

Il problema dell'identificazione è trasversale a tutta l'attività di polizia, sia essa a carattere preventivo o di *intelligence*, che quella propriamente giudiziaria, messa in atto cioè dopo la commissione di un reato. Però, mentre l'identificazione di persone ha compiuto passi da gigante grazie alle consolidate scoperte scientifiche ed alle evoluzioni tecnologiche che hanno segnato il secolo scorso, l'identificazione di un arma da fuoco per mezzo dell'analisi comparativa balistica ha potuto beneficiare delle nuove tecnologie solo in tempi relativamente recenti.

Come abbiamo avuto modo di illustrare nella prima parte di questo lavoro, nonostante i numerosi aspetti critici la balistica comparativa sta progredendo nella direzione giusta e le innovazioni non mancano. Nel seguito presenteremo una panoramica delle nuove metodologie di analisi e delle innovative tecniche di *imaging* utilizzate o in corso di studio nell'ambito della balistica forense, analizzandone brevemente i punti di forza e di debolezza. Avremo modo di apprezzare così gli sforzi compiuti da ricercatori in tutto il mondo per la messa a punto di nuove tecniche analitiche e di osservare che, forse, non siamo poi tanto lontani dal raggiungimento dell'obiettivo finale: una piena identificazione dell'arma da fuoco con un livello di certezza paragonabile a quello fornito dal profilo del DNA nell'identificazione di persone.

di Pasquale Luca Iafelice e Gianpaolo Zambonini

GLI ACCERTAMENTI BALISTICI COMPARATIVI: TENTATIVI DI STANDARDIZZAZIONE NELL'AMBITO DI UN APPROCCIO QUANTITATIVO ALLE SCIENZE FORENSI (II 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'analisi comparativa di bossoli e proiettili viene correntemente eseguita, sia in Italia che in altri Paesi, attraverso l'uso di un particolare microscopio ottico, detto **microscopio comparatore**. In realtà, fu proprio l'idea e la costruzione di tale apparato, un microscopio ottico per l'osservazione contemporanea di due campioni a confronto attraverso uno stesso oculare, che sancì la nascita della balistica comparativa. Questo metodo tradizionale si è affinato nel tempo sostanzialmente grazie all'utilizzo di nuovi corredi di luci e di nuove tecniche fotografiche, introdotte in seguito alla diffusione della fotografia digitale. I moderni microscopi comparatori sono stati poi assistiti da suite software per agevolare l'acquisizione delle immagini, permetterne l'elaborazione ed il miglioramento, correggendone nella versione digitale, i difetti ottici dovuti, ad esempio, alla diversa riflettanza delle superficie a confronto. Infatti, capita sovente che l'esperto balistico si trovi ad analizzare e confrontare bossoli o proiettili provenienti da munizioni che, benché di analogo calibro, differiscono per le scelte del costruttore quanto alla composizione della lega metallica. Tale ultimo aspetto, non influenzando di fatto le caratteristiche dinamiche dei vettori balistici, non è tenuto in considerazione dai produttori di munizioni, ma risulta di particolare criticità nell'analisi microscopica.

Così, quando analizzati con il microscopio comparatore, la superficie dei reperti balistici appare sotto forma di immagini bidimensionali aventi un contenuto d'informazione fortemente dipendente dalle condizioni di illuminazioni e dal conseguente modo in cui le ombre si formano a livello microscopico a causa delle diverse "tessiture" delle microtracce in superficie.

Succede quindi, ad esempio, che anche proiettili sparati attraverso armi simili, ma comunque diverse, possono sembrare erroneamente corrispondenti a causa di piccolissime variazioni nelle condizioni di illuminazione. L'inevitabile conseguenza è che l'esame balistico può essere efficientemente eseguito solo da personale espertissimo, con una estesa preparazione nella materia ed una profonda conoscenza delle migliaia di differenti impronte balistiche lasciate dalle diverse armi in commercio. Ma di tali veri esperti purtroppo ce ne sono pochissimi in circolazione e, tristemente, ancor meno ce ne sono tra quelli che calcano di sovente i "palcoscenici" delle nostre aule di tribunale, vantando conoscenze ultra specialistiche acquisite nel corso della loro lunga esperienza, mentre poi si scopre che avevano analizzato solo pochi casi ogni anno.

