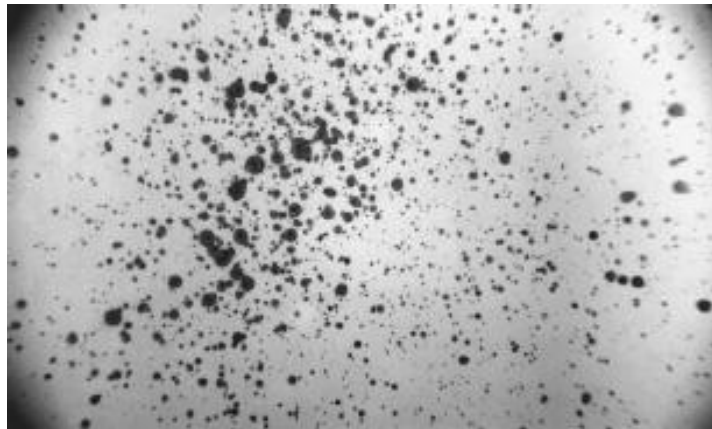
Impatti a media velocità. (MVIS – Medium-Velocity Impact Blood Spatter).

Le macchie generate da una velocità media (1,5-7,5 m/s, in alcuni casi sino a 30 m/s) hanno una dimensione più piccola (tra 1 mm e 4 mm di diametro) e sono caratterizzate da una forma ovale con dei prolungamenti continui che le fanno assomigliare a dei birilli da bowling.

I prolungamenti indicano la direzione del volo.

Esempi di attività che possono generare tali schizzi di sangue sono:

- traumi prodotti da oggetti ottusi (colpendo con pugni, bastoni, pietre, martelli, ...);
- traumi prodotti per accoltellamento.



Impatti ad alta velocità. (HVIS – High-Velocity Impact Blood Spatter). Gli schizzi sono di dimensione inferiore a 1 mm. Molte delle goccioline di sangue prodotte da questo tipo di impatto sono estremamente piccole e generano la dispersione simile a nebulizzazione.

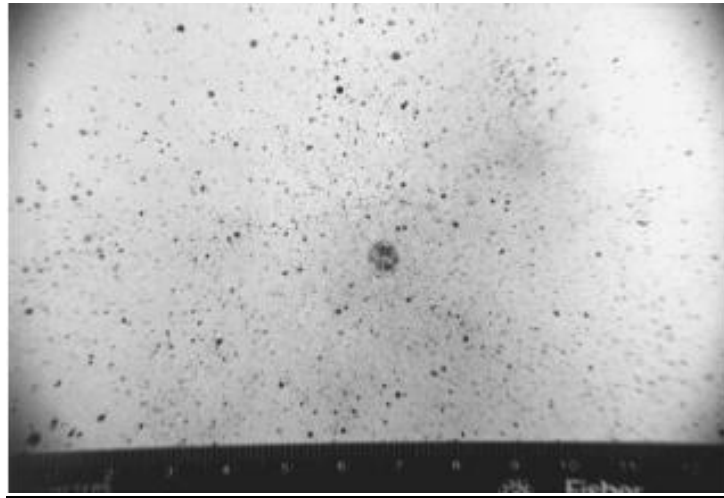
A causa della loro piccola massa queste goccioline attraverseranno soltanto una breve distanza (fino a un metro) attraverso l'aria e sono il risultato dell'applicazione di una forza diretta, che viaggia ad una velocità superiore a 30 m/sec.

Le macchie hanno una forma ovale con prolungamenti finali (schizzi secondari).

Esempi di attività che possono generare tali schizzi di sangue sono:

- traumi cagionati dall'impatto di agenti balistici;
- esplosioni;
- traumi prodotti da macchinari che ruotano ad alta velocità;

- incidenti automobilistici.



Caratteristiche morfologiche

❖ la dimensione della macchia

La dimensione della macchia può dare una prima idea del tipo di forza coinvolta nell'impatto.

L'estensione della proiezione ematica è influenzata dal volume di sangue contenuto nella goccia e dalla forza applicata.

Il volume del sangue è il fattore primario che determina l'estensione della macchia risultante. Esso dipende dalla fonte coinvolta: se è esposta direttamente alla forza applicata (colpo alla testa), se è avvolta da vestiti, oppure è legata alle caratteristiche del sangue (ematocrito, viscosità, densità).

