

Prot.: 225/C/2008-3701-U
Fasc.: 225/9D-BI-2007-28669

p.p. nr. 9066/07 RGNR della Procura della Repubblica di Perugia

- 6288

omicidio in danno di

KERCHER Meredith

BPA:
Analisi delle tracce di sangue

Analisi tecnico-scientifica

Direttore Tecnico Principale Fisico
dr. Francesco CAMANA

Servizio Polizia Scientifica
Sezione Indagini Balistiche

Indice generale

1. Descrizione del caso.....	3
1.0 Sopralluogo del 18 dicembre 2007.....	3
2. Premessa metodologica.....	5
2.0 Generalità.....	5
2.1 Esame delle tracce ematiche.....	6
2.2 Analisi della dinamica delle gocce di sangue.....	8
2.3 Analisi delle incertezze e della propagazione degli errori	10
2.4 Considerazioni sull'attrito dell'aria.....	11
3. Analisi geometrica: determinazione dell'area di convergenza (Convergence Area).....	12
3.0 Generalità.....	12
3.1 Risultati.....	12
4. Analisi fisica: determinazione dell'origine (Origin Volume).....	13
4.0 Generalità.....	13
4.1 Equazioni del moto.....	13
4.2 L'influenza dell'attrito nella dinamica della goccia.....	14
4.3 Procedura e risultati.....	15
5. Conclusioni.....	19
6. Bibliografia.....	22
7. Allegato 1: immagini.....	23
8. Allegato 2: tabelle e schede.....	33

1. Descrizione del caso

A seguito dell'omicidio di Kercher Meredith Cara veniva richiesto a quest'ufficio di effettuare uno studio delle tracce ematiche con la tecnica della BPA (Bloodstain Pattern Analysis) al fine di determinare alcuni elementi chiave della dinamica omicidiaria. In particolare si richiedeva di determinare l'altezza da cui potevano aver avuto origine alcuni spruzzi rinvenuti sull'anta dell'armadio della camera da letto in cui era stato rinvenuto il cadavere (immagini 1-3).

1.0 Sopralluogo del 18 dicembre 2007

In una prima fase dell'accertamento si è proceduto con l'analisi morfologica delle tracce ematiche presenti nella scena del crimine, al fine di determinare quelle che potessero essere utili ai fini ricostruttivi di BPA.

Generalmente, in tale fase, vengono escluse le tracce per colatura e per strisciatura che non forniscono informazioni utili relativamente al punto in cui è stato compiuto l'evento criminoso.

Sono invece le tracce proiettate quelle che permettono di effettuare calcoli finalizzati alla determinazione del punto di origine e quindi del punto spaziale dove si trovava la vittima al momento dell'omicidio.

L'analisi morfologica ha permesso di rilevare che la zona più interessata da tracce di sangue proiettate, e quindi di conseguenza quella più vicina al punto dell'omicidio, era quella in prossimità dell'angolo anteriore destro della stanza a ridosso dell'armadio.

In particolare, erano proprio le due ante dell'armadio quelle zone che erano maggiormente interessate dalla proiezione ematica; la parete destra della stanza, anche nella parte adiacente all'armadio, non aveva praticamente tracce.

Al momento del sopralluogo le due ante in questione erano state rimosse e posizionate nel corridoio d'accesso alla stanza stessa. Si è quindi proceduto al riposizionamento delle due ante ed al controllo che la posizione dell'armadio risultasse la stessa di quella documentata al momento del primo sopralluogo.

Il passaggio successivo è stato quello di rilevare, tra tutte le tracce presenti, quelle che avessero una forma ellittica. Sono infatti questo tipo di tracce che permettono di

Relazione tecnica di Analisi delle Tracce Ematiche

desumere con maggiore precisione il punto di origine, avendo mantenuto nella fase proiettiva la loro forma sferica per effetto delle forze di coesione molecolare.

Delle tracce presenti ne sono state ritenute significative 25, di seguito descritte nelle schede allegate; le tracce sono state evidenziate, fotografate e collocate spazialmente, al fine di effettuare una successiva ricostruzione tridimensionale.

2. Premessa metodologica

2.0 Generalità

L'analisi delle tracce ematiche rinvenute sulla scena del delitto può essere essenziale per la determinazione della dinamica dell'evento criminale. Affinché tale determinazione possa assumere valore in fase dibattimentale è necessario però inquadrare il metodo ed il processo di analisi in un quadro di leggi scientifiche universali.

Il metodo di studio delle tracce di sangue adottato dalla Sezione di Indagini Balistiche, segue questo processo:

1. Esame delle tracce ematiche
2. Analisi della dinamica delle gocce di sangue
3. Analisi delle incertezze delle misure

Risulterà chiaro da quanto segue che la metodologia riguarda nello specifico le gocce di sangue che hanno avuto un moto naturale e non tracce prodotte da sangue trasferito o pozze formatesi a seguito di colature di corpi a contatto, per le quali intervengono invece considerazioni non standard, ove l'analisi assume, caso per caso, caratteri specifici.

Fig.1: esempio di sangue trasferito

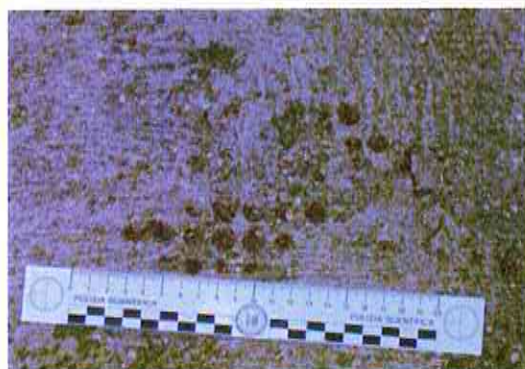


Fig.2: esempio di colatura a contatto e pozza

2.1 Esame delle tracce ematiche

La prima fase dello studio di un qualsivoglia fenomeno consiste nell'osservazione.

Nel caso dell'analisi delle tracce di sangue riscontrate sulla scena del crimine, il procedimento che ha portato alla loro produzione è *non osservabile*, perché già compiuto.

La posizione, la dimensione, la forma, l'orientamento delle macchie di sangue divengono quindi le sole informazioni disponibili per la ricostruzione della dinamica delle gocce che le hanno prodotte e sono quindi i parametri su cui si deve fondare il processo di ricostruzione della traiettoria e della determinazione del punto di origine.

Nel corso del sopralluogo e del rilievo specialistico si esaminano le tracce avendo particolare cura nel:

1. Individuare le tracce utili al procedimento di ricostruzione
2. Registrare la posizione precisa delle tracce rispetto a un riferimento fisso
3. Repertare fotograficamente le tracce

In merito all'ultimo punto si deve porre attenzione affinché l'asse ottico della fotocamera sia quanto più possibile coincidente con la retta perpendicolare alla macchia passante per il suo centro, di modo da minimizzare gli errori prospettici in fase di misurazione della stessa. Si avrà cura inoltre di visualizzare con un filo a piombo o altro mezzo la direzione ed il verso della forza di gravità. Questi accorgimenti sono essenziali per la correttezza e la precisione delle fasi successive.

In virtù della geometria ellissoidale della goccia di sangue in moto naturale, la traccia di sangue prodotta dall'impatto della stessa su di una superficie piana è grossomodo ellittica. È comunque spesso possibile ricondurla ad un'ellisse, con una certa approssimazione. Le immagini seguenti illustrano la fase dell'impatto.

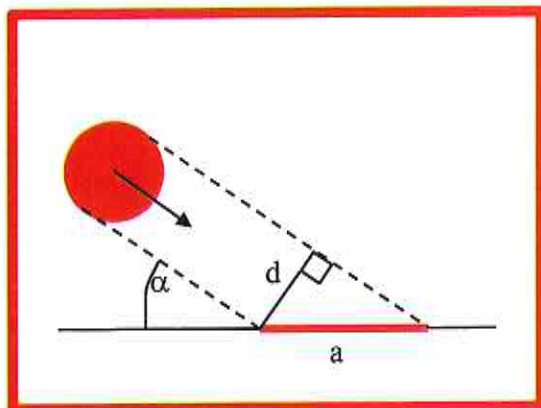


Fig.3: vista laterale dell'impatto di una goccia di sangue su un piano orizzontale

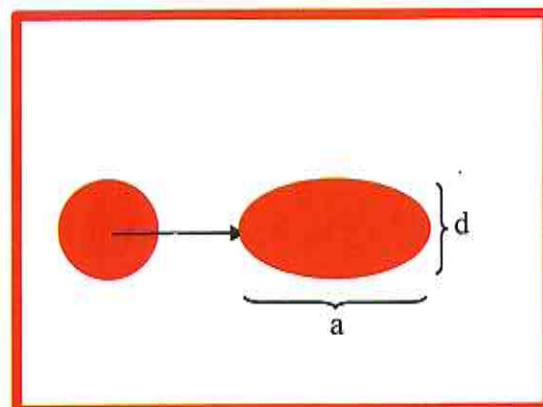


Fig.4: vista dall'alto dello stesso processo

La dimensione "d", corrispondente all'asse minore dell'ellisse, è indicativa del diametro della goccia e, specie per gocce piccole (diametro inferiore a 5 mm) e di velocità inferiore a 5m/s, può essere considerata valida la relazione $d = \text{diametro_goccia}$.

A proposito giova considerare che entro i limiti sopra definiti la goccia in moto può assumersi effettivamente sferica. I valori di "a" e "d" si possono stimare, con la relativa incertezza, a partire dalle fotografie effettuate in sede di sopralluogo.

Nel caso in cui il piano d'impatto sia una parete verticale, va misurato, sempre a partire dalle fotografie del sopralluogo, l'angolo ϕ tra la verticale e l'asse maggiore dell'ellisse, come illustrato nell'immagine seguente.

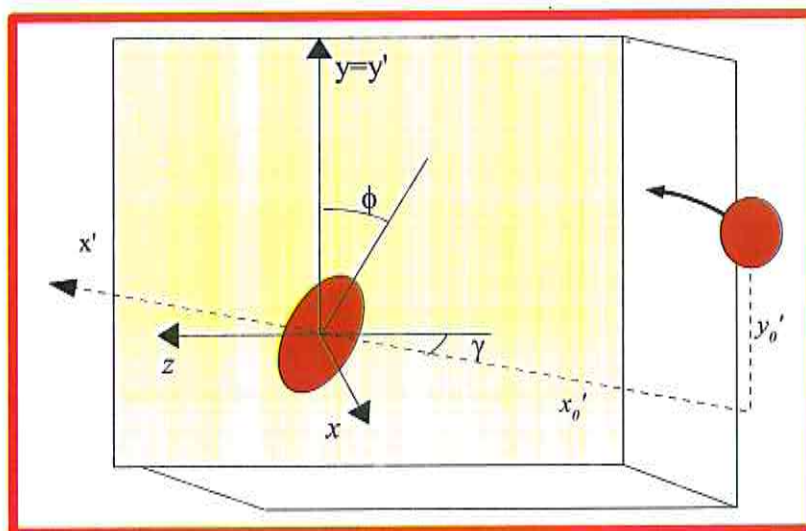


Fig. 5: vista prospettica dell'impatto con un piano verticale

2.2 Analisi della dinamica delle gocce di sangue

L'angolo α della Fig.3 è detto "angolo d'impatto"; il suo valore è essenziale per definire la traiettoria della goccia. A partire dai valori "a" e "d" degli assi dell'ellisse, α si può calcolare così (v. ad es. James & Eckert)

$$\alpha = \arcsen \frac{d}{a}$$

È bene ricordare che, in assenza di vento, e quindi di altre forze trasversali, il moto del baricentro della goccia avviene sotto la sola azione di forze di attrito viscoso e della forza di gravità. Agendo queste forze nella direzione della velocità istantanea e lungo la direzione verticale, rispettivamente, ne consegue che

Deduzione Logica 1 (D.L. 1): la traiettoria della goccia in moto naturale si sviluppa su un solo piano e più precisamente sul piano verticale che contiene il vettore della velocità iniziale.

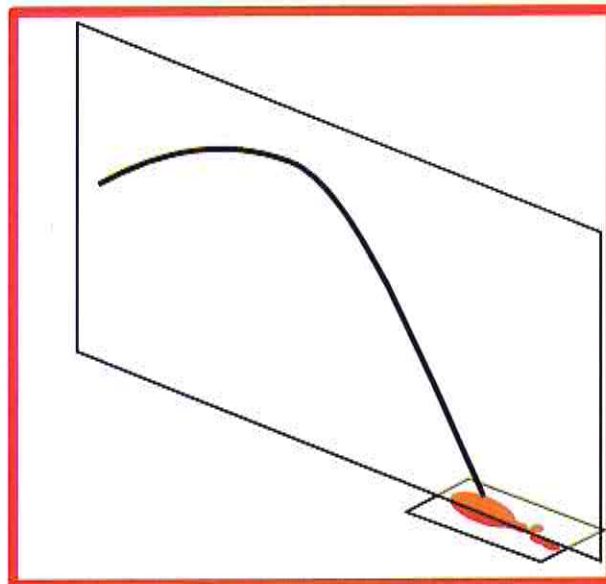


Fig. 6: il piano della traiettoria

Nel caso di piano d'impatto orizzontale, il piano della traiettoria è individuabile dalla verticale e dall'asse maggiore dell'ellisse. Se la traccia invece giace su un piano verticale, l'asse maggiore dell'ellisse non è in generale contenuto nel piano della traiettoria. Ciò è

vero solamente nel caso in cui il piano d'impatto sia perpendicolare al piano della traiettoria. A partire dai valori di "a", "d" e ϕ è possibile però individuare comunque il piano della traiettoria e l'angolo d'impatto rispetto al piano orizzontale.

Per quanto concerne invece la determinazione della traiettoria della goccia di sangue e del suo punto di origine va considerato quanto segue.

L'equazione del moto della goccia di sangue è un'equazione differenziale vettoriale del secondo ordine in uno spazio bidimensionale (il piano della traiettoria). La determinazione del punto di origine della traiettoria equivale alla soluzione del problema di Cauchy associato all'equazione del moto con le cosiddette condizioni al contorno (quali ad esempio velocità e posizione in un dato istante). Il problema è che per risolvere il sistema sono necessarie quattro condizioni al contorno, mentre generalmente sono solo due i vincoli a disposizione (le coordinate x ed y del punto di impatto).

Cionondimeno è spesso possibile stimare, anche euristicamente, alcune delle grandezze in gioco che possono definire le due condizioni al contorno mancanti. La valutazione di tali parametri e situazioni va però discussa caso per caso, non esistendo una semplice procedura teorica generale.

Nella figura seguente è illustrata una delle difficoltà che nasce dalle considerazioni qui appena esposte. Noto che sia l'angolo d'impatto rispetto all'orizzontale β , ognuna delle traiettorie rappresentate in trattini potrebbe a priori essere compatibile con la forma della traccia, a seconda della velocità della goccia stessa. Saranno necessarie considerazioni di altro tipo per affinare il campo di possibilità offerto dal metodo della forma della goccia (ad esempio dovrà esser nota la velocità iniziale o la quota di partenza o la velocità finale). Sono comunque situazioni che vanno singolarmente discusse e valutate in base alle evidenze o alle ipotesi investigative.