In ogni caso, appare comunque chiaro come l'elemento soggettivo sia ineliminabile nell'approccio tradizionale alla comparazione balistica. Per ovviare a tale problema, nel corso dell'ultimo decennio si è assistito ad una transizione dall'uso di tecniche di *imaging* bidimensionali a quelle tridimensionali, con l'intento di introdurre la profondità delle microstrie quale ulteriore dimensione da misurare nelle analisi comparative balistiche.

2. Una “nuova” dimensione delle impronte balistiche

L'evoluzione dei sistemi di acquisizione di immagini per i reperti balistici ha seguito di pari passo i progressi che si sono avuti nell'ambito dell'elaborazione delle immagini digitali a partire dalla metà degli anni '70. Tali sistemi utilizzano in modo estensivo diversi strumenti di cattura, come le microcamere CCD (*charge couple device*) a montaggio monodimensionale o 2D, fasci laser, sorgenti di ultra-suoni e fasci di elettroni. Già da alcuni anni sono disponibili sul mercato diversi strumenti per l'acquisizione automatica o semiautomatica di immagini di interesse investigativo da campioni balistici. Altri apparati sono in corso di studio o realizzazione. Tutti questi strumenti offrono la possibilità di acquisire, con risoluzioni dell'ordine del milionesimo di metro, le impronte balistiche presenti su bossoli e proiettili, il tutto in tempi piuttosto rapidi se paragonati alle lungaggini delle analisi tradizionali.

Una menzione particolare meritano i sistemi che permettono la scansione topografica dei rilievi presenti nelle micro-regioni interessate dalle impronte, con il vantaggio di poter anche eseguire delle vere e proprie misure sulle microstorie e di portare di conseguenza l'analisi su di un piano quantitativo.

Un'acquisizione tridimensionale della topografia dei reperti balistici, infatti, offre notevoli vantaggi rispetto alle classiche immagini bidimensionali, anche nel caso in cui quest'ultime siano del tipo ad alta risoluzione. A parte, come si è detto, la disponibilità di dati relativi alla profondità delle impronte balistiche, le immagini tridimensionali hanno un contenuto d'informazione che non dipende dal particolare tipo d'illuminazione utilizzato. Per chiarire le idee, bisogna puntualizzare che con il termine generico “immagine tridimensionale” s'intende sempre una rappresentazione topografica della superficie del campione analizzato. In letteratura sono presenti studi (Bachrach et al., 2002) che illustrano nel dettaglio le differenze, i vantaggi e gli svantaggi che si hanno nell'analisi della superficie dei manufatti balistici attraverso sistemi di imaging 2D e 3D. In particolare, nello studio pubblicato da Brinck nel 2008, sono state dettagliatamente analizzate le performance di uno degli apparati tra i più utilizzati dalle forze dell'ordine in ambito europeo e statunitense, il sistema IBIS commercializzato dalla Forensic Technology Inc., confrontando la vecchia versione 2D con la nuova versione denominata IBIS-TRAX3D. Per completezza, si riportano gli altri sistemi sviluppati per la ricerca automatica di similarità tra le impronte balistiche, strumenti che come IBIS, sono di ausilio agli investigatori nello stabilire correlazione tra casi: si tratta del FIREBALL e dell'EVOFINDER. L'uso estensivo di questi apparati da parte delle forze dell'ordine trova giustificazione nel fatto che l'analisi delle impronte balistiche all'interno delle banche dati richiede tempi lunghi a causa del gran numero di armi utilizzate per commettere crimini, per cui risulta necessario ricorrere ad un'automazione del processo, anche al fine di minimizzare l'incidenza di errori dovuti all'operatore.