Il sangue e la goccia di sangue non si separano senza l'intervento di un fattore esterno che porta alla rottura del loro equilibrio.

Gli schizzi che risultano da un impatto avranno dunque una dimensione più piccola rispetto alle macchie che si formano in seguito ad un gocciolamento continuo e ripetuto.

❖ la forma e la distribuzione

Le gocce che si formano in seguito ad un impatto, si disperdono irraggiandosi dal sito d'impatto verso la superficie.

La forma della macchia dipende dalla posizione del bersaglio: se questo è posto parallelamente alla direzione della forza, la forma dello schizzo sarà ellittica, mentre se questo è perpendicolare alla direzione, la forma dello schizzo sarà circolare.

La distanza tra il sito dell'impatto e la superficie d'urto è un elemento determinante della dispersione degli schizzi, se la superficie dell'urto è situata nelle vicinanze dell'impatto ci saranno una moltitudine di schizzi, ravvicinati tra loro. Viceversa se le due superfici sono lontane si rinvengono pochi spruzzi e diradati.

La resistenza dell'aria provoca un attrito ed una frizione che frenano la corsa della goccia attraverso l'aria, questa perde velocità e dunque percorre una distanza minore. L'aspetto della macchia (intesa come insieme degli schizzi) è influenzato dal modo in cui avviene la collisione tra l'arma usata e il sito dell'impatto.

Questi elementi possono condizionare il modo in cui si dispongono gli schizzi, creando, per esempio, dei vuoti: l'angolo formato tra l'arma e la vittima può, in certi casi, non permettere una dispersione omogenea e simmetrica del sangue.

I colpi o le ferite che coinvolgono il naso, la bocca, i polmoni e la gola producono degli schizzi di un colore più intenso e potranno essere presenti bollicine di aria dovute alla commistione di ossigeno e saliva.

Cast Off Group

Le macchie sono create quando il sangue è proiettato o lanciato da un oggetto in movimento o dal repentino cessare di questo movimento.

La natura dell'oggetto può essere diversa: un'arma (bastone, martello,..) o l'aggressore stesso (pugno, calcio).

Nelle azioni contusive è importante considerare la dinamica che dà origine alle macchie: l'arma colpisce il soggetto seguendo un movimento ad arco o parabola. Con il primo colpo viene esposto il sangue che aderisce all'arma; riportando indietro l'arma per colpire un'altra volta, il sangue rimasto adeso ad essa si stacca e segue una traiettoria tangenziale rispetto all'arco disegnato dal movimento. Gli schizzi così originati impattano sia sulle superfici situate nelle vicinanze come pareti, pavimenti, soffitti sia su altro oggetti posti sulla loro traiettoria.



Quando il colpo viene vibrato, il movimento iniziale produce degli schizzi che colpiscono il muro adiacente, nel caso ci sia, con un angolo d'impatto di 90°; nei movimenti seguenti, ossia quelli che descrivono la parabola o l'arco nell'aria, gli schizzi sono proiettati con angolazioni più acute e si originano schizzi con forma ellittica e con una dimensione di 4-8 mm, anche se questa può variare in relazione al tipo di arma usata, o alla forza usata dall'aggressore.

Quando il movimento da ascendente diventa discendente, si nota un cambiamento di direzione e di forma negli schizzi, da circolari essi diventano ellittici.

Mettendo in relazione le diverse fasi del movimento si può individuare il punto in cui c'è stato il cambiamento di direzione.

Le macchie sono caratterizzate da una certa linearità nella loro disposizione e ciò permette di differenziarle rispetto ad altri tipi di macchie. Contando il numero delle scie ematiche e aggiungendo al conteggio un colpo è possibile stabilire un numero minimo di colpi che sono stati inferti durante l'evento criminoso, in quanto solitamente il primo colpo assestato non produce abbastanza sangue per creare degli schizzi.