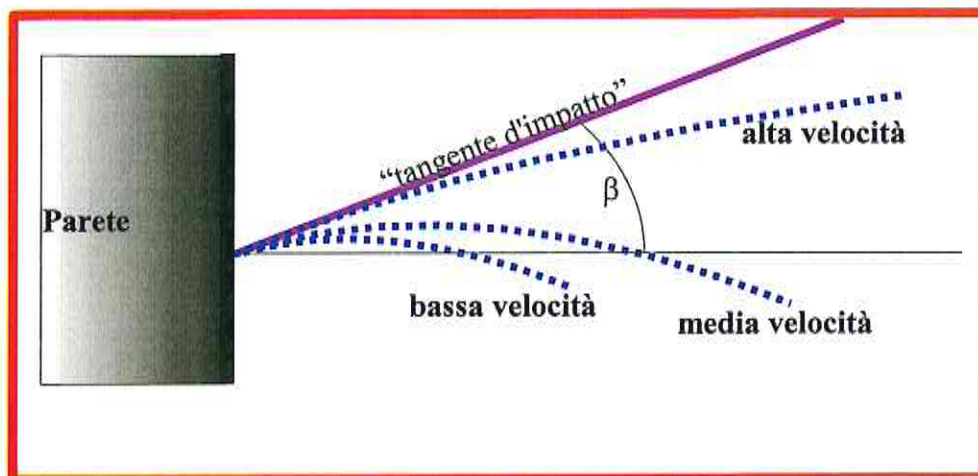


Fig. 6a: corrispondenza tra traiettorie e velocità

2.3 Analisi delle incertezze e della propagazione degli errori

L'analisi di un qualsivoglia fenomeno fisico, quando questa voglia essere considerata completa e sincera, non può prescindere da una trattazione precisa e codificata della propagazione degli errori.

Nell'ambito dello studio di un determinato fenomeno, la statistica dell'incertezza delle misure fisiche è essenziale per poter dare contenuto di riproducibilità e quindi di scientificità alle affermazioni frutto dello studio stesso. Lungi da essere un difetto, le incertezze sono il vero valore aggiunto dell'analisi scientifica; sono in effetti una misura del valore dell'analisi stessa.

In ragione di ciò, nel presente lavoro, accanto ad ogni misura verrà citato il relativo errore e al termine di ogni calcolo verrà presentata contestualmente anche l'incertezza relativa all'esito del calcolo stesso, come elaborata in base alla propagazione classica dell'errore statistico.

In concreto, data una funzione $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ nelle variabili indipendenti $x_1, x_2, \dots, x_n$, ciascuna misurata con la sua incertezza $\delta x_1, \delta x_2, \dots, \delta x_n$, si utilizzerà la relazione seguente per calcolare l'incertezza su $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$:

$$\delta f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \delta x_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \delta x_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \delta x_n^2}.$$

2.4 Considerazioni sull'attrito dell'aria

Sin qui nulla si è detto circa la legge di attrito adatta a definire la forza agente sulle gocce in moto. Invero, vanno considerate le seguenti affermazioni:

1. L'attrito dell'aria agisce nella direzione della velocità istantanea, ed in verso opposto alla stessa;
2. L'attrito è esclusivamente lineare nella velocità per velocità basse e diametro della goccia ridotto (numero di Reynolds $\ll 1$);
3. L'attrito è quadratico in regime turbolento, ossia quando il diametro della goccia è grande e la velocità elevata (numero di Reynolds > 1200);
4. L'effetto dell'attrito (misurabile dal rapporto $F_{\text{attrito}}/F_{\text{gravità}}$) è maggiore per le gocce più piccole
5. La velocità limite, che è la velocità raggiunta asintoticamente da una goccia in caduta libera, è funzione crescente del diametro della goccia

Nella sezione dedicata all'analisi fisica si discuteranno gli effetti dell'attrito.

3. Analisi geometrica: determinazione dell'area di convergenza (Convergence Area)

- 6299

3.0 Generalità

L'analisi geometrica costituisce la prima fase della lavorazione delle tracce ematiche ai fini della BPA.

L'analisi geometrica si sviluppa mediante il metodo della determinazione dell'angolo d'impatto, come indicato in premessa. Per i calcoli ci si è avvalsi del software AnTraGoS 1.0 (implementato dallo scrivente per il Servizio Polizia Scientifica), mentre per l'analisi delle immagini si è utilizzato il software Gimp 2.2. Per la ricostruzione 3D si è utilizzato il software Maya 4.5.

L'area di convergenza è definita come la porzione di superficie che è determinata dalla sovrapposizione della proiezione al suolo dei coni di impatto, ottenuti a partire dall'angolo d'impatto con la relativa incertezza statistica.

3.1 Risultati

L'analisi geometrica è riassunta nelle 25 schede allegate e nelle immagini 5-7.

L'area di convergenza si trova localizzata a 30 ± 7 cm dalla parete destra della stanza e a 33 ± 7 cm dalla base dell'armadio. È un'area di forma circolare, che contiene la proiezione a terra del punto di origine degli spruzzi ematici.

4. Analisi fisica: determinazione dell'origine (Origin Volume)

- 6300

4.0 Generalità

L'analisi fisica è complessa e prevede la ricostruzione delle traiettorie delle gocce di sostanza ematica, al fine di determinarne l'origine. Essa si basa sull'analisi geometrica e sulla stima della velocità di impatto della goccia sulla superficie di rinvenimento della traccia.

Per i calcoli ci si è avvalsi del software AnTraGoS 1.0 (implementato dallo scrivente per il Servizio Polizia Scientifica). Per la ricostruzione 3D si è utilizzato il software Maya 4.5.

4.1 Equazioni del moto

Le equazioni del moto, riferite ad una goccia che si muove sotto l'influsso di forze di attrito viscoso e di gravità sono (sia ϵ' il coefficiente di attrito):

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -\epsilon' \left(\frac{dx(t)}{dt} \right)^2 \quad \text{per la componente } x \text{ della velocità sul piano della traiettoria;}$$

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = -g - \epsilon' \left(\frac{dy(t)}{dt} \right)^2 \quad \text{per la componente } y \text{ della velocità (goccia in fase ascendente);}$$

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = -g + \epsilon' \left(\frac{dy(t)}{dt} \right)^2 \quad \text{per la componente } y \text{ della velocità (goccia in fase discendente).}$$

AnTraGoS calcola le componenti della velocità iterativamente. Dovendo ricostruire la traiettoria mediante dinamica inversa, dobbiamo invertire l'asse temporale (e quindi il verso delle componenti della velocità). Si ottengono così le seguenti relazioni:

$$v_x(t - \Delta t) = v_x(t) + \epsilon' \Delta t v_x(t)^2 \quad \text{per la componente orizzontale della velocità;}$$

$$v_y(t - \Delta t) = v_y(t) + g \Delta t + \epsilon' \Delta t v_y(t)^2 \quad \text{per la componente verticale della velocità (se } v_y(t) \geq 0 \text{);}$$

$$v_y(t - \Delta t) = v_y(t) + g \Delta t - \epsilon' \Delta t v_y(t)^2 \quad \text{per la componente verticale della velocità (se } v_y(t) < 0 \text{).}$$

L'intervallo temporale di integrazione è fissato in AnTraGoS in 0,01 ms.

4.2 L'influenza dell'attrito nella dinamica della goccia

- 6304

La forza di attrito F agente su una sfera di raggio r in moto con velocità v in un mezzo con viscosità η e densità ρ dipende da un parametro adimensionale detto numero di Reynolds $Re = \rho v d / \eta$. Per piccoli numeri di Reynolds, $Re \ll 1$, si trova (legge di Stokes):

$$F = 6\pi r \eta v.$$

All'aumentare del numero di Reynolds la legge di Stokes sottostima la forza di attrito, a causa delle perturbazioni dovute alla rapida variabilità locale. Per numeri di Reynolds superiori a circa 1200, queste perturbazioni assumono carattere turbolento e danno origine a una scia ricca di vortici. In questo regime per Re inferiore a 500 000 una buona approssimazione per la forza di attrito è data da:

$$F = 1/2 C_r S \rho v^2$$

Dove $S = \pi r^2$ è la sezione della sfera e C_r è detto "coefficiente di resistenza".

Notiamo alcune cose:

- 1) in regime turbolento ($Re > 1200$) la forza di attrito aumenta con il quadrato della velocità mentre nel cosiddetto regime laminare ($Re \ll 1$) la dipendenza è solo lineare;
- 2) il coefficiente di resistenza C_r è funzione del numero di Reynolds Re , secondo il grafico qui riportato.



Fig. 50: il grafico di C_r vs Re

Vediamo dunque come sia possibile valutare l'effetto dell'attrito:

Consideriamo una goccia di sangue di 1 mm di raggio ($=0.001$ m) che si muova con una velocità di 2 m/s. Otteniamo, per il numero di Reynolds

$$Re \approx 2 \cdot 0.001 / (1.6 \cdot 10^{-5}) = 125.$$

Con questo valore di Re otteniamo $Cr \approx 1$ (consideriamo solo la prima cifra significativa, in questo esempio). La forza di attrito pertanto vale in modulo

$$F_{att} = 1/2 Cr S \rho v^2 \approx 0.5 \cdot 1 \cdot (3.14 \cdot 0.001^2) \cdot 4 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ N}.$$

Per dare un confronto, la forza di gravità, per la stessa goccia vale

$$\begin{aligned} F_{grav} &= 9.8 m = 9.8 \cdot \rho \cdot 4/3 \cdot 3.14 \cdot r^3 \approx \\ &\approx 9.8 \cdot 1000 \cdot 4/3 \cdot 3.14 \cdot 0.001^3 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ N}, \end{aligned}$$

che è un valore circa 6-7 volte più grande.

Ripetiamo il calcolo per una goccia di sangue di 4 mm di raggio ($=0.004$ m) che si muova con una velocità di 1 m/s, come una di quelle del gruppo H-V 3. Otteniamo, per il numero di Reynolds

$$Re \approx 1 \cdot 1 \cdot 0.004 / (1.6 \cdot 10^{-5}) = 250.$$

Con questo valore di Re otteniamo $Cr \approx 0.7$. La forza di attrito pertanto vale in modulo

$$F_{att} = 1/2 Cr S \rho v^2 \approx 0.5 \cdot 0.7 \cdot (3.14 \cdot 0.004^2) \cdot 1 = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ N}.$$

La forza di gravità, per la stessa goccia vale

$$\begin{aligned} F_{grav} &= 9.8 m = 9.8 \cdot \rho \cdot 4/3 \cdot 3.14 \cdot r^3 \approx \\ &\approx 9.8 \cdot 1000 \cdot 4/3 \cdot 3.14 \cdot 0.004^3 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ N}, \end{aligned}$$

che è un valore circa 150 volte più grande.

La forza di Archimede si trascura, a questo livello di approssimazione, essendo la sua entità pari a circa l'1 per mille della forza di gravità.

4.3 Procedura e risultati

L'individuazione dell'esistenza dell'area di convergenza ha permesso di ipotizzare un'origine comune per le 25 tracce considerate. D'altronde la morfologia e la distribuzione

delle stesse concorda con quest'ipotesi. Per ricercare la quota di origine si è proceduto nel modo qui di seguito descritto.

A partire dalla quota 0 cm (pavimento), per intervalli successivi di 20 cm, si è ricercata con AnTraGoS la velocità iniziale delle 25 gocce. Di questi valori di velocità sono state calcolate le medie e le deviazioni standard.

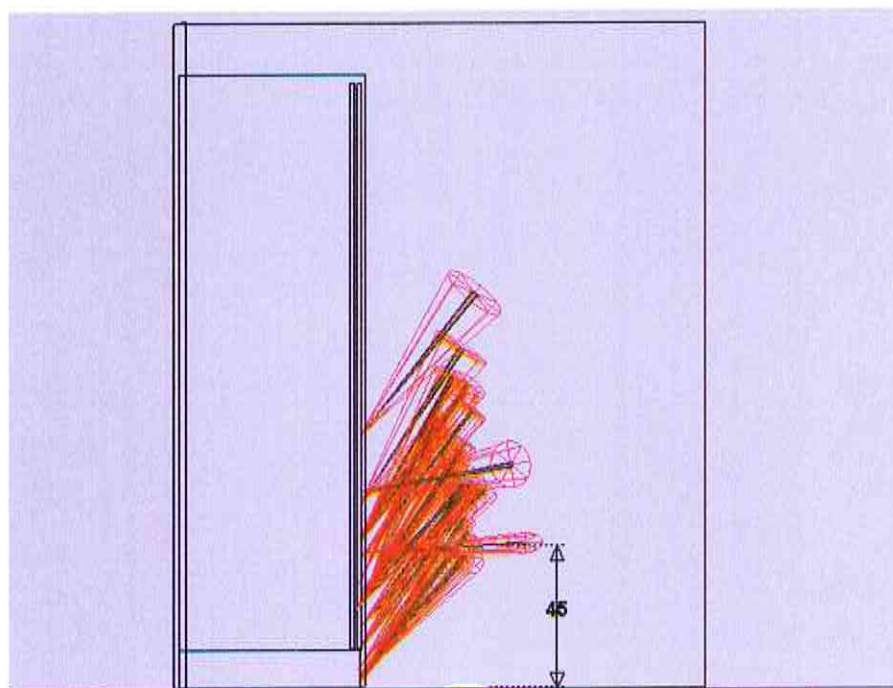
L'analisi fisica ha prodotto i risultati sintetizzati nella tabella 1, che riporta in colonna, di seguito:

- identificativo della traccia/goccia: ID_Goccia
- velocità della goccia nel caso di un origine all'altezza del pavimento: v_0 (m/s)
- velocità della goccia nel caso di un origine a 20 cm dal pavimento: v_{20} (m/s)
- velocità della goccia nel caso di un origine a 40 cm dal pavimento: v_{40} (m/s)
- velocità della goccia nel caso di un origine a 60 cm dal pavimento: v_{60} (m/s)

La tabella 1 è importantissima poiché fornisce i seguenti risultati:

1. 6 delle 25 gocce non possono avere avuto origine da una quota di 60 cm, ma di certo inferiore, dato che per esse non si è riuscita a calcolare una soluzione alle equazioni per la determinazione della velocità iniziale. Il dato non è interpretabile come deviazione statistica, in quanto almeno 4 di queste 6 gocce non danno una soluzione con nessuna delle traiettorie giacenti entro il cono d'errore dell'angolo di impatto
2. 2 delle 25 gocce non possono avere avuto origine da una quota di 40 cm, ma di certo inferiore, dato che per esse non si è riuscita a calcolare una soluzione alle equazioni per la determinazione della velocità iniziale. Il dato è interpretabile però come deviazione statistica, in quanto entrambe le gocce danno una soluzione con delle altre traiettorie giacenti entro il cono d'errore dell'angolo di impatto
3. La deviazione standard ha un minimo per v_{40} (m/s), il che suggerisce che la quota di 40 cm sia, tra quelle testate, la più probabile. È importante anche notare il valore molto grande che si ha per v_{60} (m/s): questo fatto, unito alle considerazioni del punto 1., è essenziale per escludere le quote superiori a 60 cm dal novero delle altezze probabili d'origine dello spruzzo. D'altronde questa affermazione concorda anche con la rappresentazione laterale degli angoli di impatto, ove si nota come

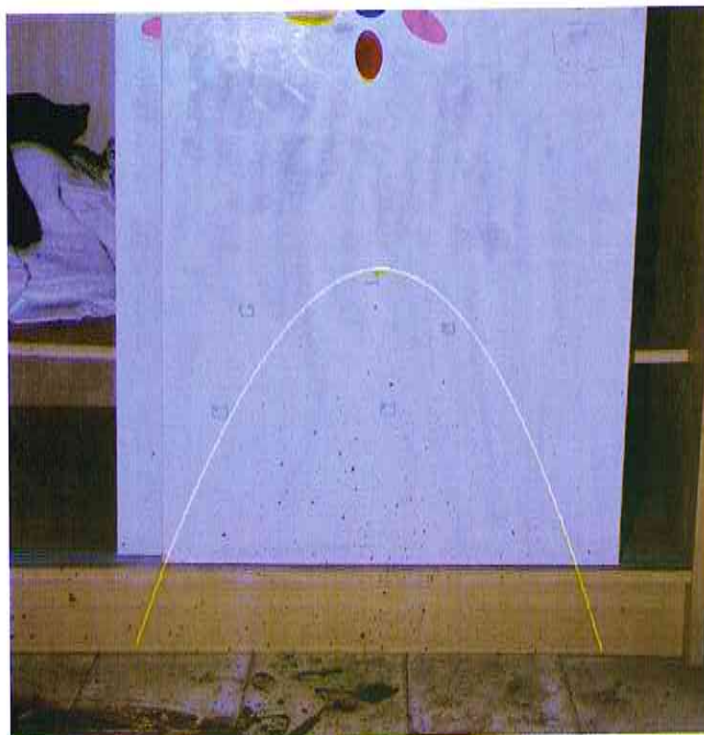
alcuni dei coni d'impatto intersechino la proiezione verticale dell'area di convergenza ad una quota di soli 45 cm. Anche considerando una situazione piuttosto dinamica (proiezione a quote successive dovute alla variazione di quota del corpo), cosa peraltro non evidenziata dalla distribuzione del sangue, le tracce non sarebbero compatibili con un'origine ad una quota di 60 cm.



Quota massima per la compatibilità geometrica

4. La deviazione standard è più alta anche per valori di 20 cm o 0 cm di quota iniziale. In tal senso è da intendere come ingiustificabile un'origine collocata a tali altezze. A sostegno di questa affermazione va anche il valore elevato di velocità calcolata per la traccia *BPA_1* da queste altezze. I valori di 4.4 e 4.2 m/s sono notevolmente discostati dai valori medi. Inoltre, la distribuzione delle tracce sul pavimento, la loro distanza dall'area di convergenza e la morfologia circolare delle stesse è spiegata solamente da un'ipotesi di sorgente rivolta verso il pavimento o verso il soffitto; nell'ipotesi di una sorgente sul pavimento o a 20 cm di quota, risulta inspiegabile l'assenza di tracce ellittiche sul pavimento, ad una certa distanza dall'area di convergenza.
5. La velocità iniziale media è minima per la quota di 40 cm. Il suo valore di 2.3 m/s è

compatibile con un evento di tipo *low velocity impact spatter*, a bassa velocità di impatto (esempio lesione con coltello e proiezione a bassa velocità).



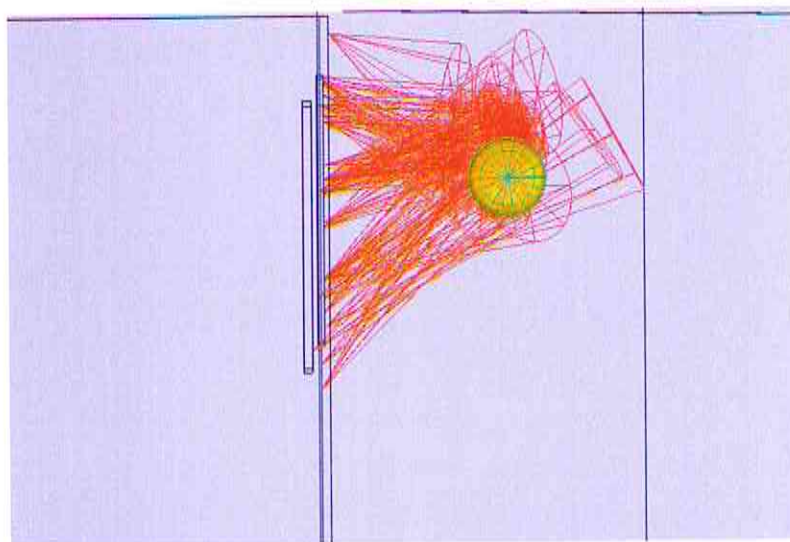
Approssimazione parabolica della distribuzione

La parabola raffigurata nell'immagine precedente include oltre il 90% delle tracce presenti sull'armadio. Il rapporto tra l'altezza e la larghezza della stessa suggerisce una velocità d'impatto inferiore a 2 m/s, compatibile con il valore iniziale di 2.3 m/s, tenuto conto delle forze di attrito.

L'origin volume è raffigurato nelle immagini 8-13.

5. Conclusioni

La proiezione del gruppo di macchie presenti sull'armadio della stanza in cui è rinvenuto il cadavere (di cui le 25 analizzate sono un campione) trova un'area di convergenza in un punto situato a 30 ± 7 cm dalla parete destra della stanza e a 33 ± 7 cm dall'armadio. Quest'area di convergenza, determinata con metodi geometrici, ha una confidenza statistica superiore al 65%.



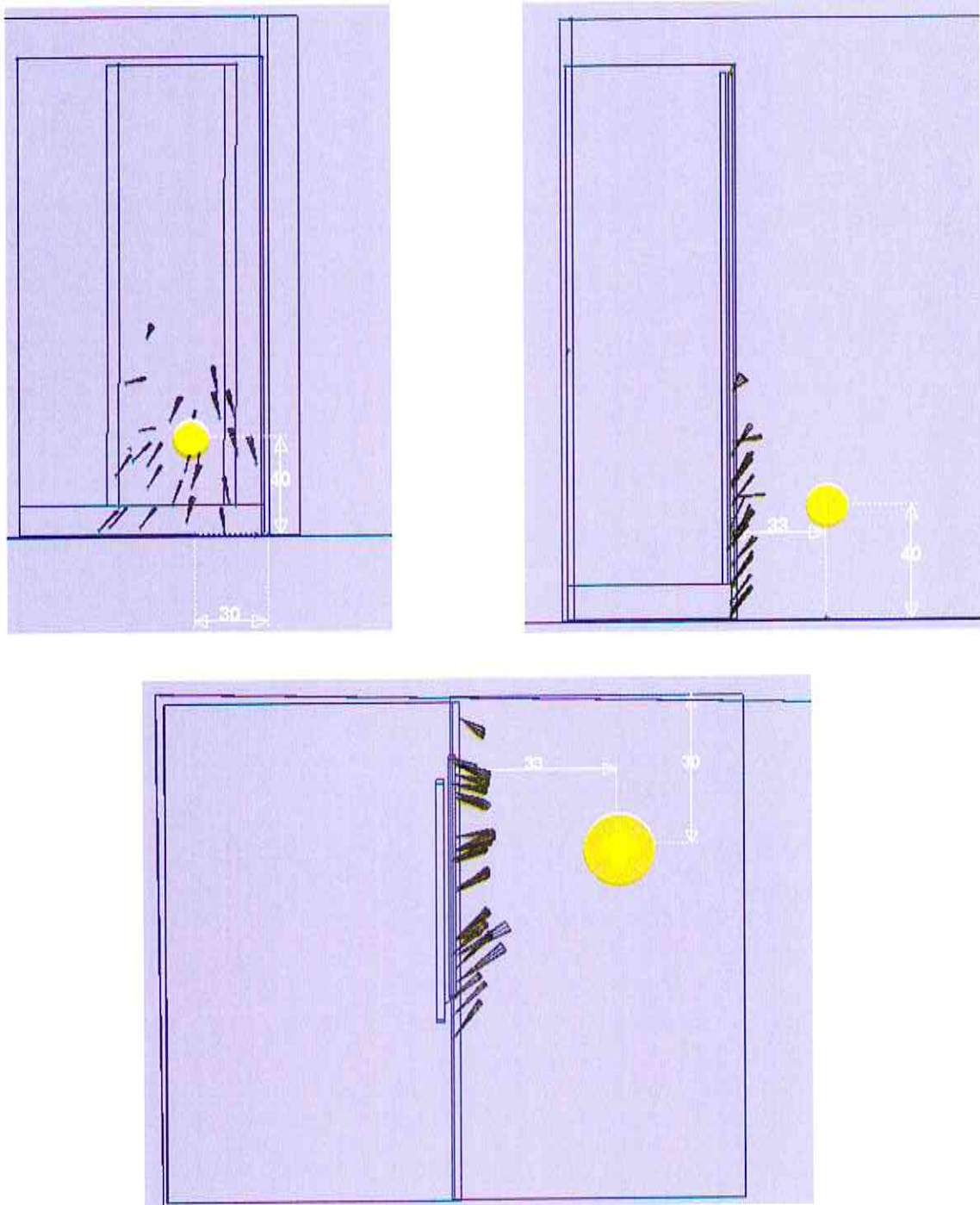
Covergence area

Le tracce ematiche hanno avuto origine da una proiezione di tipo *low velocity impact spatter*, a bassa velocità di impatto, compatibili con una proiezione diretta dalla lesione patita dalla vittima.

L'analisi di tipo fisico ha potuto evidenziare come una quota di circa 40 cm dal pavimento sia l'altezza più probabile per la proiezione, in virtù della minima deviazione statistica riscontrata nei valori delle velocità iniziali delle gocce.

L'assenza di aree d'ombra definite e la distribuzione non omogenea delle tracce suggerisce anche che le stesse possono essere state generate a seguito di un'azione moderatamente dinamica, ad esempio con la vittima che stava cadendo al suolo. In tale contesto dinamico anche il cono di proiezione delle tracce risulta molto ampio, per effetto

una certa mobilità del capo e dell'orientamento spaziale variabile della lesione prima del termine del fenomeno proiettivo.



Origin volume

In virtù della mobilità della vittima e della copiosità della proiezione sono ipotizzabili diverse situazioni. Tre delle ipotesi compatibili con l'analisi qui presentata sono di seguito descritte.

Prima ipotesi: In una fase iniziale la vittima è distesa supina, col busto sollevato e la testa piegata all'indietro, come ad arretrare in posizione difensiva (le immagini 14-15 raffigurano questa prima fase). La fase seguente della dinamica implica un arretramento ed una rotazione del busto verso destra. In quest'ipotesi la vittima ha di fronte l'aggressore.

Seconda ipotesi: la vittima è inizialmente distesa prona, col busto sollevato e il volto rivolto all'armadio (le immagini 16-17 raffigurano questa prima fase). In una fase seguente la vittima cade (o è lasciata cadere) a terra. In questo scenario la vittima ha l'aggressore alle spalle.

Terza ipotesi: come nella seconda ipotesi, solo che la vittima non poggia inizialmente il bacino a terra, ma è sollevata sulle ginocchia (le immagini 18-19 raffigurano questa fase). Questo scenario riesce a spiegare meglio degli altri due alcune delle tracce presenti sul pavimento.

In tutti i casi, le tracce di strisciamento presenti sul pavimento lasciano intendere che la vittima si sia trascinata o sia stata trascinata, fino al punto di rinvenimento.

Il Dir. Tec. Princ. Fisico della PolStato

Francesco dr. CAMANA



6. Bibliografia

1. JAMES S.H., ECKERT W.G., **"Interpretation of bloodstain evidence at Crime Scenes"** - second edition, CRC PRESS, 1993
2. CAMANA F., **"Studio di fattibilità di un sistema per l'analisi delle macchie di sangue individuate sulla scena del crimine basato sull'esame, anche di natura statistica, della loro morfologia, della loro distribuzione e del loro andamento, finalizzato alla determinazione della dinamica di un evento criminale"**, MINISTERO DELL'INTERNO - ISTITUTO SUPERIORE DI POLIZIA, 2004
3. TAYLOR J.R., **"Introduzione all'analisi degli errori"**, ZANICHELLI, 1986

7. Allegato 1: immagini



Immagine 1: La scena del crimine dopo la rimozione del cadavere



Immagine 2: Le tracce sul pavimento nei pressi dell'armadio



Immagine 3: Le tracce sull'armadio



Immagine 4: Rilevazione delle tracce

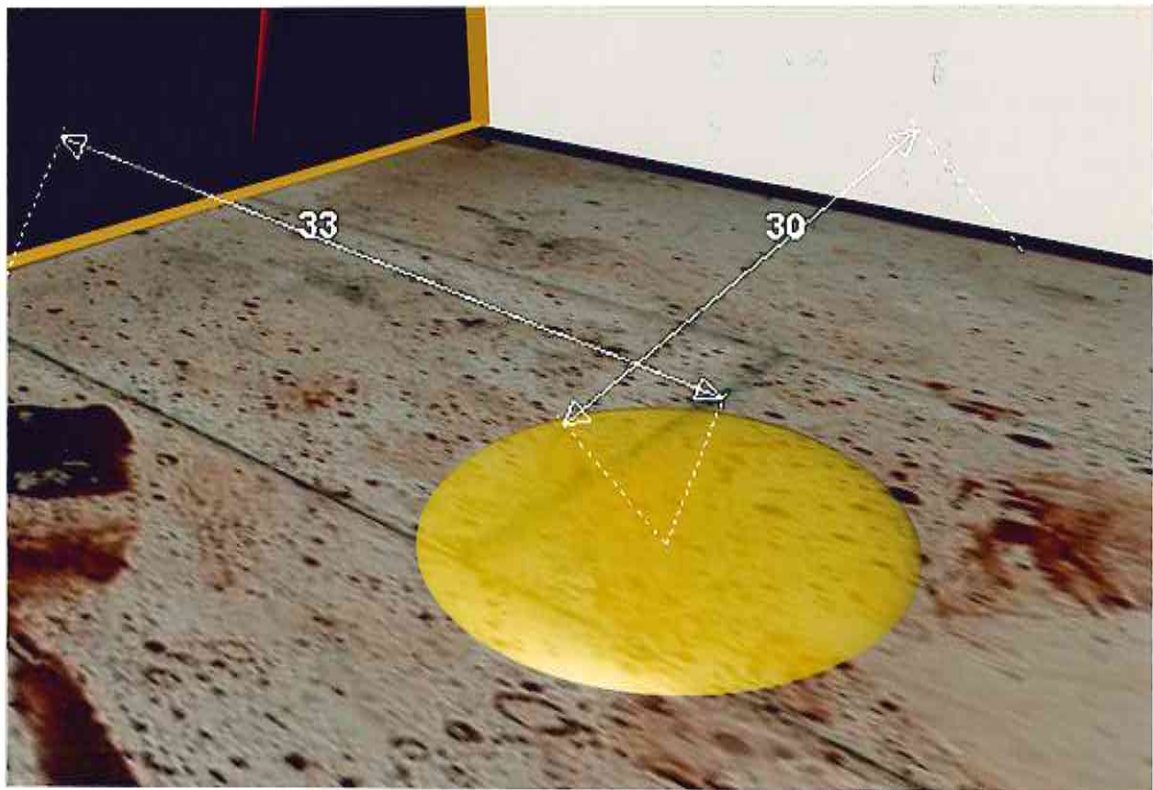


Immagine 5: Convergence area (1)