Sul mercato sono disponibili un certo numero di strumenti con diverse tecnologie di imaging 3D per le applicazioni nell'ambito dell'identificazione delle armi da fuoco. Si tratta di strumenti che si possono suddividere in base alla tecnica analitica utilizzata: vi sono apparati basati su metodi ottici di profilometria a luce bianca, laser, o di microscopia confocale, o ancora sull'applicazione della microscopia a forza atomica oppure di quella che utilizza fasci di elettroni.

Introdotte già da più di un decennio, queste metodiche hanno subito di recente ulteriori sviluppi tecnologici, in particolare modo quelle basate sulla variazione del piano focale (microscopia confocale) per la determinazione della profondità delle tracce osservate. Una disamina interessante e abbastanza aggiornata su queste nuove tecnologie ed una precisa analisi dei vantaggi e limiti di ogni procedura analitica la si può trovare nell'articolo di Bolton-King e altri, pubblicato nel 2010 sull'AFTE Journal.

Comunque, per eseguire un confronto accurato tra le varie tecniche di imaging 3D bisogna far ricorso ad uno standard di riferimento. Infatti, mentre sono disponibili numerose ricerche che comprovano l'utilità dei dati 3D per un'efficace identificazione delle armi da fuoco, non sono stati ancora eseguiti studi rigorosi e test sperimentali per valutare l'impatto delle diverse durezza dei metalli utilizzati dai costruttori di munizioni sulla profondità delle microstrie balistiche e la loro distanza relativa. Allo stesso modo, non sono ancora disponibili dati che evidenziano chiaramente il rapporto tra le tolleranze di fabbrica nella modellazione geometrica di proiettili e bossoli ed i profili delle impronte balistiche che si formano su di essi in seguito all'azione di sparo. Deve considerarsi, infatti, che non è certo premura dei produttori quella di realizzare manufatti balistici omogenei, a livello microscopico, quanto a durezza del metallo e dimensioni.

Per ovviare a tali problemi, nei laboratori di ricerca è stato introdotto l'uso di campioni di riferimento, in modo da poter studiare e comparare tra loro le diverse tecniche analitiche escludendo nel contempo l'influenza di fattori esterni sul risultato delle analisi.

Nel 2006 i ricercatori del NIST (National Institute of Standard and Technology), eminente istituto di ricerca del governo degli Stati Uniti d'America, pubblicarono un articolo in cui venivano per la prima volta messe a confronto misure di impronte balistiche ottenute con quattro differenti tecniche analitiche applicate su di uno stesso campione di riferimento, preparato per l'occasione dagli studiosi. Si trattava del proiettile standard “SRM 2460”, un particolare manufatto presentante una superficie particolarmente omogenea e levigata, opportunamente solcata da una produzione controllata di microtracce (figura 1). Senza entrare nei dettagli di questo studio, quello che importa è che le quattro differenti metodologie portavano a risultati aventi un grado di accordo superiore al 90%, con la conseguenza che il proiettile “SRM 2460” poteva ben candidarsi come oggetto di riferimento sul quale basare gli studi di settore. Tale proiettile, adottato come riferimento in tutto gli studi successivi, viene sovente indicato in letteratura con il termine “proiettile standard NIST”.

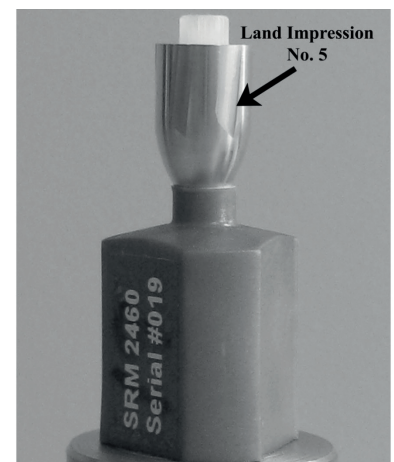


Figura 1: Proiettile standard NIST

3. **Tecniche analitiche a confronto**

Nel già citato lavoro del 2010, Bolton-King e altri autori hanno eseguito uno studio volto all'individuazione della tecnica di imaging 3D più appropriata per l'acquisizione della topografia di superficie di reperti balistici, con lo scopo anche di determinare quale tecnica sia ottimale per rapidità di esecuzione e precisione analitica. Lo studio è stato vincolato al requisito di considerare solo quelle tecniche che mantengono l'integrità del campione, ossia metodiche analitiche non distruttive, che non prevedono il contatto con l'oggetto analizzato, in particolare quindi tecniche di analisi ottiche.