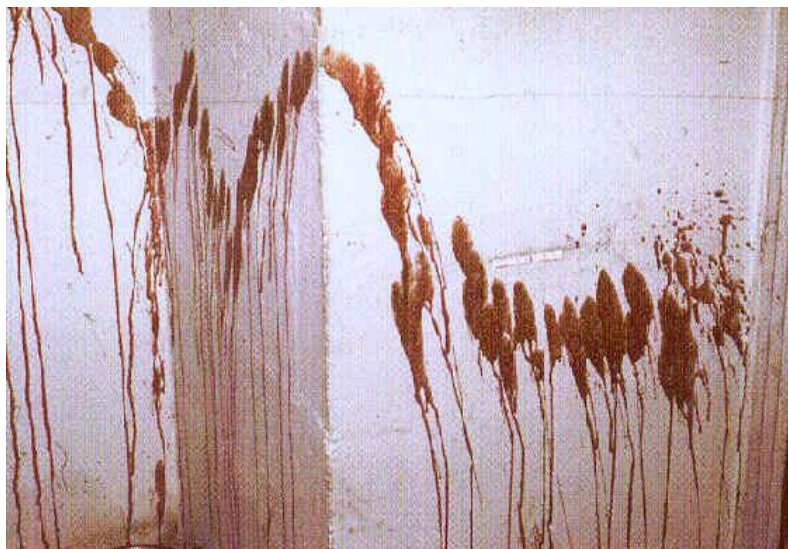
Le proiezioni ematiche possono indicare quali sono stati i movimenti (avanti/indietro) e la direzione del colpo (da sinistra a destra e viceversa o in fase ascendente o discendente).

Le lesioni arteriose

Esse scaturiscono dalla lesione di un'arteria in seguito ad una lesione di continuo provocata da un'arma da fuoco, un'arma da taglio e qualunque traumatismo che provochi una lacerazione.

La perdita ematica è rapida e copiosa in quanto le arterie sono vasi con una pressione sanguigna elevata e di solito sulla scena del reato si rinviene un'abbondante quantità di sangue.

La dispersione e la forma delle proiezioni ematiche sono determinate e caratterizzate dalla pressione del cuore e dalla posizione della vittima: se questa rimane ferma le macchie sono ovali, se si muove la forma ricorderà quella di un girino. La macchia può avere un andamento ondulatorio dovuto alla sistole e diastole cardiaca e la dispersione è solitamente uniforme, anche se, a causa del volume del sangue, possono formarsi delle colature e schizzi secondari spesso anche ad una certa distanza dall'origine.



NON SPATTER GROUP

Le macchie da imbrattamento

La macchia da imbrattamento si origina quando una superficie sporca di sangue entra in contatto con una seconda superficie pulita, come risultato di

una compressione o di un movimento laterale. Le più comuni macchie sono quelle lasciate da mani, piedi o soles di scarpe e l'impronta dell'arma stessa. Le macchie da imbrattamento possono essere distinte in due gruppi: quelle prodotte da un contatto e quelle originate da un mancato contatto (Blockage).

Le macchie da contatto

Esse si originano dal contatto di due o più superfici delle quali almeno una è sporca di sangue e si differenziano in relazione al tipo di azione che le origina e dal tipo di superficie coinvolta nel trasferimento.

Il movimento può essere un semplice contatto, il movimento di una superficie su un substrato fermo, oppure il contatto di due superfici in movimento; può essere la superficie sporca che si muove "verso" la superficie pulita, come nel caso in cui venga pulito un coltello su un lenzuolo, e viceversa la superficie imbrattata può essere ferma e sporca l'oggetto in movimento.

Nel mero contatto tra due superfici il sangue passa da una all'altra in modo non uniforme in quanto possono esistere delle superfici che assorbono il sangue (per esempio la carta, il cotone e più in generale la stoffa, o il legno non trattato) e creano delle distorsioni nella macchia, oppure delle superfici non assorbenti che non trattengono il sangue.

Wipes e swipes

Le azioni che connotano le macchie da contatto sono definite Wipe (pulitura) e Swipe (strofinamento).

I Wipes si originano quando una superficie non macchiata viene passata su una superficie ferma e sporca di sangue. Il sangue si deposita lungo il percorso della strisciata, accumulandosi lungo il movimento e quando il movimento cessa e l'oggetto imbrattato viene sollevato, si può osservare come sui margini si crei un accumulo più denso di sangue.

Gli Swipes si producono strofinando una superficie sporca su una ferma e pulita. La concentrazione di sangue è più evidente dove ha inizio il movimento e scema progressivamente lungo il suo decorso.

Gli Swipes e gli Wipes possono essere utili oltre che per individuare i materiali venuti a contatto, anche per determinare la modalità del contatto stesso. Se le superficie sono lisce, non porose e assorbenti, la macchia risultante è ben definita, senza sbavature ed omogenea; se la superficie è assorbente, il sangue viene trasferito dall'arma a questa, lasciando dei segni caratteristici, figurati, che ricalcano la forma e dimensione dell'oggetto. Al contrario, quando la superficie non assorbe, o, per esempio, ci sono delle pieghe nei vestiti, l'interpretazione della macchia è difficile.