Immagine 6: Convergence area (2)



Immagine 7: Convergence area (3)



Immagine 8: Origin volume (1)



Immagine 9: Origin volume (2)

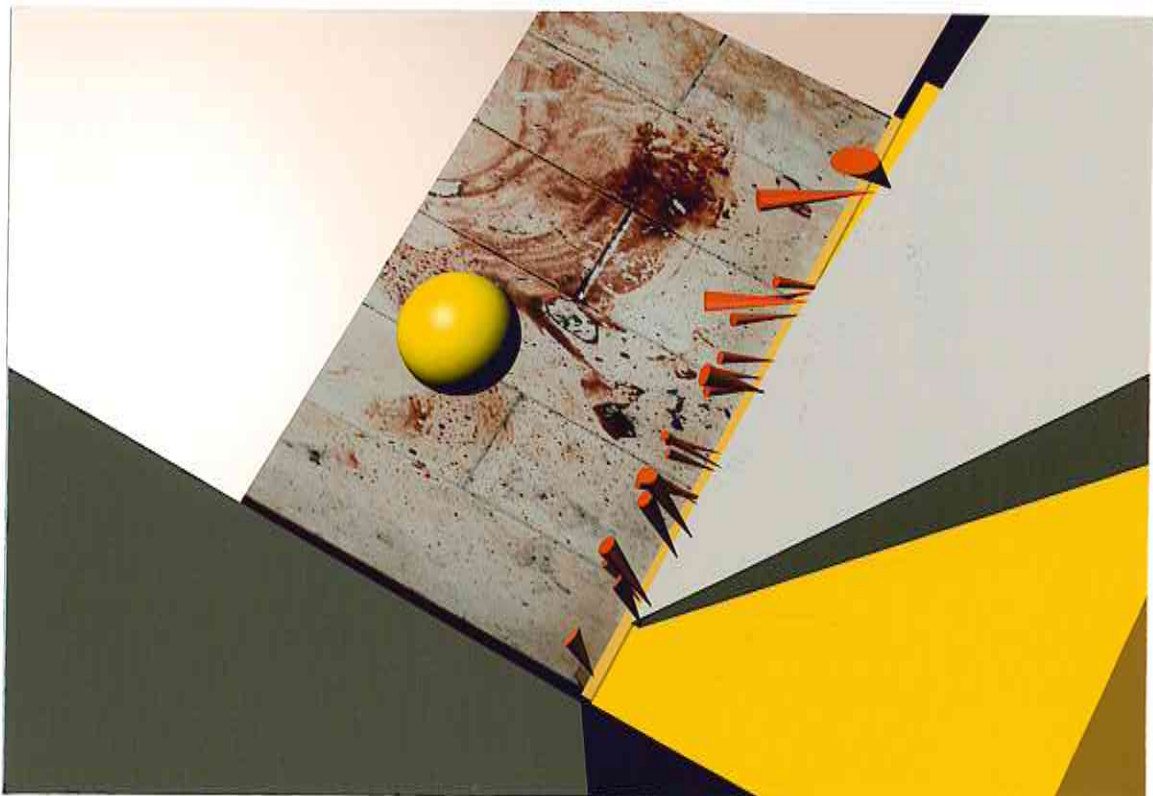


Immagine 10: Origin volume (3)



Immagine 11: Origin volume (4)

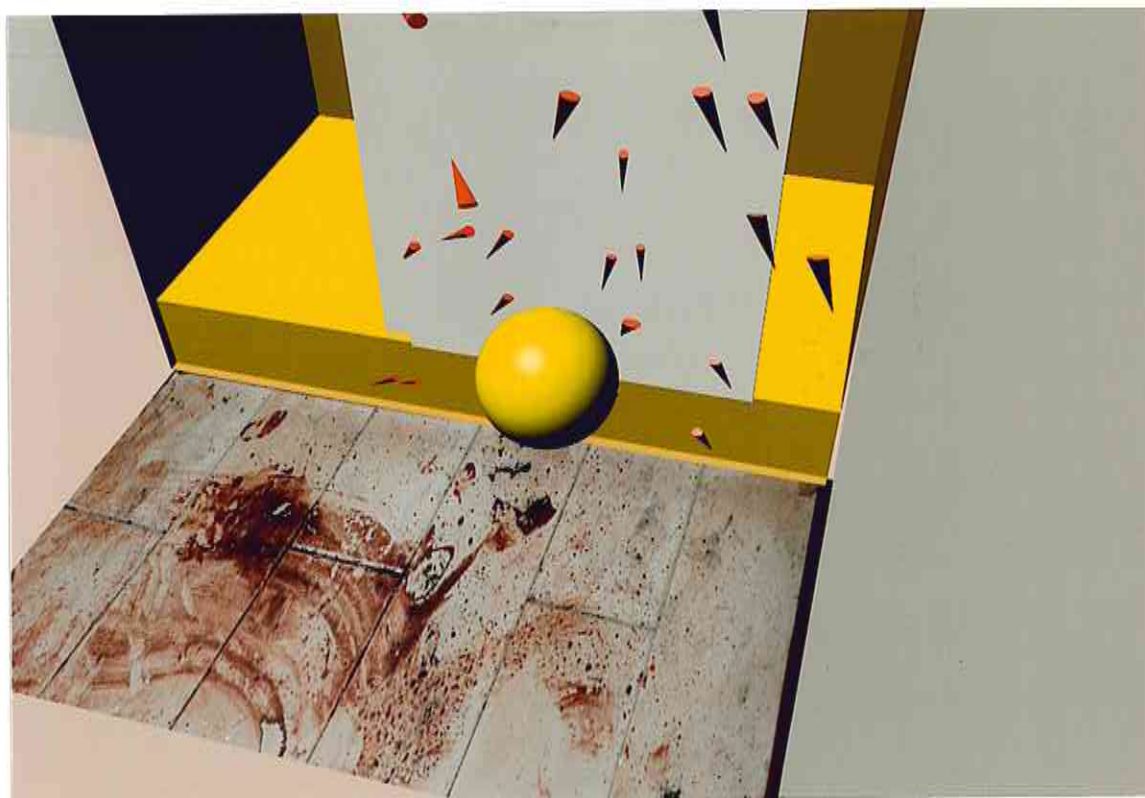


Immagine 12: Origin volume (5)

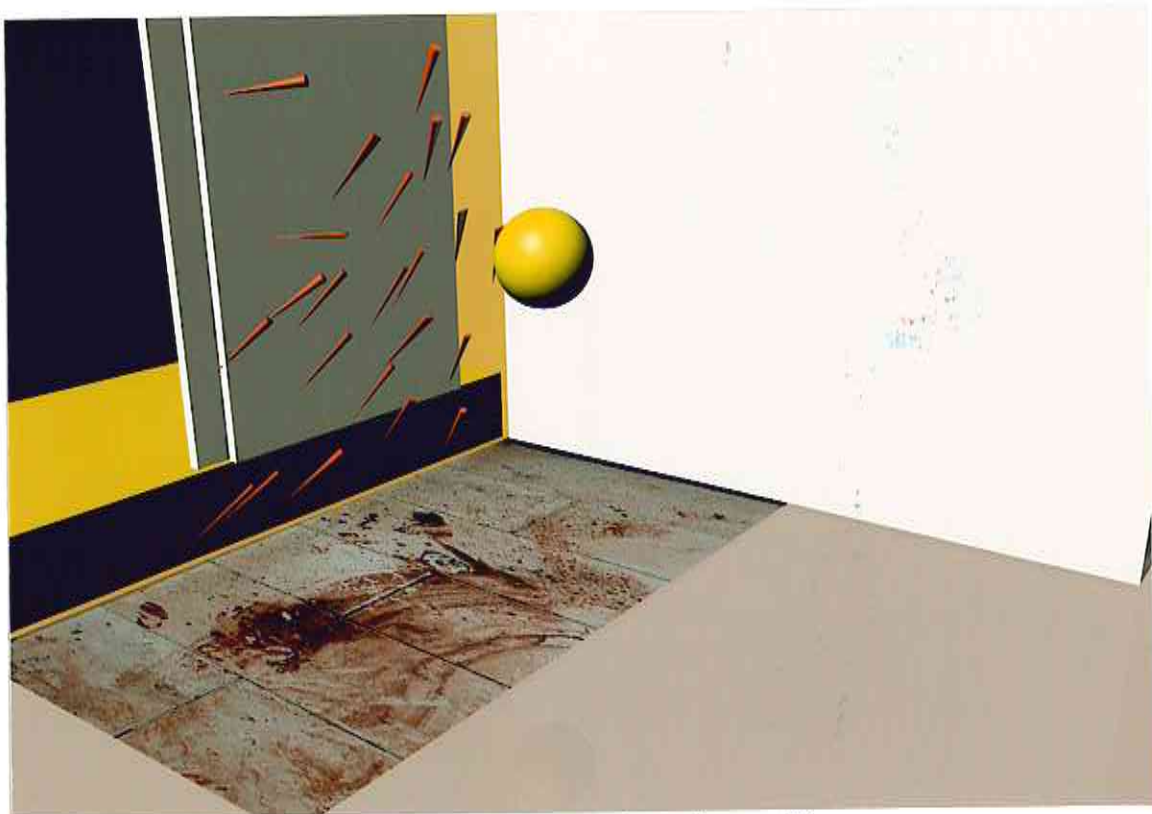


Immagine 13: Origin volume (6)