Per ogni tecnica gli autori hanno valutato più di un sistema disponibile sul mercato, prendendone in considerazione diversi aspetti critici in relazione alle applicazioni nell'ambito dell'identificazione delle armi da fuoco.

		Vertical Scanning Interferometer	Point Laser Profilometers	Confocal Microscopes	Focus-Variation Microscope
Light Source		White light	Laser	Laser or White light	White light
Objective Lens Magnification		1x to 50x	Typically N/A	10x to 100x	10x to 100x
			(TTL 0.5x to 2.0x)		
Working Distance (mm)		7.4 (at 10x)	4 to 38	10.1 to 0.3	23.5 to 3.5
Resolution (µm)	Vertical	0.03	0.01 to 0.05	0.01 to 0.001	0.1 to 0.01
	Lateral	Not stated	1 to 30	3.1 to 0.12	1.1 to 0.4
Max. Surface Angle (°)		13.1	70	70	90
		(higher for non-specular surfaces)		(85 in future)	

Figura 2: Principi scientifici applicati (o oggetto di studio) e nuove tecnologie per l'identificazione forense delle armi da fuoco, attraverso tecniche di imaging 3D

I risultati di questo studio sono riassunti nelle figure 2 e 3. In generale, dalla valutazione dei quattro principi scientifici analizzati (interferometria a scansione verticale, profilometria a puntatore laser, microscopia confocale, microscopia a variazione di fuoco), **sembrerebbe che la microscopia confocale e quella a variazione di fuoco siano i più promettenti come sviluppi tecnologici da applicare a strumenti di balistica forense**. Però, nonostante i sistemi confocali (tipo quello implementato in IBIS) abbiano una risoluzione verticale di un'ordine di grandezza superiore (rispetto quella utilizzata per l'acquisizione della superficie del campione), la loro incapacità di catturare immagini in presenza di rapidi cambi di curvatura implica che non possano essere acquisiti dati in aree critiche dei campioni analizzati, come nel caso delle transizioni tra le impronte primarie (imprese sui proiettili sparati attraverso canne rigate dai rispettivi pieni e vuoti), delle impronte di percussione anulari o dei bordi di reperti balistici deformati. Quanto alle tecnologie basate su interferometria a scansione verticale e profilometria a puntatore laser, lo studio ha messo in evidenza carenze nell'applicazione all'identificazione delle armi da fuoco. In particolare, **l'interferometria a scansione verticale soffre di problemi di messa a fuoco specialmente nelle regioni dei proiettili corrispondenti alle impronte di riga. La profilometria a puntatore laser ha mostrato artefatti inconsistenti e fuorvianti, come anche un alto livello di "rumore" nei segnali acquisiti, che ne rendono sconsigliabile l'uso nelle analisi balistiche**.

Al di là dei tecnicismi, in conclusione nessuna metodica è però risultata, ai tempi dello studio, pienamente efficiente o esente da difetti che ne possano compromettere l'uso estensivo nell'ambito della comparazione balistica. Per di più, la percentuale di errore riscontrata dai ricercatori non permette di concludere chiaramente per l'individuazione di un candidato ottimale sul quale basare un nuovo approccio alternativo al microscopio comparatore.

4. **Osservazioni e conclusioni**

Sebbene qui si sia avuto modo di tratteggiare appena le nuove applicazioni tecnologiche per le analisi balistiche, la speranza è che il lettore abbia almeno la sensazione di un settore in cui ricerca e sviluppo avanzino veramente di pari passo. L'impegno dei ricercatori, così come gli investimenti dei vari governi, non mancano e le forze di polizia non stanno certo a guardare ma, al contrario, si stanno rendendo protagoniste dell'innovazione cercando di stringere collaborazioni con gli enti di ricerca ed il mondo accademico, fornendo quanti più dati disponibili al fine di studiare e testare le innovazioni che a mano a mano vengono presentate.