La pelle può essere usata come superficie di ripulitura: la traccia lasciata si presenterà con i margini scuri e secchi, che ricordano un alone mentre il sangue al centro di essa rimarrà fresco.

I vuoti o zone d'ombra

Le zone d'ombra o vuoti sono tipiche delle dinamiche associate agli spatters. Queste zone si formano in presenza di un ostacolo che impedisce la

dispersione omogenea degli spruzzi su tutta la superficie. Ciò significa che tra il punto in cui è avvenuto l'impatto e la superficie/bersaglio, si è frapposto un bersaglio secondario, collocato tra la fonte e il bersaglio o a contatto diretto con la superficie impattata. Nel primo caso l'oggetto che ha ostruito il fluire del sangue può avere lasciato un'ombra (caratterizzata da bordi poco netti), o nel caso più fortunato può avere lasciato una vera e propria sagoma, con contorni ben definiti tali da portare all'individuazione dell'oggetto. Nel caso in cui invece l'ostacolo sia molto vicino al bersaglio, esso blocca completamente la dispersione del sangue, la sagoma risultante sembrerà quasi disegnata, con profilo netto e con bordi densi e ricchi di sangue.

Altri tipi di macchie da imbrattamento

Gli schizzi di sangue sono di solito originati ed associati a dinamiche attive che coinvolgono differenti azioni, colpi e movimenti ripetuti. Può accadere che dinamiche passive possano essere talvolta fuorvianti.

Nel caso di un gocciolamento continuato da una fonte ferma, come può essere un vestito intriso di sangue, una ferita o un'arma sporca di sangue, si possono formare sia degli schizzi secondari di piccole dimensioni (1-2 mm), sia una macchia centrale ampia di varie dimensioni. Gli schizzi seguono una traiettoria a parabola e si vanno a raccogliere sulle superfici adiacenti. Nel caso di superfici verticali si può notare la formazione di una macchia a forma di V, dove la punta indica il punto più vicino alla macchia centrale.

RICOSTRUZIONE

Il lavoro di classificazione, catalogazione e di definizione delle macchie di sangue è preparatorio a quella attività fondamentale che si esplica nella ricostruzione dell'evento per giungere all'elaborazione dei dati e alla formulazione di un'ipotesi investigativa.

Fondamentalmente l'attività di ricostruzione si articola in tre fasi successive:

1. raccolta di reperti e d'informazione sulla scena del reato,
2. ricostruzione vera e propria, che consta di analisi di laboratorio sui reperti,
3. riproduzione dell'evento attraverso l'individuazione del punto di convergenza, dell'angolo d'impatto, del punto di origine e di sperimentazioni atte a ricreare la scena.

Le attività di sopralluogo e di repertamento sono fondamentali, in quanto, osservando la scena del reato, è possibile rinvenire tutti i dettagli che saranno indispensabili in un secondo momento.

La documentazione fotografica della scena del reato e delle macchie di sangue è una parte essenziale nella ricostruzione. Le fotografie, essendo la memoria storica e l'elemento principale della B.P.A., devono precedere ogni operazione per cristallizzare ogni singolo elemento che potrebbe subire variazioni.

La ricostruzione in laboratorio consta di due attività separate, ma complementari. Le analisi sui reperti, infatti, sono un elemento fondamentale per la ricostruzione dell'evento, confermando o semplicemente orientando le ipotesi investigative. In certi casi soltanto con le analisi sui reperti è possibile rinvenire una traccia, evidenziarla e usarla ai fini ricostruttivi (come nel caso di tracce <0,1 mm). Una micro-macchia da contatto, ad esempio, analizzata in

laboratorio si presenta in modo completamente diverso rispetto ad uno schizzo di sangue.

Nella macchia da contatto depositata su un substrato assorbente quale un tessuto, i globuli rossi, nel processo di assorbimento del sangue, sono trattenuti dalle trame della stoffa. Al microscopio risulta evidente il punto nel quale si sono accumulate più globuli rossi e dove è avvenuto il contatto. Il sangue è presente non solo sulla superficie più esterna, ma in profondità e sul rovescio del tessuto.