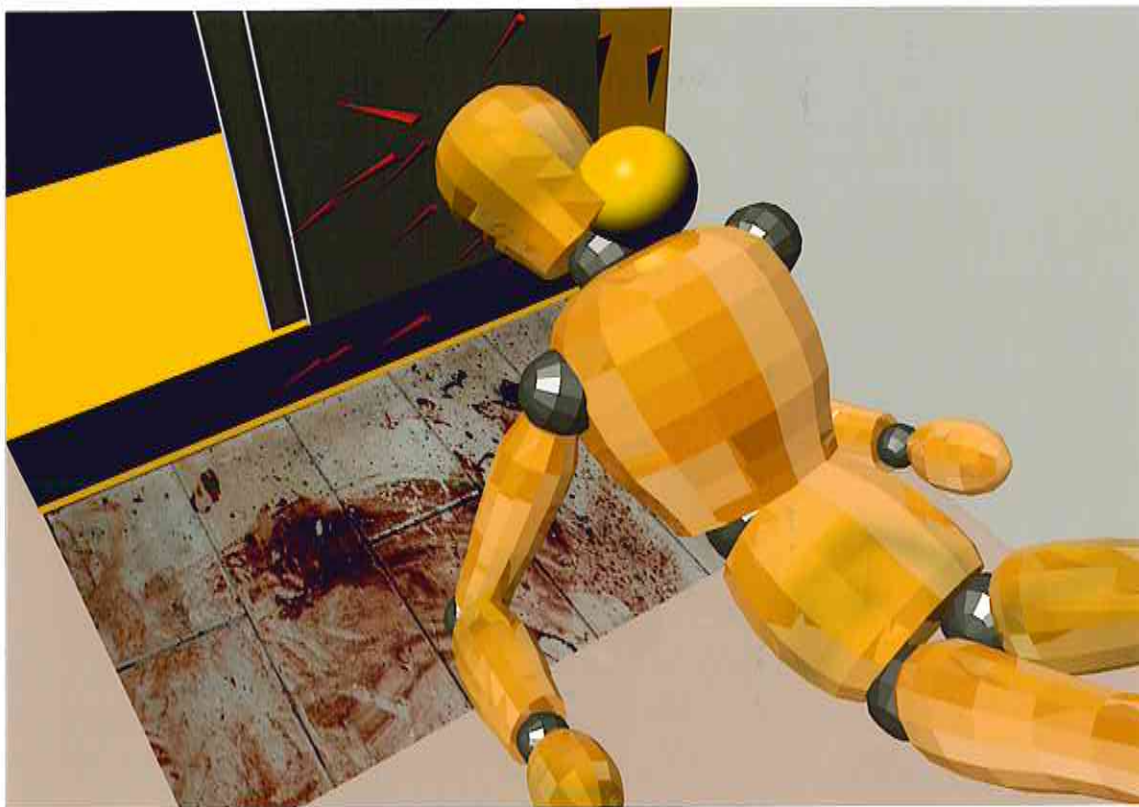


Immagine 14: Ipotesi di dinamica 1

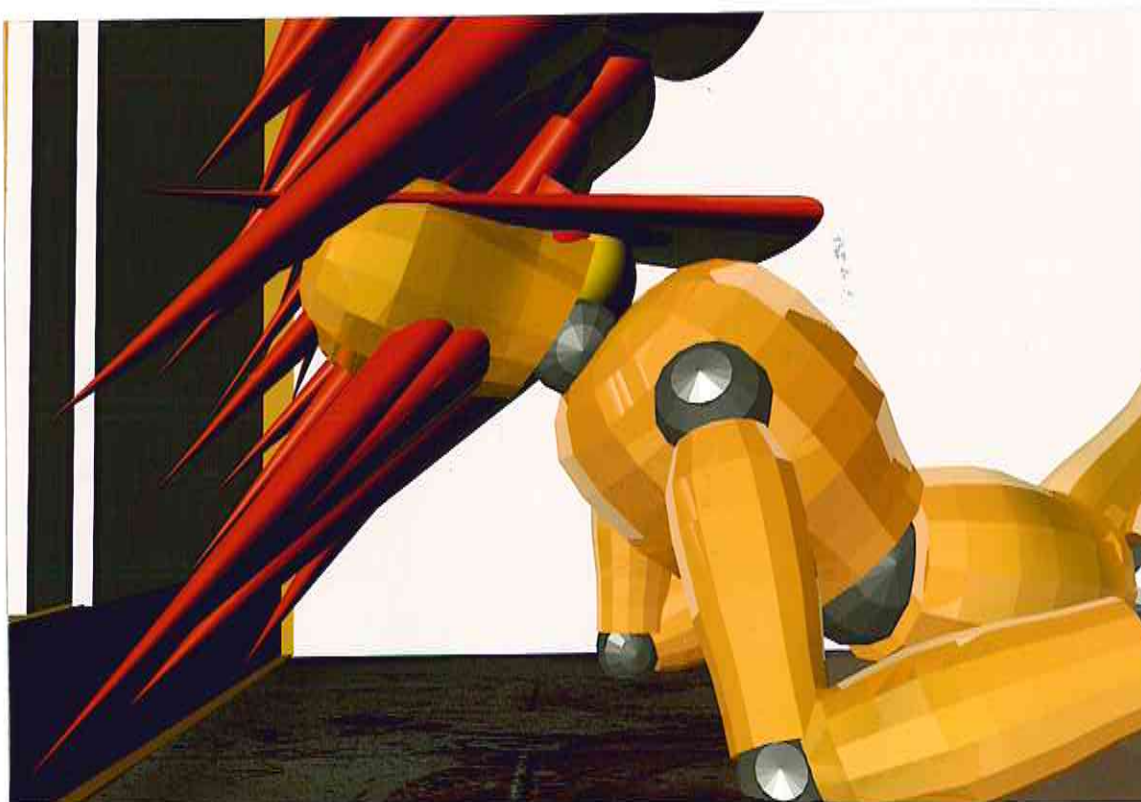


Immagine 15: Ipotesi di dinamica 1: altra prospettiva

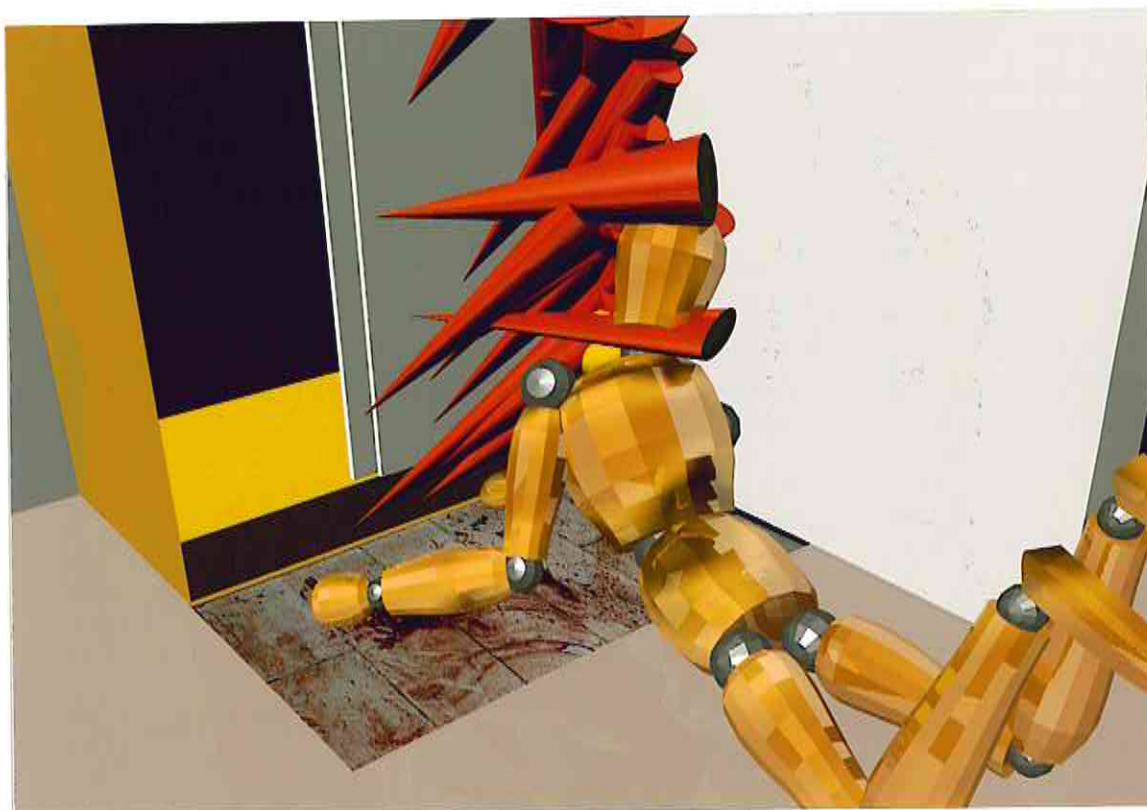


Immagine 16: Ipotesi di dinamica 2

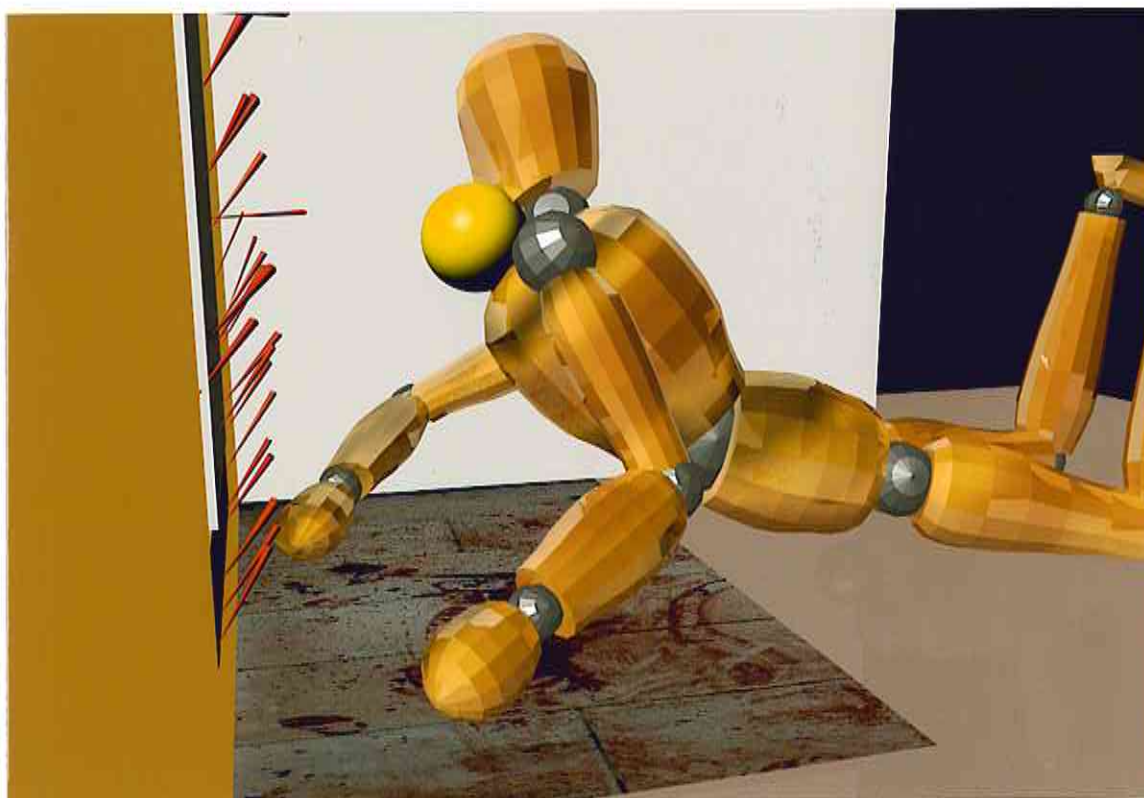


Immagine 17: Ipotesi di dinamica 2: altra prospettiva

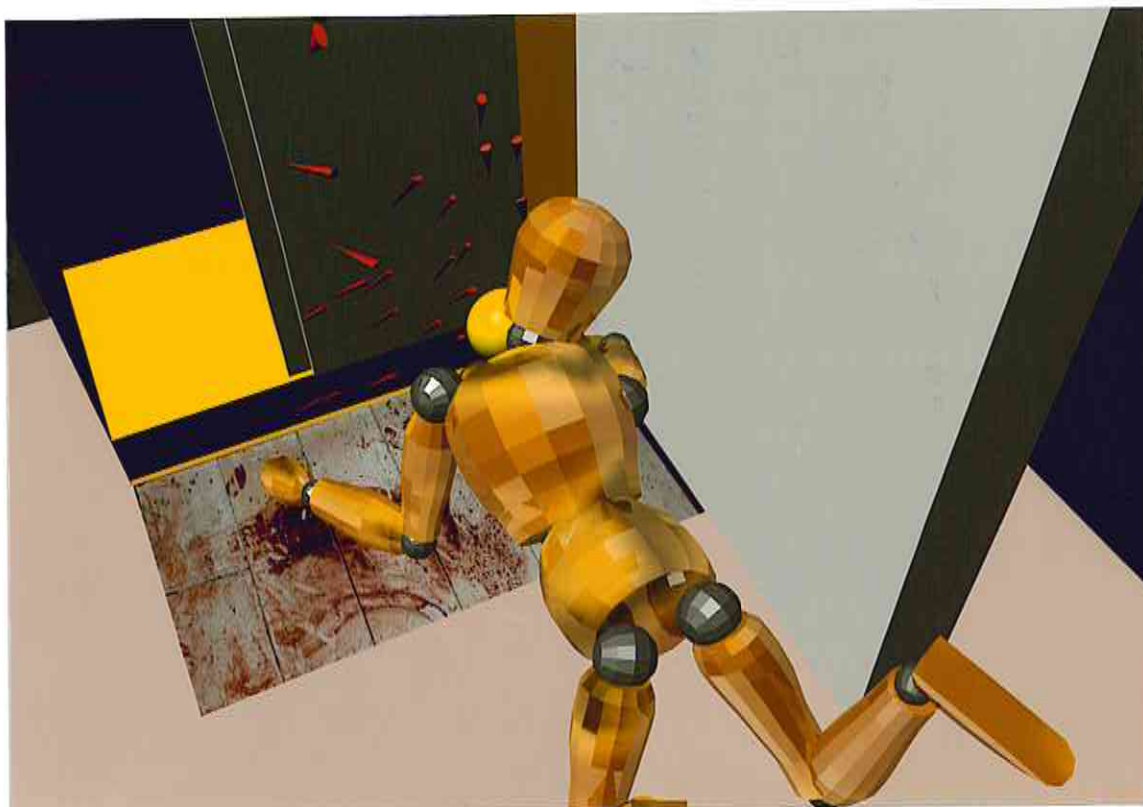


Immagine 18: Ipotesi di dinamica 3

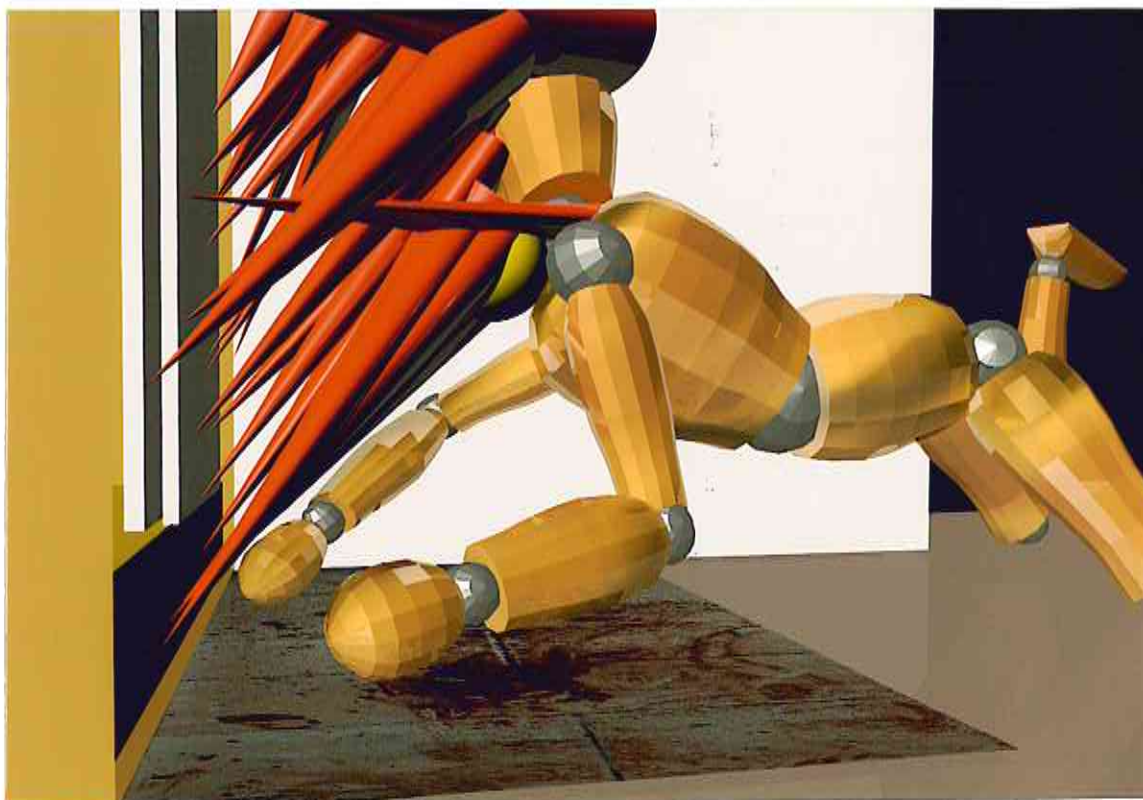


Immagine 19: Ipotesi di dinamica 3: altra prospettiva

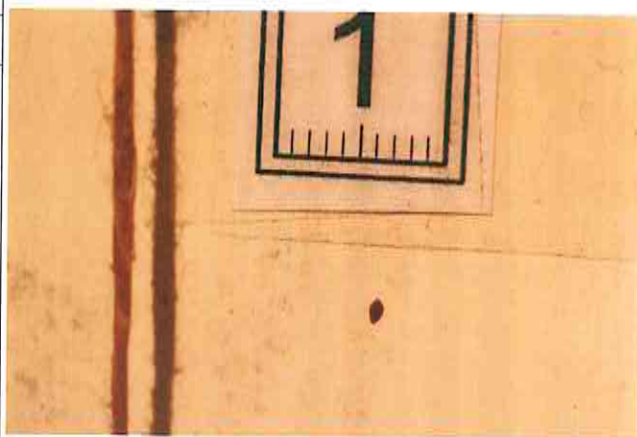
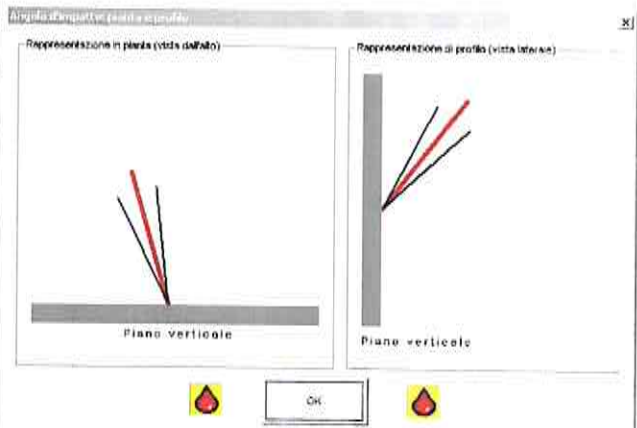
8. Allegato 2: tabelle e schede