Certo, queste tecnologie non sono ancora mature al punto dall'essere unanimemente accettate nelle aule dei tribunali, come invece avviene per il tradizionale microscopio comparatore, ma la strada, comunque, non è poi così lunga. ©

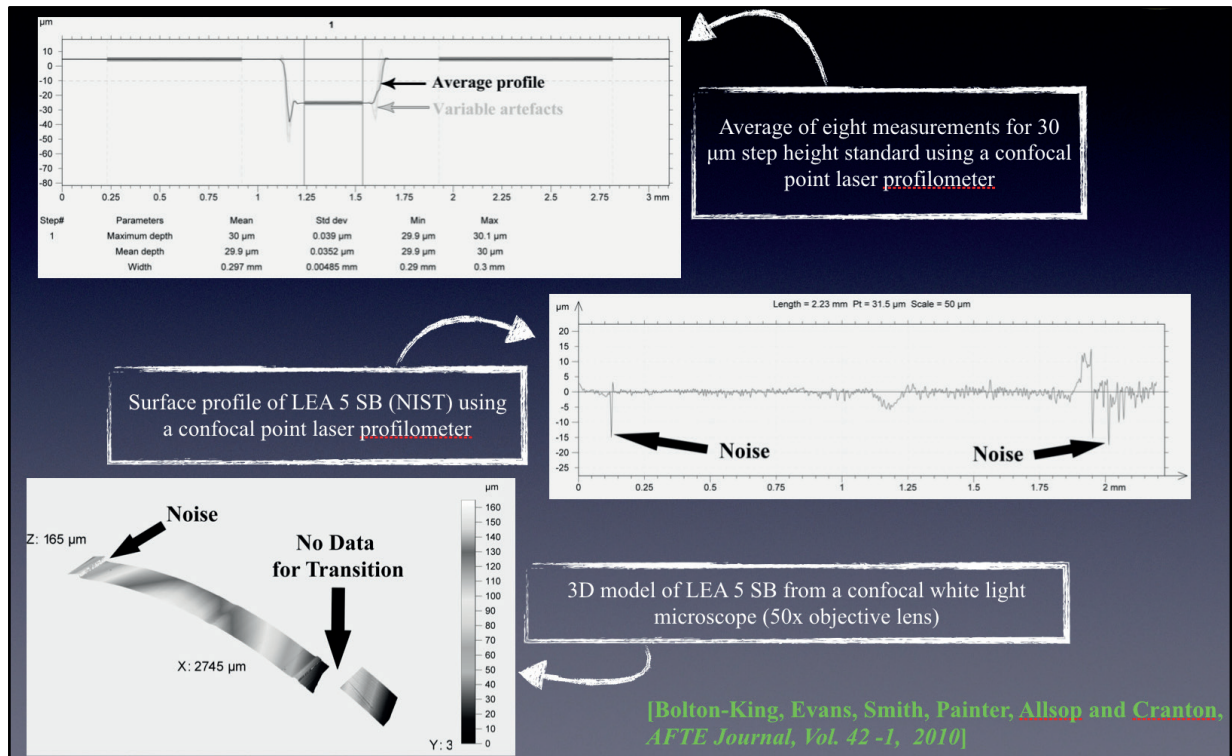


Figura 3: Criticità nelle tecniche analitiche applicate alla scansione della superficie dei proiettili sparati

