

Il presente lavoro costituisce il primo di un trittico di articoli dedicati all'argomento delle analisi balistiche comparative e dei tentativi in corso in tutto il mondo, in particolare in Europa e Stati Uniti, volti ad incrementarne il valore oggettivo. A differenza, ad esempio, della genetica forense, che può contare su solide basi scientifiche e su soglie di probabilità ben determinate per quantificare i livelli di corrispondenza tra profili del DNA, la balistica comparativa soffre ancora di un diffuso empirismo, di valutazioni fortemente legate all'esperienza del singolo esaminatore e della quasi totale mancanza di standard di riferimento.

Nel seguito introdurremo l'argomento, spiegando le basi teoriche della comparazione balistica e presentando al lettore il ragionamento statistico che permette di apprezzare il valore dei risultati analitici. Un terzo lavoro sarà poi integralmente dedicato alla stima del valore probatorio del confronto balistico, con la descrizione delle diverse scale valutative adottate in Europa e Stati Uniti e dei metodi statistici adoperati per la stima delle percentuali di corrispondenza.

di Pasquale Luca Iafelice e Gianpaolo Zambonini

GLI ACCERTAMENTI BALISTICI COMPARATIVI: TENTATIVI DI STANDARDIZZAZIONE NELL'AMBITO DI UN APPROCCIO QUANTITATIVO ALLE SCIENZE FORENSI (I PARTE)

Pasquale Luca IAFELICE, Direttore Tecnico Principale della Polizia di Stato, svolge la sua attività lavorativa presso la Sezione di Indagini Balistiche del Servizio Polizia Scientifica. Ha svolto numerose indagini forensi come esperto nell'ambito dell'analisi delle immagini e delle indagini balistiche.



Gianpaolo ZAMBONINI, Primo Dirigente Ingegnere della Polizia di Stato, è Direttore della IV Divisione del Servizio Polizia Scientifica, nonché Direttore della Sezione Indagini Elettroniche, presso il Dipartimento di Pubblica Sicurezza del Ministero dell'Interno.



1. **Premessa**

L'identificazione delle armi da fuoco costituisce una branca specifica delle scienze forensi che conta più di cento anni di storia, a partire dai primi studi condotti da Goddard agli inizi del secolo scorso. Nonostante ciò, nel corso del tempo non si è assistiti ad una evoluzione nella tecnica di base, con la conseguenza che tali indagini tecniche risultano ancor oggi pervase da soggettività e dalla mancanza di una standardizzazione dell'*iter* analitico. Tale considerazione è tanto più rilevante quanto più si considera che, nell'ambito degli accertamenti tecnici sulle armi da fuoco, l'esame comparativo balistico rappresenta uno degli strumenti investigativi più efficaci che la polizia scientifica ha a disposizione, nonostante sia tra i più complessi quanto ad interpretazione del dato analitico. Gli esiti di una tale indagine tecnica sono di estrema utilità, poiché consentono di individuare se due reati sono stati commessi con la medesima arma o se un'arma considerata di interesse investigativo sia stata effettivamente utilizzata per la commissione di un reato.

Per la sua natura intrinseca, la balistica comparativa non può essere considerata una scienza, ma piuttosto la si può definire come una pratica nella quale ogni tecnico esprime la propria formazione ed esperienza, non esistendo infatti un solo modo di operare correttamente. Non si tratta della mera applicazione di principi teorici della scienza fisica, in generale, o della meccanica, in particolare, ma piuttosto di un esperimento che si ripete ogni volta in presenza di differenti condizioni al contorno, con la conseguente difficoltà di formulare una previsione a priori del risultato e di attribuire un giudizio di identità con carattere oggettivo.

2. **Metodo e criticità**

Dal punto di vista tecnico, l'approccio tradizionale all'identificazione delle armi da fuoco coinvolte nelle azioni criminali prevede la comparazione, attraverso un microscopio stereoscopico, dei segni impressi sui bossoli e/o proiettili repertati sulla scena di un delitto dall'arma durante il processo di sparo, con quelli presenti sugli omologhi test prodotti con le armi poste sotto sequestro. Una criticità deriva dal fatto che i segni impressi sulla superficie dei manufatti balistici (bossoli e proiettili) dall'arma presentano sempre inevitabili variazioni tra uno sparo ed un altro.