La traccia lasciata da uno schizzo si presenta in modo totalmente diverso, essendo molto superficiale, dello stesso colore e non impregnando le trame del tessuto.

La riproduzione dello scenario può avvenire con l'utilizzo di approcci differenti e con l'ausilio di tecniche diverse. Gli approcci si basano su una ricostruzione soggettiva dell'evento utilizzando le testimonianze e i dati estrapolati dai rilievi effettuati sulla scena e i risultati dell'autopsia. La B.P.A. interviene soltanto in un secondo momento.

Il secondo tipo d'approccio è prettamente oggettivo e più scientifico e lascia poco spazio alle teorie personali basandosi sostanzialmente sui dati acquisiti in sede di sopralluogo e all'elaborazione di questi in laboratorio.

Le macchie sono il punto di partenza per la ricostruzione dell'evento. La loro identificazione permette di dare una sequenza cronologica degli eventi: quando è intervenuta la lesione, e quanto tempo è intercorso tra accaduto e rinvenimento.

Cercando delle macchie compatibili con un impatto o una lesione arteriosa e i segni della dispersione degli schizzi si può collocare, presumibilmente, l'inizio dell'azione, la direzione dei colpi, i possibili spostamenti e quanto tempo è intercorso tra lesione e ritrovamento (che identifica il momento finale dell'azione).

Le macchie di sangue più voluminose ed estese sono utili per determinare il tempo in cui la vittima è rimaste nello stesso posto. E' possibile accoppiare tra di loro le macchie, nel senso di collegare l'evento con uno successivo, sia come azione che come tempo. Per esempio: ad un impatto, dovuto ad una azione diversa da un colpo d'arma da fuoco, segue solitamente la ritirata dell'arma, per cui sulla scena si cercano degli spatter e delle macchie da proiezione, se la vittima non viene spostata si cercano delle macchie più ampie ed estese, con i segni tipici del gocciolamento.

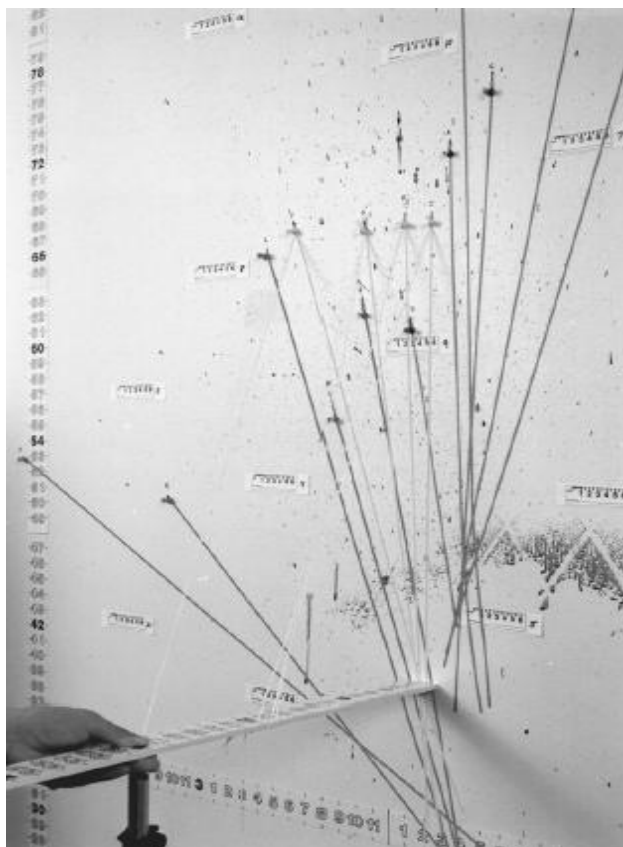
Una volta determinate le possibili sequenze temporali, è possibile ricostruire l'origine dell'evento.

Tecniche ricostruttive

Il punto di origine può essere individuato attraverso l'uso di due tecniche principali che, sviluppatasi negli ultimi anni, hanno permesso di ridurre il margine di errore.

La tecnica del filo

Questo tipo di tecnica prevede che un filo (all'origine era di piombo) venga fissato in corrispondenza di una macchia di sangue e teso nella direzione, presunta, del movimento. La direzione è identificata dalla forma (è opposta alla presenza di punte e prolungamenti), dall'angolo d'impatto della macchia e dall'area di convergenza. Nel punto in cui i fili si intersecano viene individuato il punto di origine.