Bibliografia

- ▷ Bolton-King, Evans, Smith, Painter, Allsop and Cranton, "What are the Prospects of 3D Profiling Systems Applied to Firearms and Toolmark Identification?", AFTE Journal--Volume 42 Number 1--Winter 2010, pp. 23-33.
- ▷ Banno, A., Masuda, T. and Ikeuchi, K., "Three dimensional visualization and comparison of impressions on red bullets", Forensic Science International, 140, 2-3, 3/10 2004, pp. 233-240.
- ▷ Bachrach, B., "Development of a 3D-based automated firearms evidence comparison system", Journal of Forensic Science, Vol. 47, Number 6, November 2002, pp. 1253-1264.
- ▷ Brinck, T.B., "Comparing the performance of IBIS and BulletTRAX-3D technology using bullets fired through 10 consecutively rifled barrels", Journal of Forensic Science, Vol. 53, Number 3, May 2008, pp. 677-682.
- ▷ Poon, C.Y. and Bhushan, B., "Comparison of surface roughness measurements by stylus profiler, AFM and non-contact optical profiler", Wear, 190, 1, Nov 1995, pp. 76-88. [14] Xie, F., Xiao, S., Blunt, L., Zeng, W. and Jiang, X., "Automated bullet identification system based on surface topography techniques", Wear, 266, 5-6, 3/15 2009, pp. 518-522.
- ▷ Senin, N., Groppetti, R., Garofano, L., Fratini, P. and Pierni, M., "Three-dimensional surface topography acquisition and analysis for firearm identification", Journal of Forensic Science, Vol. 51, Number 2, March 2006, pp. 282-295.
- ▷ Geradts, Z., Keijer, J. and Keereweir, I., "A new approach to automatic comparison of striation marks", Journal of Forensic Science, Vol. 39, Number 4, July 1994, pp. 974-980.
- ▷ Sakarya, U., Leloğlu, U.M. and Tunali, E., "Three-dimensional surface reconstruction for cartridge cases using photometric stereo", Forensic Science International, 175, 2-3, 3/5 2008, pp. 209-217.
- ▷ Breitmeier, U. and Schmid, H., "Lasercomp: A surface measurement system for forensic applications", Forensic Science International, 89, 1-2, 9/19 1997, pp. 1-13.
- ▷ De Kinder, J. and Bonfanti, M., "Automated comparisons of bullet striations based on 3D topography", Forensic Science International, 101, 2, 4/26 1999, pp. 85-93.
- ▷ Song, J.F., Vorburger, T.V., Renegar, T., et al., "Correlation of topography measurements of NIST SRM 2460 standard bullets by four techniques", Meas. Sci. Technol., 17, 2006, pp. 500-503.
- ▷ Yoshizawa, T., Handbook of optical metrology: Principles and applications, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2009.
- ▷ Gadelmawla, E.S., Koura, M.M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M. and Soliman, H.H., "Roughness parameters", J. Mater. Process. Technol., 123, 1, 4/10 2002, pp. 133-145.
- ▷ Hamby, J.E. and Thorpe, J.W. "The History of Firearm and Toolmark Identification". 2008 April. Jeffrey Scott Doyle.
- ▷ Hamby, J.E., Brundage, D.J. and Thorpe, J.W., "The identification of bullets fired from 10 consecutively rifled 9mm Ruger pistol barrels: A research project involving 507 participants from 20 countries", AFTE Journal, Vol. 41, Number 2, Spring 2009, pp. 99-110.
- ▷ Hamby, J.E., "Forensic firearms examination", PhD, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, 2001.
- ▷ Nichols, R., "Defending the scientific foundations of the firearms and toolmark identification discipline: Responding to recent challenges", Journal of Forensic Science, Vol. 52, Number 3, May 2007, pp. 586-594.
- ▷ National Research Council, Committee to Assess the Feasibility, Accuracy, and Technical Capability of a National Ballistics Database, Daniel Cork, et al., Ballistic imaging, The National Academies Press, Washington, DC, 2008.
- ▷ AFTE Committee for the Advancement of the Science of Firearm & Toolmark Identification, "The response of the association of firearm and toolmark examiners to the National Academy of Sciences 2008 report assessing the feasibility, accuracy, and technical capability of a national ballistics database August 20, 2008", AFTE Journal, Vol. 40, Number 3, Summer 2008, pp. 234-244. ♦