Focalizziamo la nostra attenzione sul caso dei proiettili, oggetti "più interessanti" dal punto di vista investigativo, poiché, a differenza dei bossoli, costituiscono la parte del munizionamento che produce danni nel bersaglio: si pensi al caso di un omicidio o di un danneggiamento con arma da fuoco. Le variazioni che si osservano nell'ambito delle micro-striature marcate al passaggio in canna sono riconducibili a fattori che in molti casi non possono essere replicati durante la produzione dei test di sparo: diverse pressioni prodotte nella camera di scoppio, incrostazioni e detriti presenti all'interno della canna, tanto per citarne alcuni. Possiamo concludere quindi che risulta impossibile che due proiettili sparati dalla stessa arma presentino una coincidenza assoluta nei loro segni caratteristici.

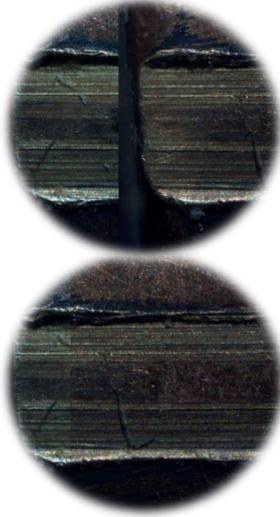


Figura 1: Analisi al microscopio comparatore di proiettili sparati. Dettaglio dell'impronta primaria di riga con confronto delle microstriature (impronte secondarie).

A ciò va aggiunto che proiettili sparati da armi diverse potrebbero presentare un certo grado di “accordo accidentale” tra i segni, in grado di generare un “falso positivo”, soprattutto nel caso in cui le strie presenti siano in numero sufficientemente elevato da renderne altamente probabile la coincidenza di un certo numero tra i proiettili a confronto (dal punto di vista della scienza statistica, tale circostanza non rappresenta altro che una conseguenza della cd. Legge dei Grandi Numeri).

Secondo un approccio consolidato da oramai un secolo, l'esame comparativo volto all'identificazione dell'arma avviene attraverso lo studio, al microscopio comparatore, della morfologia di superficie dei proiettili. Durante lo sparo attraverso una canna rigata, infatti, la superficie dei vettori balistici subisce una vera e propria solcatura, e risulterà così suddivisa in macro-regioni corrispondenti ai pieni e vuoti di canna, nel gergo della balistica comparativa indicate come impronte primarie, o, più semplicemente, righe. L'analisi delle impronte primarie ed il successivo confronto con le banche dati, permette di individuare la *classe* di armi responsabili della sparo¹.

L'esperto balistico incrocerà poi i dati così ottenuti con quelli rilevati in sede di sopralluogo e relativi agli impatti dei proiettili, poiché sono proprio questi segni la diretta espressione del potere energetico dell'arma. Deve infatti considerarsi che le armi da fuoco possono essere distinte anche in base all'energia che erogano alla bocca. Tale quantità fisica risulta influenzata non solo dalle caratteristiche costruttive dell'arma, ma anche, per una data arma, dal tipo di munizione utilizzata. Sul mercato sono disponibili numerose armi da fuoco che permettono l'utilizzo di munizioni anche di diverso tipo, in particolare per ciò che attiene la capacità esplosiva e quindi l'energia² impressa al vettore balistico (proiettile).

Una volta individuato il *tipo* di arma utilizzata attraverso lo studio delle impronte di classe e degli effetti terminali prodotti sul bersaglio dai proiettili, la teoria della comparazione balistica, richiede che il confronto con una specifica arma rientrante nella tipologia rilevata avvenga attraverso un esame condotto percorrendo, rigorosamente nell'ordine, le fasi seguenti:

- Studio delle micro corrispondenze presenti nel confronto tra reperti. Tali corrispondenze assumono il ruolo di *impronte caratteristiche*³.
- Ricerca delle microtracce rinvenute al punto precedente all'interno dell'insieme dei test ottenuti con l'arma in esame.