Tabella1 : calcolo della velocità iniziale

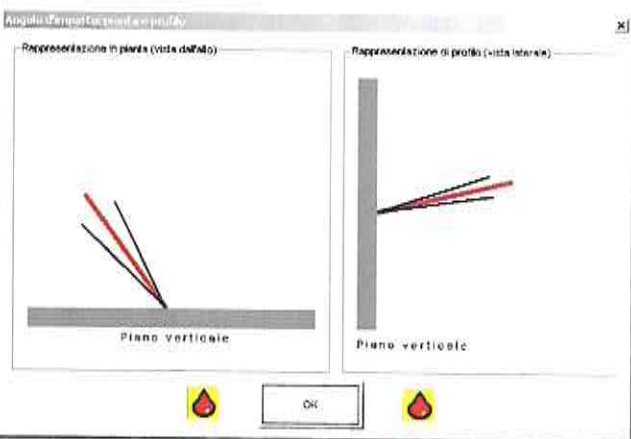
ID_Goccia	v_0 (m/s)	v_20 (m/s)	v_40 (m/s)	v_60 (m/s)
BPA_1	4,4	4,2	3,5	2,7
BPA_2	4,2	3,5	2,9	3,5
BPA_3	5,3	4,1	3,2	2,3
BPA_4	4,5	3,6	2,7	2,0
BPA_5	4,9	3,6	2,8	2,1
BPA_6	3,9	3,0	2,3	1,7
BPA_7	3,8	2,8	2,1	1,7
BPA_8	3,6	2,9	2,2	1,6
BPA_9	3,3	3,0	N.C.	N.C.
BPA_10	3,7	2,9	2,2	1,4
BPA_11	3,6	3,0	2,3	1,5
BPA_12	3,5	2,8	2,0	1,5
BPA_13	3,2	2,2	1,6	1,8
BPA_14	2,7	2,0	1,7	3,4
BPA_15	3,1	2,3	1,9	1,7
BPA_16	2,6	1,9	2,0	N.C.
BPA_17	2,3	1,7	1,6	5,2
BPA_18	2,5	1,8	1,6	3,9
BPA_19	4,0	3,2	2,2	1,6
BPA_20	3,0	2,3	1,9	2,9
BPA_21	2,3	2,0	2,1	4,5
BPA_22	2,2	2,0	2,7	N.C.
BPA_23	2,1	1,8	N.C.	N.C.
BPA_24	2,1	1,5	2,4	N.C.
BPA_25	2,1	1,7	3,1	N.C.

MEDIA m/s	3,32	2,63	2,3	2,47
DEV STD m/s	0,93	0,78	0,53	1,13

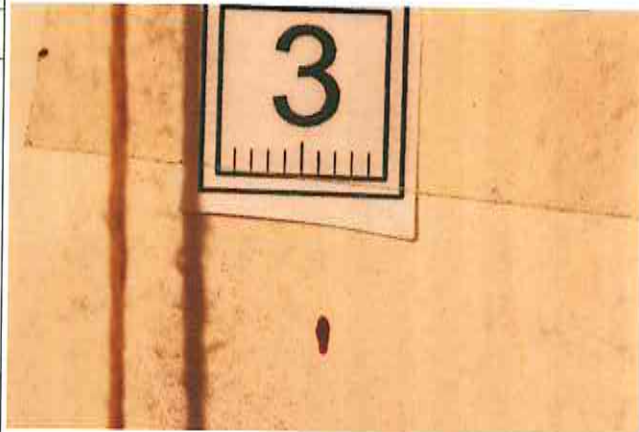
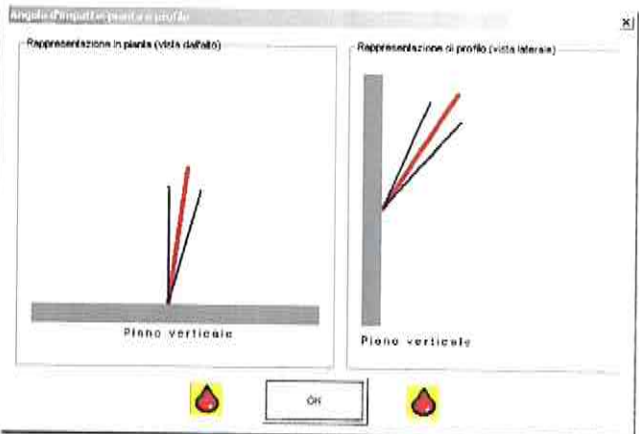
Goccia n. 1

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	82 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	48 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	0.8 ± 0.1	<i>Rappresentazione dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	1.3 ± 0.3	
Inclinazione (°)	13 ± 7	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	74° ± 10°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	51° ± 10°	

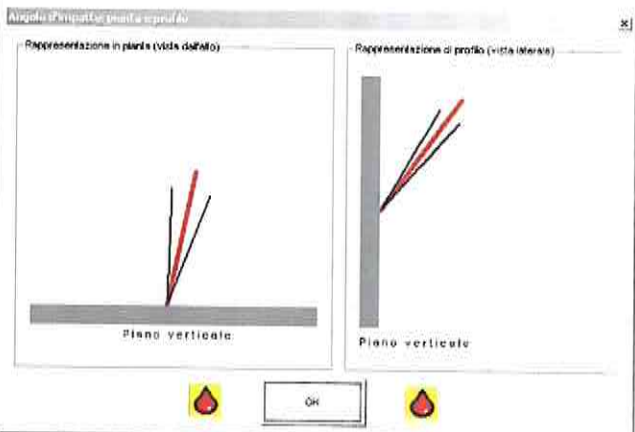
Goccia n. 2

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	63 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	56 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.0 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	1.3 ± 0.1	
Inclinazione (°)	73 ± 8	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	54° ± 10°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	10° ± 7°	

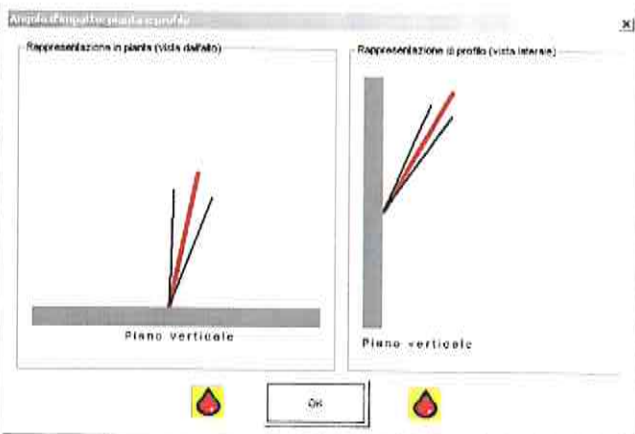
Goccia n. 3

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	59 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	19 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	0.7 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	1.4 ± 0.3	
Inclinazione (°)	-5 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	98° ± 8°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	57° ± 9°	

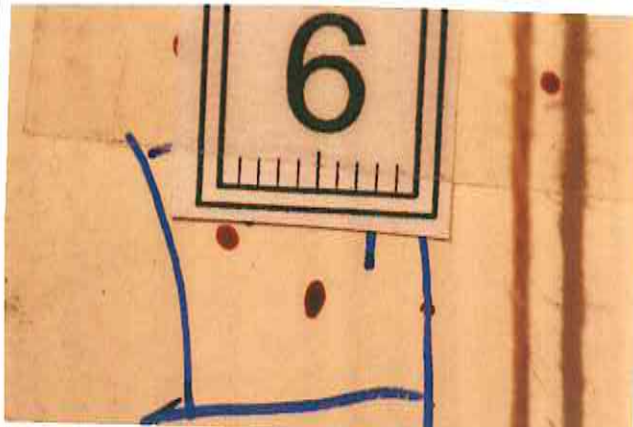
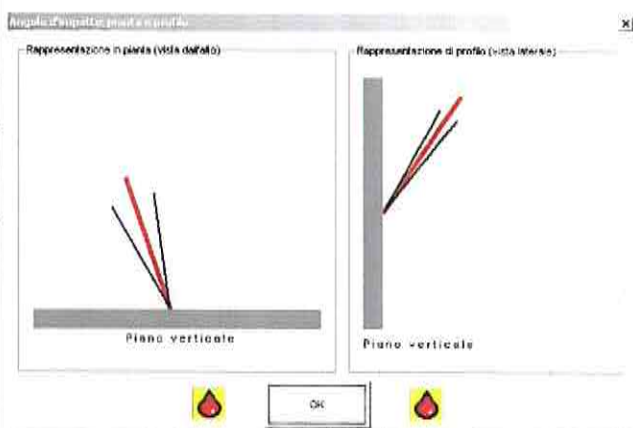
Goccia n. 4

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	50 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	13 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	0.8 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	1.4 ± 0.2	
Inclinazione (°)	-9 ± 7	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	102° ± 10°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	54° ± 6°	

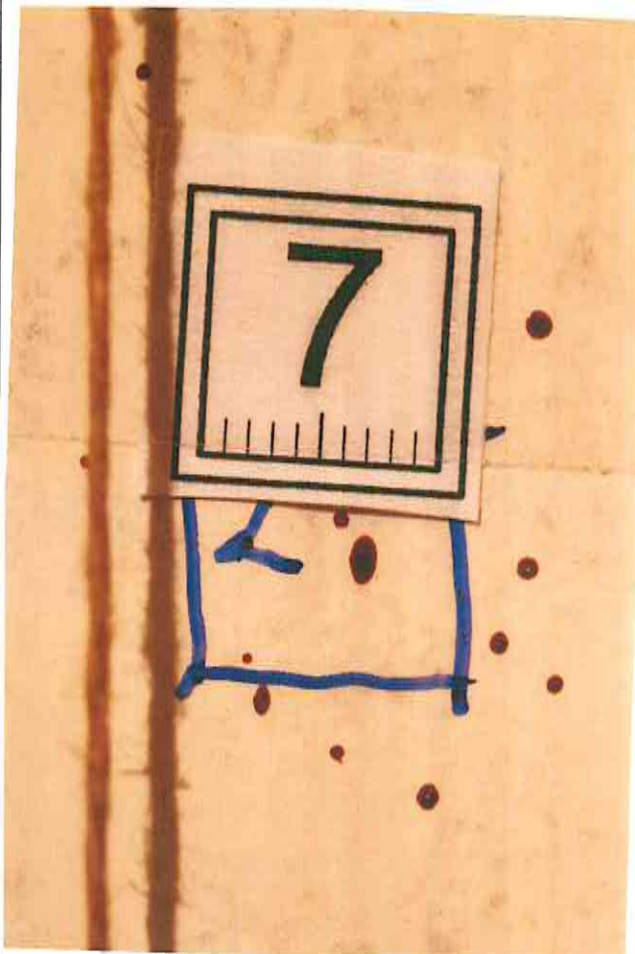
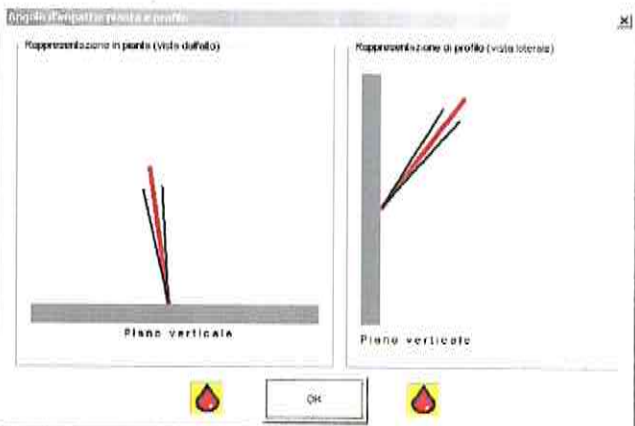
Goccia n. 5

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	49 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	18 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	0.8 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	1.6 ± 0.3	
Inclinazione (°)	-7 ± 6	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	102° ± 10°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	60° ± 6°	

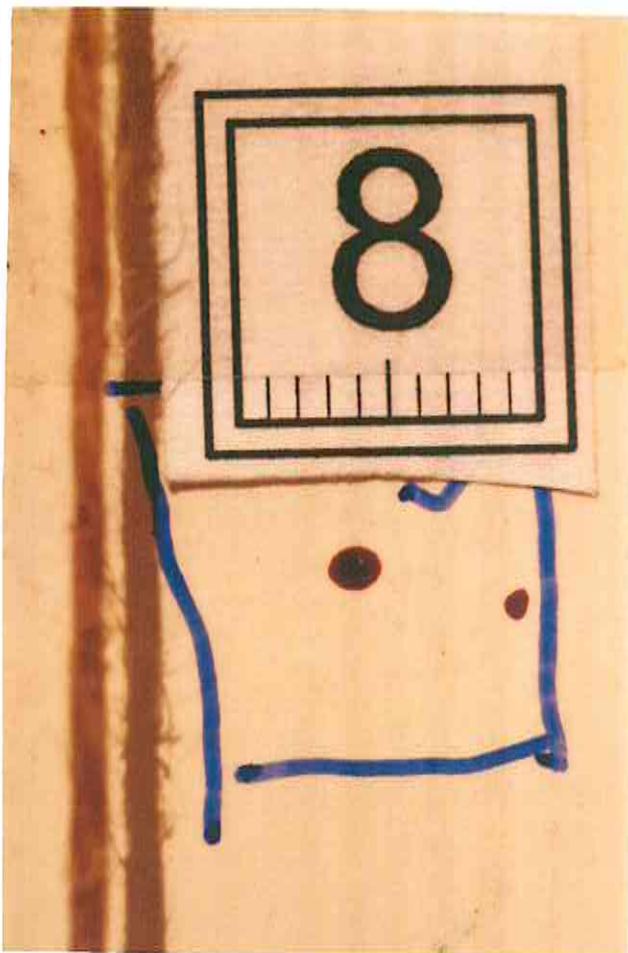
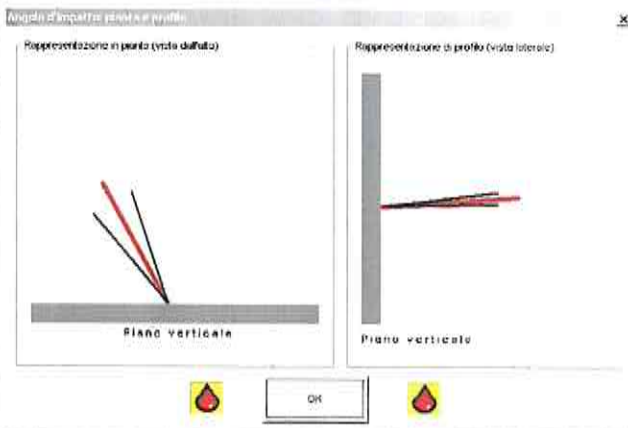
Goccia n. 6