La tecnica del filo ha sempre meno applicazioni, in quanto richiede tempo, energia e molta agilità (si forma un intrigo di fili in cui è difficile muoversi). Inoltre è una tecnica soggetta ad errore, soprattutto nel caso in cui siano presenti molte macchie sulla scena del reato.

Negli ultimi anni sono stati messi a punto dei softwares capaci, sulla base dei dati relativi alla macchia, di tracciare dei fili virtuali fornendo una visuale laterale che fornisce l'altezza dell'origine del sangue, e una visuale dall'alto, che individua l'area di convergenza.

La ricostruzione del punto di origine

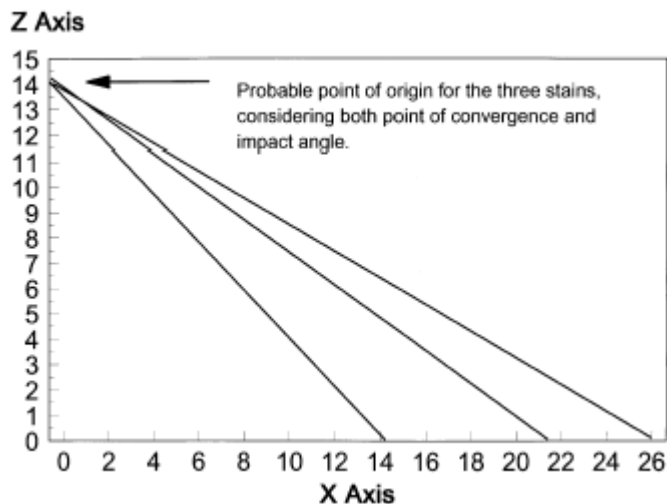
E' la tecnica di maggiore applicazione e che fornisce i risultati più sicuri. Si parte dalla macchia e dalle sue misure per risalire all'origine dell'evento.

Si misurano la lunghezza e la larghezza della macchia e si calcolano l'angolo d'impatto applicando la formula:

$\text{Sen } \sigma = \text{larghezza/lunghezza}$

Inverso Sen $\sigma = \text{angolo d'impatto}$

Misurando la distanza tra la base della macchia e il punto di convergenza si può risalire al punto di origine graficamente o applicando il metodo della tangente. Nel primo caso le informazioni vengono elaborate graficamente, trasferendo i dati su un grafico che rappresenta sull'asse delle ascisse il punto di convergenza.



L'asse delle X rappresenta la distanza esistente tra la macchia e il punto di convergenza. Si segna una macchia, sull'asse delle X, usando un goniometro per segnare l'angolo d'impatto, si traccia una riga che arriva sino all'asse delle Z: si ripete questo procedimento per ogni macchia. Il punto nel quale ogni retta converge è presumibilmente il punto d'origine.

Il punto d'origine può essere altresì determinato usando il metodo delle tangente. Bisogna individuare delle macchie che, verosimilmente, abbiano un punto di convergenza comune; si misura la distanza della macchia di convergenza e l'angolo d'impatto. Si applica la formula:

$$\text{Tan } I = H/D$$

dove I è l'angolo d'impatto noto, D è la distanza tra aree di convergenza e macchia e H è la distanza, ricercata, tra origine e convergenza.

L'attività ricostruttiva non si esaurisce con l'individuazione del punto d'origine, anche se è fondamentale per situare l'evento e inquadrare il tipo di dinamica che deve trovare un riscontro nella realtà.

La ricostruzione, in questa fase, diventa una sperimentazione per ricreare macchie in laboratorio, possibilmente, il più simile a quelle rinvenute sulla scena. Per esempio, nel caso di macchie da contatto prodotte da un oggetto sconosciuto o da un'azione non accettabile, due sono gli approcci: si riproduce in laboratorio una macchia standard, compatibile con gli oggetti rinvenuti sulla scena.