Terminato l'esame, supponendo di aver ritrovato nei confronti reperto-test un certo numero di quelle corrispondenze rinvenute nei confronti reperto-reperto, resta da stabilirne il valore probatorio.

Come si è detto in precedenza, tra le striature impresse sulla superficie dei proiettili sono presenti inevitabili variazioni tra uno sparo ed un altro, ed è quindi impossibile che due proiettili sparati dalla stessa arma presentino una concordanza assoluta nel loro patrimonio improntativo, mentre, nei proiettili sparati da armi diverse, si è sempre osservato un certo grado di “accordo accidentale”, perlomeno qualora le strie presenti siano in numero sufficientemente elevato da potersi considerare applicabile la cd. statistica di Gauss.

Ma quando le corrispondenze rilevate possono ritenersi “accidentali” e quale valore probatorio può essere invece associato a quelle che non lo sono?

3. **La valutazione del dato analitico**

Certamente le corrispondenze rilevate saranno casuali quando risultano dal confronto tra manufatti balistici relativi ad armi differenti. Per avere poi un'idea di quale potrebbe essere il “livello” di accidentalità riscontrato in un tal caso, consideriamo un classico esempio⁴ riportato in letteratura, i cui risultati vedremo che si possono adattare facilmente al problema delle microstrie in comparazione osservate sulla superficie di proiettili sparati attraverso canne rigate. Supponiamo di riempire in modo casuale un certo numero di quadrati secondo le seguenti regole:

I. Su un totale di 20 quadrati, solo 10 scelti a caso saranno colorati:



¹ Per classe d'armi s'intende l'insieme di tutte le armi accomunate dall'aver canne presentanti il medesimo numero di righe, caratterizzate dalla medesima ampiezza di solcatura e medesimo andamento (destrorso o sinistrorso).

² In Italia la legge n.110 del 18 aprile 1975 rappresenta la disciplina vigente per il controllo delle armi, delle munizioni e degli esplosivi. Quanto alla capacità energetica, le norme fissano al valore di 7,65 Joule l'energia minima erogata alla bocca per potersi parlare di arma da fuoco.

³ In generale, nell'esame comparativo volto all'identificazione di un'arma le tracce oggetto di analisi sono le impronte secondarie (microstrie) rinvenute all'interno delle impronte primarie. Tali tracce vengono ritenute caratteristiche quando risultano comuni all'insieme dei manufatti balistici in esame.

⁴ Heard, Brian J., Handbook of firearms and ballistics: examining and interpreting forensic evidence, John Wiley & Sons Ltd, 2008.

II. Ognuno dei 10 quadrati riempiti sarà casualmente o scuro o chiaro:



III. Ognuno dei 10 quadrati riempiti può casualmente contenere una X o una Y:



Supponiamo ora di considerare due insiemi di 20 quadrati. Ci chiediamo quale sia la probabilità che casualmente entrambi presentino: *nella stessa posizione* 10 quadrati colorati in modo scuro o chiaro i quali contengono casualmente una X o una Y.

Applicando le leggi della statistica⁵ ed osservando che gli eventi di cui sopra sono tutti indipendenti (il verificarsi dell'uno non influenza affatto la probabilità di riuscita del successivo), con semplici calcoli si trova:

$$P \left(\begin{array}{cccccccccc} \square & X & Y & Y & \square & X & \square & X & X & Y & Y & Y & X \\ \square & X & Y & Y & \square & X & \square & X & X & Y & Y & Y & X \end{array} \right) = \frac{1}{184756} \cdot \frac{1}{1024} \cdot \frac{1}{1024} \approx 0.5 \cdot 10^{-11}$$

ossia un valore piccolissimo, inferiore ad un centesimo di miliardesimo.