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	47 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	38 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.0 ± 0.1	<i>Rappresentazione dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	1.8 ± 0.2	
Inclinazione (°)	13 ± 8	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	71° ± 11°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	55° ± 5°	

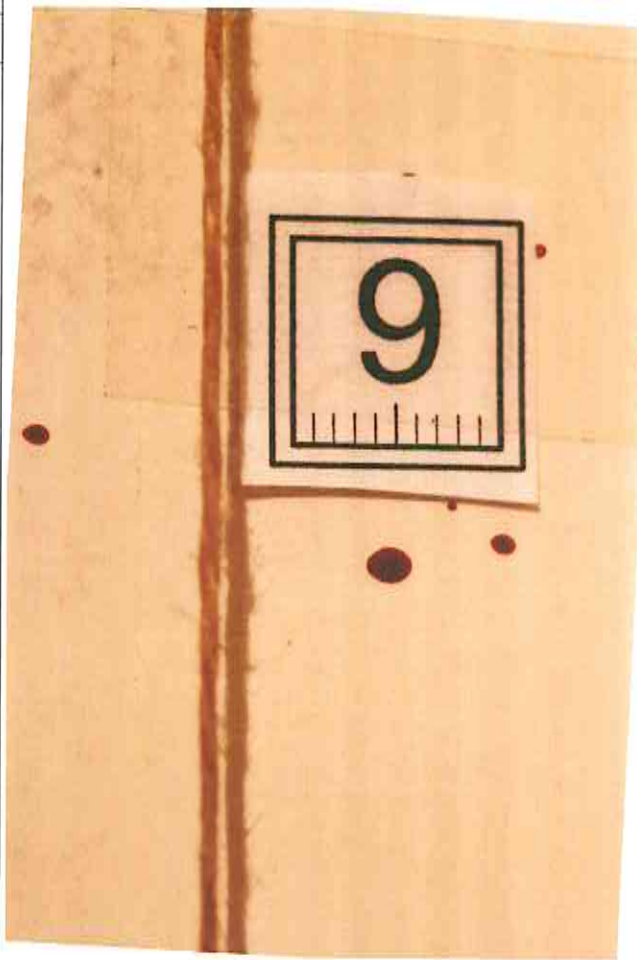
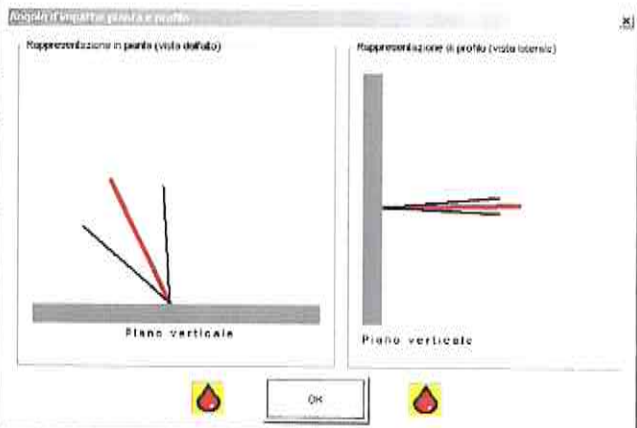
Goccia n. 7

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	42 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	30 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.1 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	1.9 ± 0.2	
Inclinazione (°)	6 ± 4	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	82° ± 5°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	53° ± 5°	

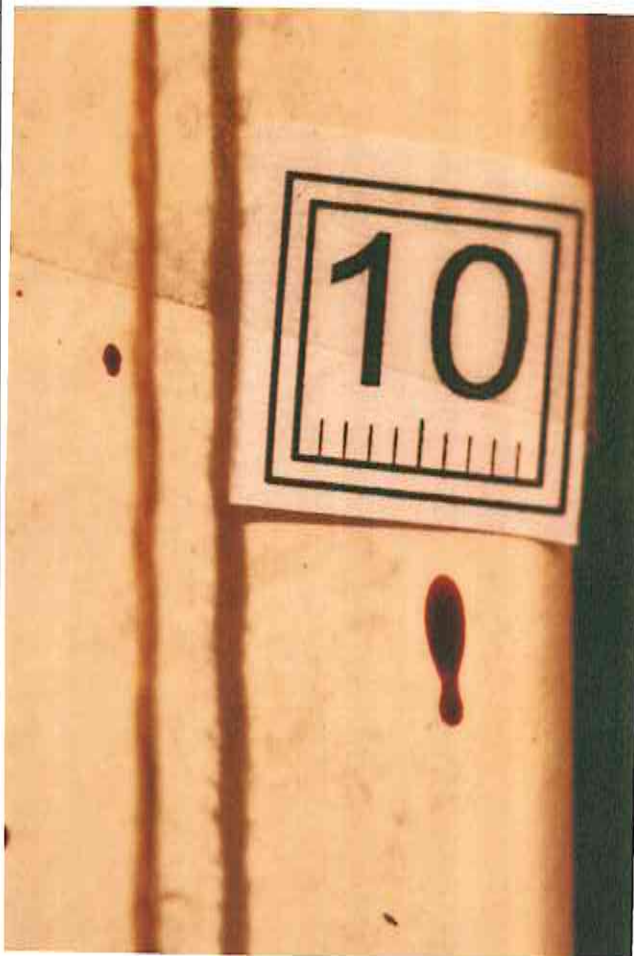
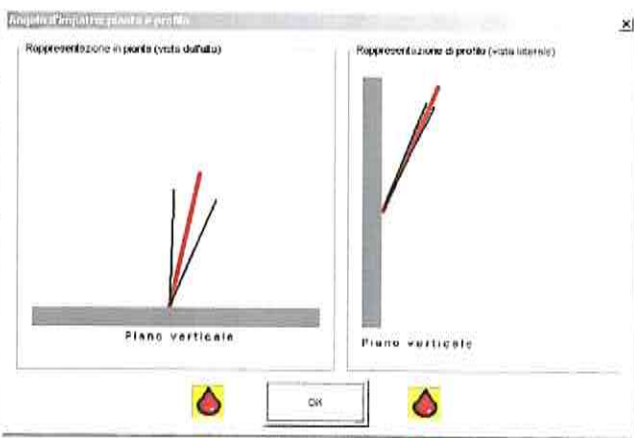
Goccia n. 8

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	44 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	50 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.5 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	1.7 ± 0.2	
Inclinazione (°)	83 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	61° ± 11°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	3° ± 3°	

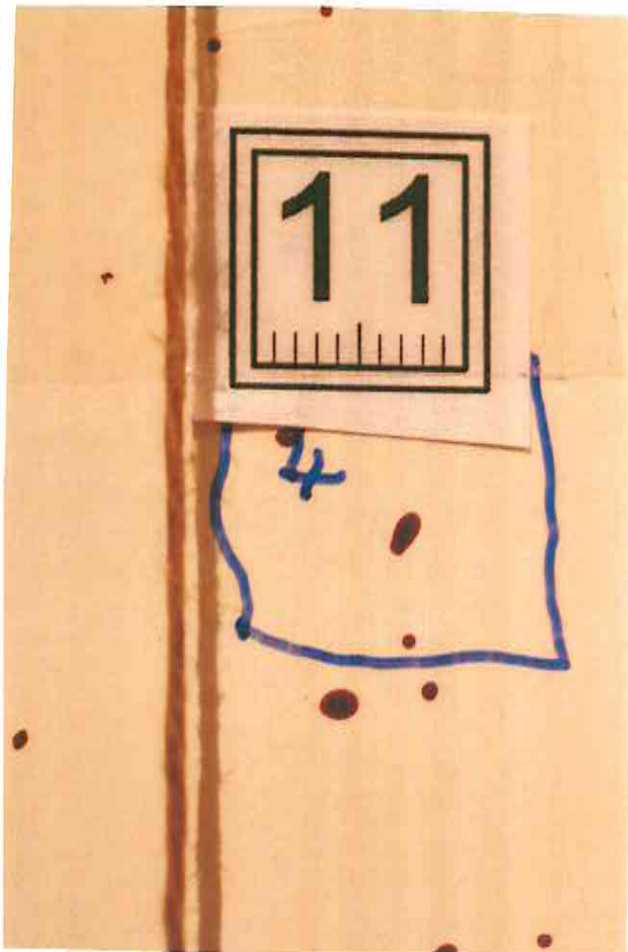
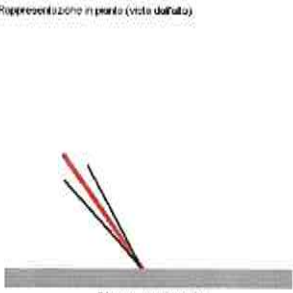
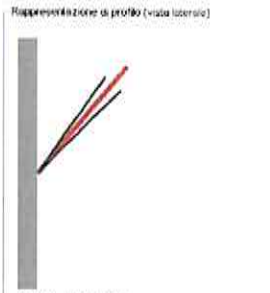
Goccia n. 9

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	37 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	55 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.7 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	1.9 ± 0.4	
Inclinazione (°)	88 ± 8	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	64° ± 23°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	1° ± 4°	

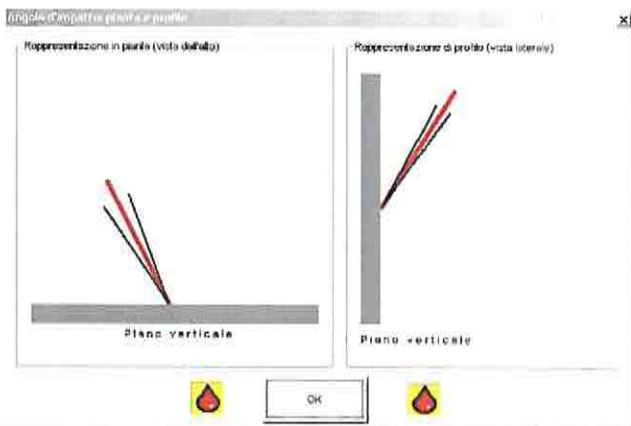
Goccia n. 10

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	34 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	11 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.6 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	3.9 ± 0.2	
Inclinazione (°)	-6 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	103° ± 11°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	65° ± 2°	

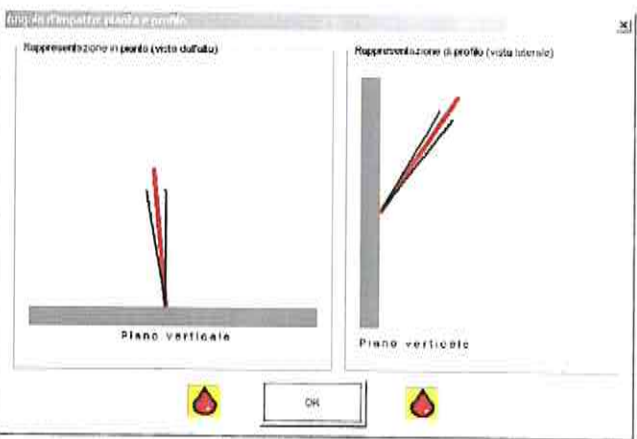
Goccia n. 11

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	32 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	54 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.1 ± 0.1	<i>Rappresentazione dell'angolo d'impatto</i> Angolo d'impatto visto in profilo Rappresentazione in pianta (vista dall'alto)  Piano verticale Rappresentazione di profilo (vista laterale)  Piano verticale  OK 
Asse maggiore (mm)	1.9 ± 0.1	
Inclinazione (°)	30 ± 8	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	55° ± 7°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	45° ± 6°	

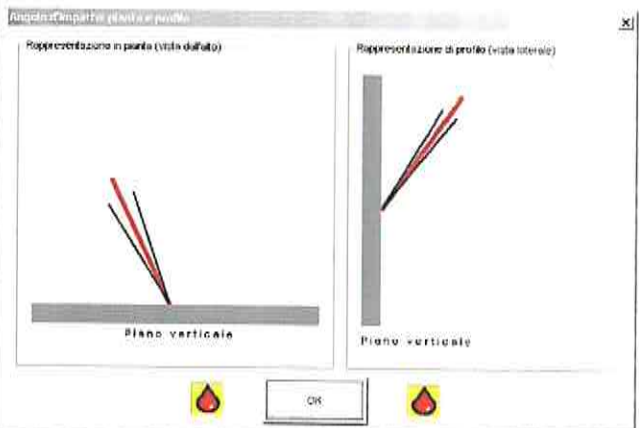
Goccia n. 12

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	30 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	48 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.5 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	2.9 ± 0.2	
Inclinazione (°)	18 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	63° ± 7°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	55° ± 4°	

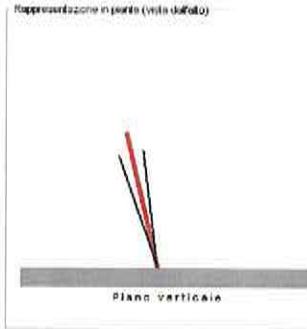
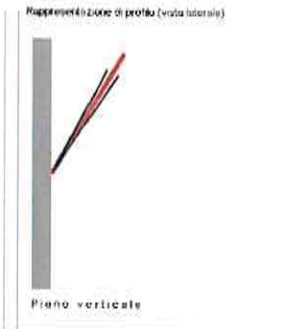
Goccia n. 13

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	30 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	27 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.3 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	2.3 ± 0.2	
Inclinazione (°)	3 ± 3	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	85° ± 5°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	56° ± 4°	

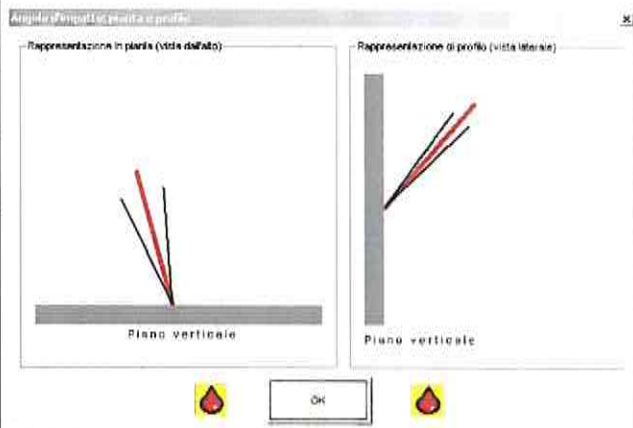
Goccia n. 14

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	21 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	47 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.8 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	3.3 ± 0.3	
Inclinazione (°)	18 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	65° ± 7°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	53° ± 4°	