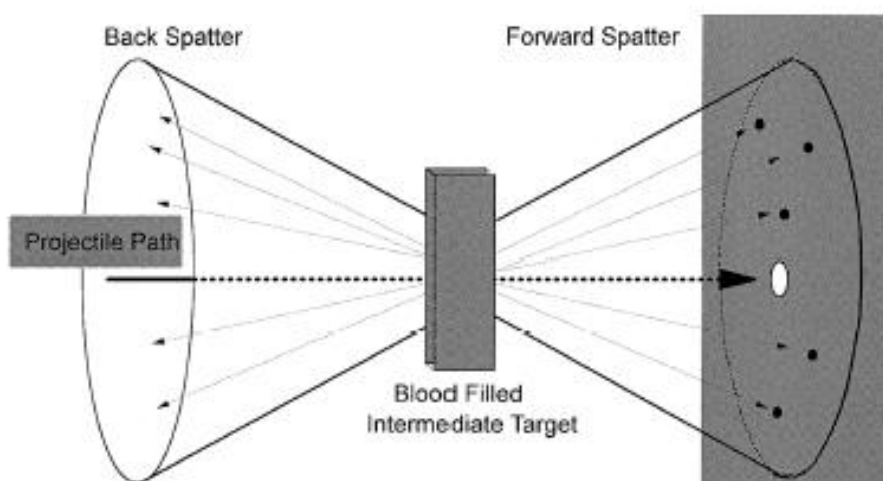
Usando questo standard si può ricercare una particolarità che orienta verso un oggetto o un'azione.

Il secondo tipo di approccio si basa sulla valutazione della scena del reato: si selezionano un gruppo di oggetti, si ricreano delle macchie standard in laboratorio e si confrontano con le macchie rinvenute, per giungere ad un giudizio di compatibilità/non compatibilità tra macchia vera ed ipotetica.

GLI SPATTER DA ARMA DA FUOCO

I colpi d'arma da fuoco creano schizzi di solito associati esclusivamente al gruppo dell' elevata velocità d'impatto.

La forza individuata è quella del proiettile che impatta sulla superficie, trasferendo la sua energia cinetica ai tessuti. Gli schizzi che si disperdono con una forma conica trovando il punto d'origine nel centro dell'impatto (foro d'entrata o d'uscita del proiettile).



Vengono distinti due tipi di spruzzi: i **Forward spatter** (spruzzo in avanti) e i **Backspatter** (spruzzo indietro).

I Forward spatter si originano con lo sparo, seguono la direzione e la forza impressa dal proiettile e il sangue si disperde irradiandosi verso le diverse superfici.

I Backspatter sono causati dai gas compressi, che rimangono intrappolati tra la cute e le ossa e determinano l'espulsione di materiale biologico dal foro d'entrata.

I Backspatter si dividono in Microbackspatter (diametro < 0,5 mm) e in Macrobackspatter (diametro compreso tra 0,5 e 4 mm). Esistono spruzzi con un diametro inferiore a 0,1 mm, non visibili ad occhio nudo, che tendono ad asciugarsi e ad essere sparsi dalle correnti d'aria.

I Backspatter, per le loro piccole dimensioni, al punto da risultare spesso quasi atomizzate, dovranno essere indagati con l'ausilio di ingrandimento.

La distanza percorsa in volo per i microbackspatter varia tra i 0 – 69 cm, con un picco di massima presenza intorno ai 40 cm, mentre per i macrobackspatter la distanza può arrivare fino a 119 cm, e questi costituiscono di solito il 90 % dell'intera macchia.

Per quanto riguarda la forma, la presenza e la disposizione non si notano delle sostanziali differenze tra i forwardspatter e i backspatter, anche se i primi sono di solito più densi e disposti in maniera simmetrica, mentre nei secondi si può notare la presenza di materiale biologico diverso dal sangue (frammenti di osso o di tessuto).

Frequentemente i backspatter sono associati a colpi a contatto alla testa e hanno una dispersione caratteristica che ricorda una nebulizzazione e si irradiano dal foro d'entrata lungo la linea dello sparo (polsino, zona dorso-mediale della mano, braccio, canna dell'arma).



Tali proiezioni di sangue sono orientate verso la fonte di energia, in questo caso l'arma da fuoco, ed hanno una forma peculiare, che ricorda un vulcano.

La quantità di backspatter è influenzata dal tipo di arma e munizioni, dalla distanza del bersaglio, e dalle caratteristiche anatomiche del foro di ingresso.

Nel 1983, Stephens ed Allen hanno documentato i fattori che influenzano sperimentalmente la quantità di backspatter notando che il backspatter può essere completamente assente quando la distanza tra l'arma da fuoco e il bersaglio è ampia.

La quantità di spruzzo di sangue in avanti e indietro è inoltre è ridotta dall'effetto ostruente dei capelli e dei vestiti e dei copricapi indossati dalla vittima.