Cerchiamo ora di guardare a questo risultato nel contesto delle comparazioni tra proiettili. Focalizziamoci su di una sola impronta primaria (una sola riga, ad esempio), immaginando di dividerla in 20 settori longitudinali. Supponiamo ora che, ad un'osservazione al microscopio: 10 di questi settori contengano delle microstrie; che di queste, alcune abbiano un tipo di profilo, mentre altre un profilo differente (per esempio un profilo tipo \odot oppure \ominus); che, tra quelle dello stesso profilo, alcune siano "spesse" ed altre "sottili". Allora la probabilità che casualmente due proiettili sparati da armi diverse presentino la stessa combinazione risulterà pari al valore che abbiamo calcolato sopra.

Per il momento abbiamo però esaminato un caso di confronto tra proiettili estremamente semplificato. Nella realtà non ci sono solo 20 posizioni possibili per le microstrie all'interno di una riga ma centinaia, e usualmente le microstrie rinvenute⁶ sono in numero superiore a 10. Allo stesso modo, nella realtà, queste impronte secondarie non presentano solo due profili possibili o solo due differenti larghezze. Ne consegue che, anche considerando una sola impronta primaria per le comparazioni, la probabilità di un *match* casuale è con buona approssimazione trascurabile.

L'esempio precedente sembrerebbe fugare qualsiasi dubbio sulla capacità dell'esame comparativo balistico di individuare la responsabilità di un'arma sospetta. Purtroppo le cose non sono così semplici. La nota formulare "al di là di ogni ragionevole dubbio" impone un approccio molto più critico per ciò che attiene la valutazione del dato. Innanzitutto per poter associare un valore di probabilità ad ogni corrispondenza risulta necessario disporre di banche dati che permettano la stima delle soglie di negatività (accordo accidentale) per ogni combinazione di arma/munizione. Come è facile intuire, stiamo parlando di migliaia di dati e di un progetto che non è facile da realizzare nel brevissimo tempo. Giusto per avere un'idea di quanto stiamo discutendo, basti pensare che, pochi anni orsono, l'Università di Davis in California ha ricevuto un finanziamento pari a 2 milioni di dollari per un'attività di ricerca triennale volta alla costruzione di un database con impronte di proiettili e per la studio di metodi statistici da applicare alle analisi balistiche.

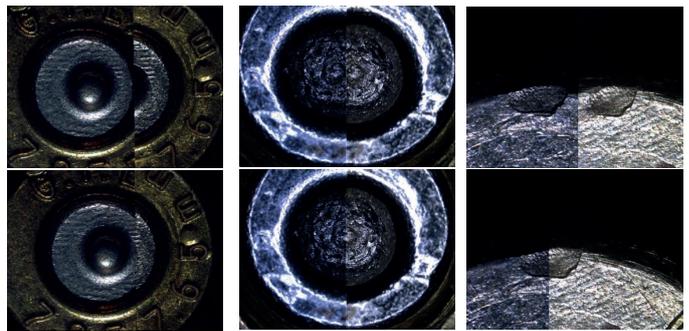
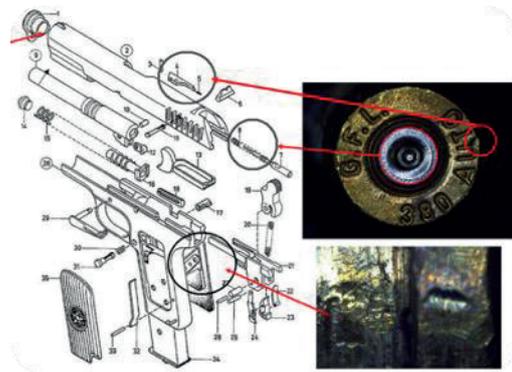


Figura 2: Formazione delle impronte balistiche su bossoli esplosi con pistola semiautomatica. Dettaglio delle impronte di percussione ed estrazione nei confronti al microscopio comparatore.

Per ciò che attiene la problematica, qui solo tratteggiata, della stima della soglia di corrispondenze da rilevare in un confronto tra proiettili al fine di asserirne l'equiprovenienza, sono tuttora in corso numerosi studi⁷, in Europa, ma principalmente negli Stati Uniti, che partono dai lavori seminali di Burd, Kirk e, in particolare Biasotti⁸. Questi nuovi tentativi sono basati su strumenti di

5 La probabilità associata all'evento I) è data dall'inverso del coefficiente binomiale $C_n^m = \frac{m!}{n!(m-n)!}$, con $m=20$ e $n=10$. Per ciascuno degli eventi II) e III) la probabilità risulta essere pari a $1/2^n = 1/2^{10} = 1/1024$.