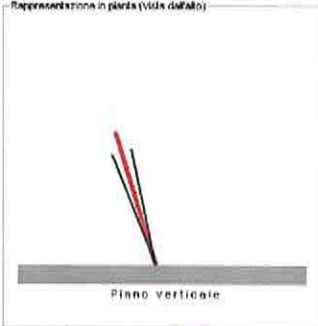
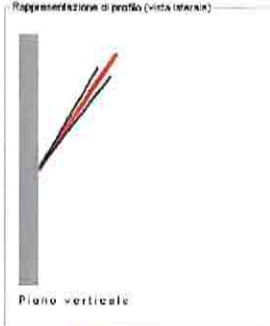
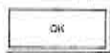
Goccia n. 15

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	28 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	32 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.6 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> Angolo d'impatto in pianta e profilo Rappresentazione in pianta (vista dall'alto)  Piano verticale Rappresentazione di profilo (vista laterale)  Piano verticale 
Asse maggiore (mm)	3.0 ± 0.2	
Inclinazione (°)	8 ± 4	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	77° ± 6°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	58° ± 3°	

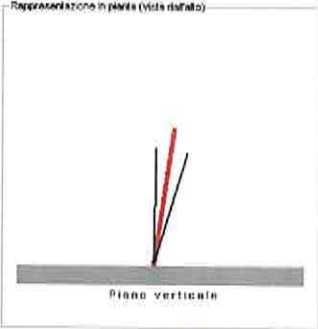
Goccia n. 16

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	21 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	29 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.6 ± 0.1	<i>Rappresentazione dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	2.4 ± 0.2	
Inclinazione (°)	13 ± 10	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	75° ± 11°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	48° ± 5°	

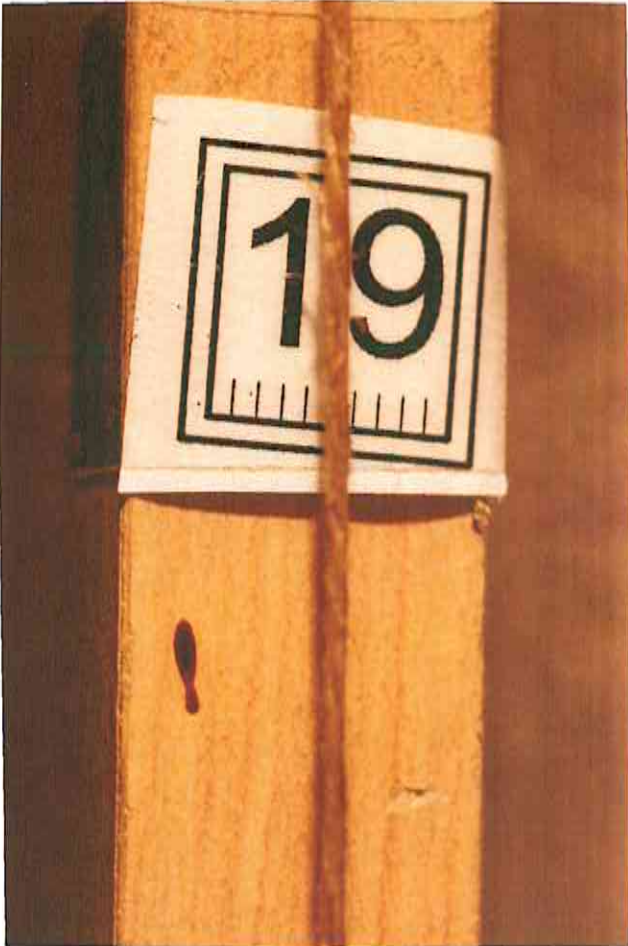
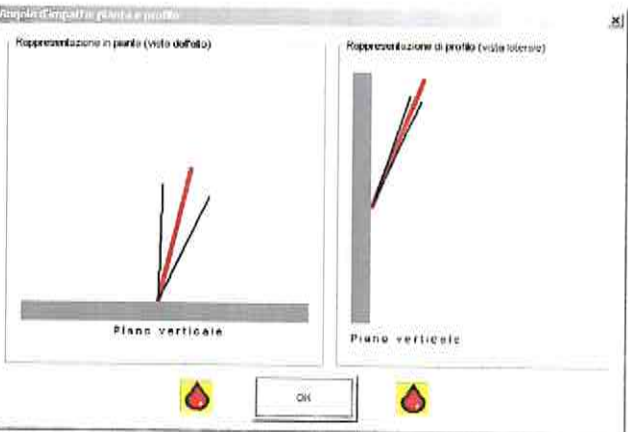
Goccia n. 17

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	14 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	37 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	2.4 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> Angolo d'impatto pianta e profilo Rappresentazione in pianta (vista dall'alto)  Piano verticale Rappresentazione di profilo (vista laterale)  Piano verticale 
Asse maggiore (mm)	4.3 ± 0.4	
Inclinazione (°)	12 ± 3	
Calcoli AnTraGoS		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	73° ± 5°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	54° ± 4°	

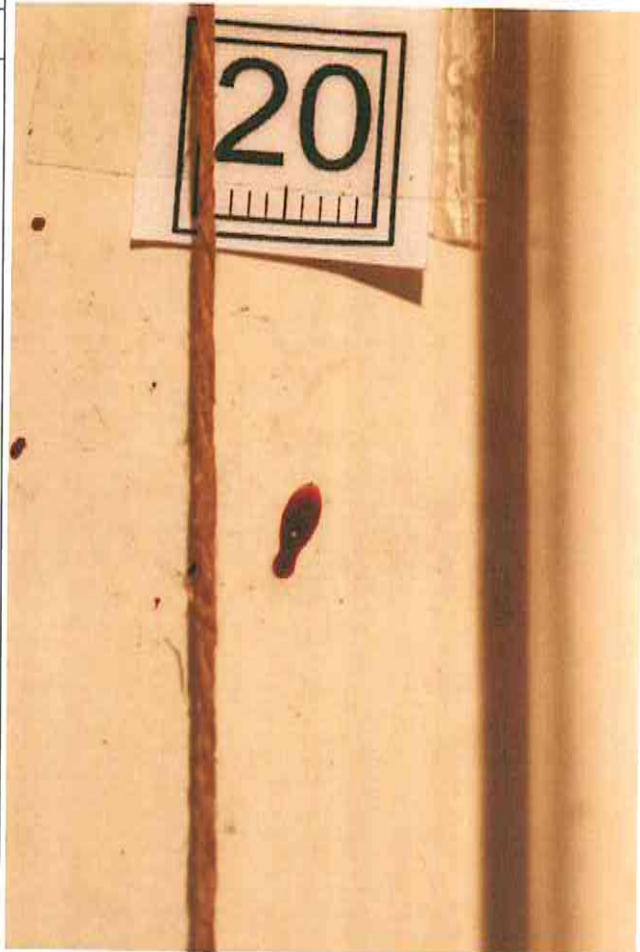
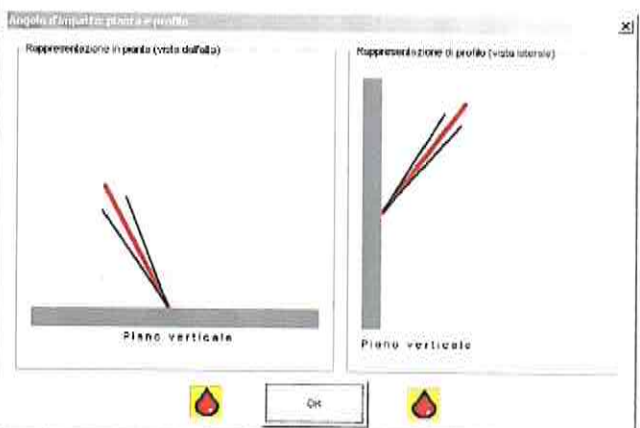
Goccia n. 18

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	14 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	14 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.4 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> Angolo d'impatto in pianta e in profilo Rappresentazione in pianta (vista dall'alto)  Piano verticale Rappresentazione di profilo (vista laterale)  Piano verticale OK
Asse maggiore (mm)	2.6 ± 0.2	
Inclinazione (°)	-6 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	99° ± 8°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	56° ± 4°	

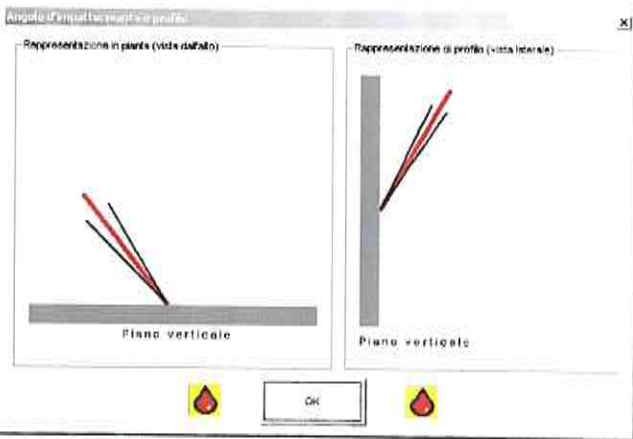
Goccia n. 19

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	30	
Distanza dal muro a destra	3	
Asse minore (mm)	0.9 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	2.4 ± 0.2	
Inclinazione (°)	-6 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	$104^\circ \pm 12^\circ$	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	$67^\circ \pm 3^\circ$	

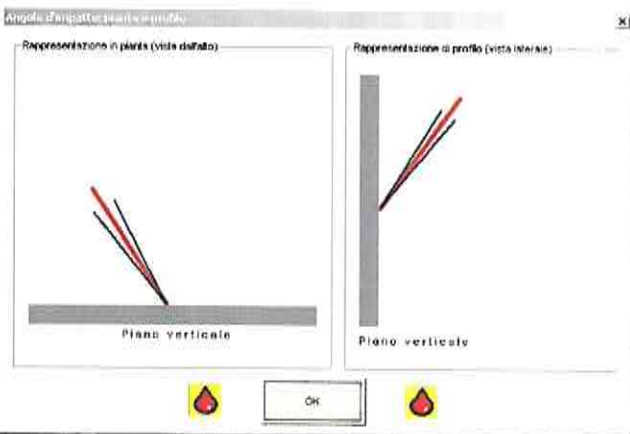
Goccia n. 20

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	26 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	60 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	2.0 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	3.5 ± 0.4	
Inclinazione (°)	22 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	62° ± 7°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	49° ± 5°	

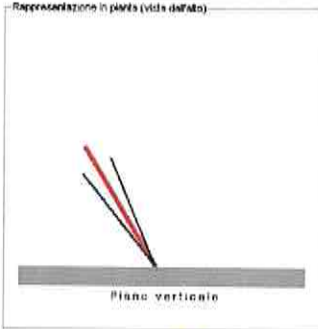
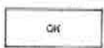
Goccia n. 21

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	3 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	68 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	2.0 ± 0.2	<i>Rappresentazione dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	4.2 ± 0.4	
Inclinazione (°)	24 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	52° ± 7°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	54° ± 4°	

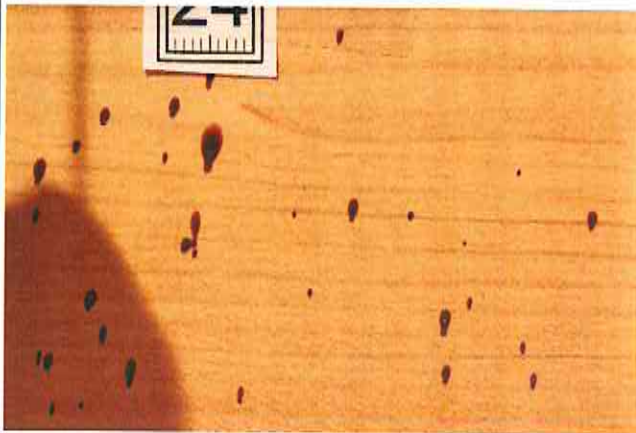
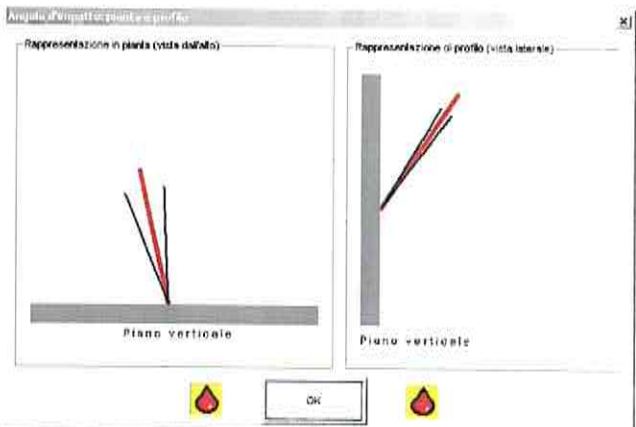
Goccia n. 22

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	4 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	63 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	2.4 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	4.3 ± 0.4	
Inclinazione (°)	25 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	57° ± 6°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	49° ± 4°	

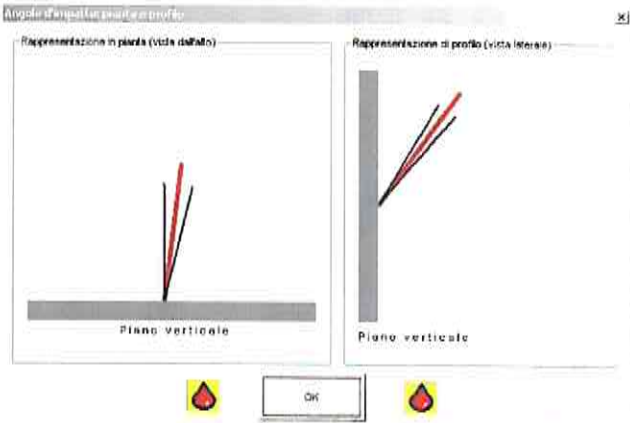
Goccia n. 23

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	4 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	51 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	2.2 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> Angolo d'impatto in pianta e profilo Rappresentazione in pianta (vista dall'alto)  Piano verticale Rappresentazione di profilo (vista laterale)  Piano verticale 
Asse maggiore (mm)	3.8 ± 0.3	
Inclinazione (°)	25 ± 8	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	$59^\circ \pm 8^\circ$	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	$48^\circ \pm 6^\circ$	

Goccia n. 24

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	6 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	32 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	2.5 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	4.5 ± 0.3	
Inclinazione (°)	8 ± 7	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	78° ± 10°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	55° ± 4°	

Goccia n. 25

Posizione		Fotografia
Altezza dal pavimento	2 ± 1 cm	
Distanza dal muro a destra	16 ± 1 cm	
Asse minore (mm)	1.6 ± 0.1	<i>Rappresentazione in pianta dell'angolo d'impatto</i> 
Asse maggiore (mm)	2.8 ± 0.3	
Inclinazione (°)	-5 ± 5	
<i>Calcoli AnTraGoS</i>		
Angolo d'impatto (visto in pianta)	97° ± 7°	
Angolo d'impatto rispetto all'orizzontale	54° ± 5°	