6 Il numero di microstrie rinvenute dipende comunque dal potere risolutivo del microscopio utilizzato.

7 Valle, Bianchi et al. (2012) Forensic Science International, 222, 288-297. Song et al. (2012), Measurement Science and Technology; 23 - 5, 054010. Vorburgher et al. (2014), Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology; 119:644. Zheng et al. (2014) Journal of the Association of Firearms and Toolmarks Examiners; 46, pp. 143 - 147.

8 Burd, D., Kirk, P. (1942), Journal of Criminal Law and Criminology, 32:6. Biasotti A. (1959), Journal of Forensic Science, Vol. 4, No.1. Biasotti,

osservazione ad alta risoluzione. Tra i microscopi ottici⁹, sono utilizzati, o sono oggetto di studio: Interferometri a Scansione Verticale, Profilometri con Puntatore Laser, Microscopi Confocali (tecnologia impiegata anche dallo strumento detto BULLETRAX-3D, utilizzato dalla Polizia di Stato per l'alimentazione della banca dati delle impronte balistiche I.B.I.S.), Microscopi a Focale Variabile. Anche l'uso di microscopi a fasci di elettroni è attualmente in corso di valutazione per le applicazioni all'esame delle impronte balistiche.

Un altro aspetto critico è costituito dal fatto che, un approccio scrupoloso alla comparazione balistica richiede di basare l'esito di un confronto sulla valutazione di tutte le micro tracce rinvenute in tutte le impronte primarie formatesi sui proiettili in seguito al passaggio attraverso la canna. Ci sono però casi in cui ciò non è possibile, come ad esempio quando ci si trova ad analizzare proiettili che sono stati deformati o con superficie parzialmente abrasa.

A questo riguardo, uno studio recente¹⁰ ha, per la prima volta, messo in evidenza la possibilità di un impoverito in microtracce balistiche legato all'azione corrosiva/ossidativa di sostanze acide (gas o liquidi) sulla superficie di proiettili in leghe di piombo nudo. Si pensi al caso di proiettili reperiti in sede di esame autoptico, in particolare in regioni del corpo in cui sono presenti acidi biologici e/o al naturale processo di ossidazione che i metalli subiscono a contatto con l'aria, i cui effetti risultano "visibili" se una tale esposizione si protrae per decenni. Il livello di "cancellazione" osservato nello studio sopra citato risultava, però, fortemente legato al limite di risoluzione dello strumento con il quale si effettuano le osservazioni, nel senso che le microstrie non "visibili" al microscopio comparatore risultavano invece rilevabili attraverso l'utilizzo di un microscopio confocale.

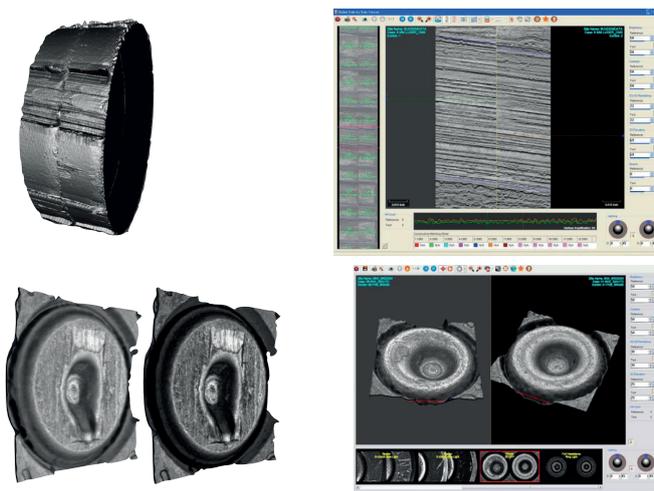


Figura 3: Immagini delle impronte balistiche su bossoli e proiettili ottenute con la microscopia confocale del sistema IBIS HD-3D in uso alla Polizia di Stato.

Nei prossimi articoli avremo modo di illustrare le ricerche in corso, discutendo, in particolare, le più recenti e più promettenti tecnologie oggi a disposizione dell'esperto balistico.

4. Osservazioni e conclusioni

Il contesto tecnico delineato nei paragrafi precedenti ha generato una diffusa "conflittualità" in sede dibattimentale circa l'interpretazione delle risultanze degli accertamenti balistici, evidenziando la necessità di elaborare delle linee guida (nazionali o, auspicabilmente, internazionali) riguardanti la scelta del metodo, i criteri decisionali e la scala valutativa con cui vengono presentati gli esiti delle analisi tecniche in tribunale, nonché l'importanza di una certificazione per i singoli esperti balistici. Infatti, un elemento di grande criticità nell'iter processualistico è rappresentato proprio dal valore del metodo scientifico da applicare per ricavare la prova. Solo in pochi casi la nostra giurisprudenza ha affrontato questo tema, senza tuttavia arrivare ad elaborare parametri di valutazione cogenti, come è invece avvenuto nei paesi di *common law*, nei quali è più sentita la necessità di evitare l'ingresso nel processo penale della c.d. *junk science* ("scienza spazzatura"). In particolare la sentenza della Corte Suprema degli Stati Uniti del 1993 sul caso *Daubert versus Merrel Dow Pharmaceutical Inc.* (509 U.S. 579) ha indicato i criteri idonei a valutare l'attendibilità delle prove scientifiche: controllabilità; falsificabilità; verificabilità della teoria posta a fondamento della prova; percentuale di errore conosciuto o conoscibile; possibilità che la teoria o tecnica sia stata oggetto di controllo da parte di altri esperti, ecc.. La sentenza *Daubert* precisa poi che i sopra indicati criteri non devono necessariamente coesistere e non sono da ritenere tassativi.

Mentre negli Stati Uniti questa sentenza è stata recepita da tutti i tribunali, nel nostro Paese non viene mai ritenuto necessario il soddisfacimento di ben determinati criteri e la maggior parte delle perizie balistiche si limitano a ribadire il carattere prettamente "artigianale" delle attività tecniche, con la conseguenza che non è possibile riprodurre il metodo utilizzato da un esperto e sottoporre i risultati a verifica, nel senso che, un differente esperto, chiamato ad esprimersi sul medesimo caso, non è in grado di ripercorrere la via logica seguita da colui che ha formulato il precedente giudizio. Viene a mancare così il presupposto della riproducibilità, ossia il fondamento ontologico del concetto di scienza. Proprio questo "libero arbitrio" di alcuni "esperti" ha generato la *deregulation* del settore balistico, favorendo l'ingresso di personaggi di basso livello tecnico, che nascondono le loro lacune scientifiche e professionali motivando le loro decisioni sulla base di una dubbia esperienza e invocando il carattere artigianale della comparazione balistica.

I recenti studi scientifici di cui discuteremo nei prossimi articoli ci permettono di affermare che, per fortuna, questi soggetti possono essere considerati i residui del "medioevo" della comparazione balistica, rappresentando quanto di più lontano possa esserci rispetto la nascita di una scienza forense quantitativa a cui stiamo assistendo grazie alla sinergia tra forze dell'ordine, istituti di ricerca e istituti accademici ed agli investimenti in Europa e Stati Uniti. ©

Murdock (1997), *Firearms and Toolmark Identification, Modern Science Evidence – The Law and Science of Expert Testimony* (Vol.2); St. Paul, MN: West Publishing.

9 Bolton-King, Evans, Smith, Painter, Allsop and Cranton, *AFTE Journal*, Vol. 42 -1, 2010.

10 lafelice P.L. (2014) *Le analisi balistiche comparative per proiettili costituiti da leghe di piombo nudo in presenza di fenomeni ossidativi/corrosivi*; Direzione Centrale Anticrimine della Polizia di Stato, Servizio Polizia Scientifica; *Ballistic investigation on lead bullets in presence of oxidative/corrosive phenomena* (2016), in preparazione.