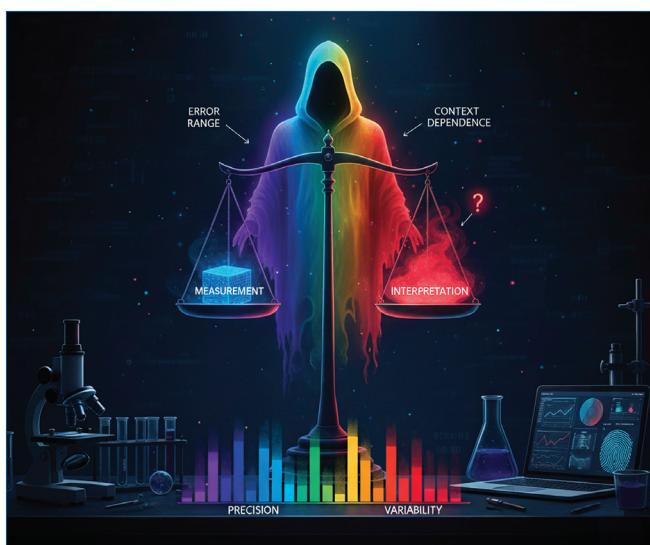




LO SPETTRO DELL'INCERTEZZA DELLA PROVA SCIENTIFICO-FORENSE

Nella valutazione della prova scientifica in ambito forense, il concetto di incertezza, abituale ai chimici e relativo alle metodologie e misure strumentali, deve essere ampliato al fine di prendere in considerazione sia la singolarità dei casi in esame sia le variabili biologiche spesso coinvolte. Una varietà di scenari illustrano questa osservazione.



Premesse

Al termine “spettro” citato nel titolo abbiamo voluto attribuire un duplice significato. Nella prima accezione, è sinonimo di “fantasma”, quale minaccia impalpabile che grava sulla valutazione della prova scientifica; nella seconda si riferisce all’ampio ventaglio di fattori che possono contribuire all’indeterminatezza complessiva dell’incertezza quando si studino situazioni reali di contesti scientifico-forensi. Ai tradizionali fattori presi in considerazione in ambito analitico (incertezza di misura, di metodo, di campionamento) si abbinano altri fattori - tipicamente forensi - che riguardano l’irripetibilità della prova, la rappresentatività del reperto, la varietà

delle caratteristiche individuali della persona indagata e della vittima, il tempo trascorso fra evento e repertamento e il tempo intercorso fra le diverse fasi procedurali. Attraverso alcuni esempi tratti dall’esperienza personale, la presente nota introduttiva al tema del fascicolo intende richiamare la complessità delle problematiche coinvolte nella valutazione scientifica delle attività consulenziali e peritali che il/la professionista chimico/a si trova ad affrontare in ambito forense.

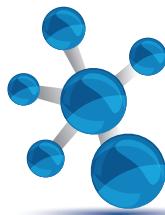
Approcci tradizionali alla valutazione dell’incertezza: perché non funzionano

Per garantire l’affidabilità del dato scientifico da utilizzare a fini di prova, il/la Chimico/a Forense dispone solitamente di quattro strategie.

La prima, più comune, consiste nell’utilizzare un metodo validato, in cui sono acquisite evidenze sperimentali e oggettive che i requisiti particolari per l’utilizzazione prevista siano soddisfatti, cioè che il metodo sia adatto allo scopo.

La seconda strategia consiste nell’utilizzare un metodo che non sia solo validato, ma anche accreditato ai sensi della norma ISO 17025 o equivalente. Terza strategia: un metodo validato e/o accreditato è utilizzato al di fuori del suo campo di applicazione convenzionale.

Infine - quarta strategia - si applica un metodo disponibile nella letteratura scientifica di riferimento, anche in un contesto differente.



Le quattro strategie sono difendibili in sede di contraddittorio, anche se con “forza” diversa, quando siano supportate da dati di laboratorio coerenti con il caso in esame. L’uso di un metodo accreditato si configura come il livello più elevato di assicurazione della qualità, grazie all’associazione tra il risultato e la relativa incertezza di misura, nel rapporto di prova.

Trattando di incertezza, occorre preliminarmente menzionare le strategie comunemente impiegate per stimare l’incertezza di misura nelle determinazioni quantitative, che si è soliti distinguere in “top-down” e “bottom-up” [1]. In linea generale, l’incertezza di misura top-down si stima dall’analisi statistica di risultati di misure multiple, mentre l’incertezza bottom-up si calcola combinando le incertezze note di ogni singola fonte (strumenti, materiali, procedure). In ambito forense, entrambe le strategie mostrano dei limiti. Le valutazioni “top-down” si possono esprimere esclusivamente quando la misura di interesse applichi metodiche standardizzate e validate su campioni strettamente analoghi al reperto preso in esame e si riferiscono soltanto agli aspetti metodologici dell’incertezza, trascurando i fattori precedentemente definiti “forensi”. Le strategie “bottom-up” hanno intrinsecamente la capacità di considerare tutte le fonti di incertezza e sono pertanto più rigorose, ma trascurano da un lato gli effetti compensativi, dall’altro l’unicità del reperto esaminato che può tradursi in un errore sistematico irriconoscibile, al di là della fiducia che l’apparente controllo dei fattori genera.

Incertezza nella prova e scelta dicotomica del giudizio

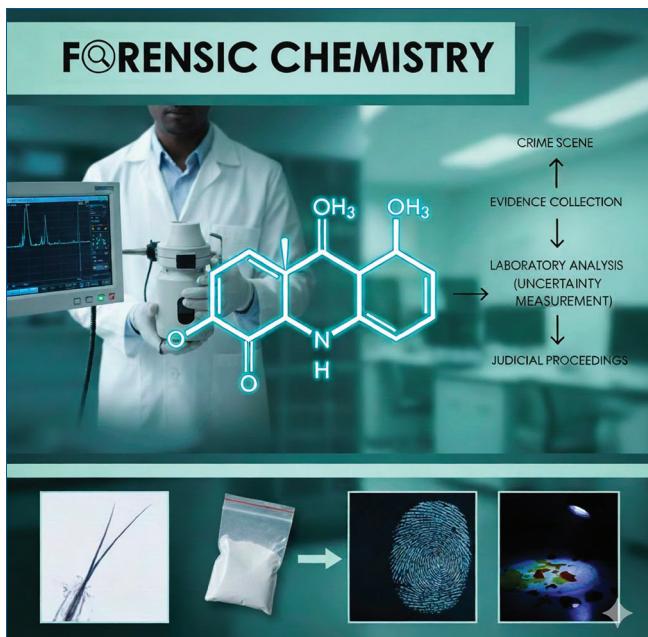
Come è ben noto ad ogni Chimico/a, qualunque misura è inevitabilmente associata ad una variabilità casuale, oltre che potenzialmente affetta da uno o più errori sistematici. La variabilità randomica è solitamente espressa in termini probabilistici da una curva gaussiana, la quale pur essendo centrata intorno al valore medio ottenuto da una serie ripetuta di misurazioni (probabilità massima), si estende teoricamente ai due lati della curva senza mai azzerarsi. Questo modello teorico si scontra concettualmente con la scelta dicotomica di ogni formulazione di giudizio che debba essere espresso in ambito forense. Per esempio, nel quesito

peritale può essere chiesto se un determinato reperto possa o non possa essere associato ad una persona indagata, oppure se esista o non esista evidenza di un reato commesso, da cui deriva la colpevolezza o non colpevolezza della persona indagata rispetto al reato ascritto. L’assunto pregiudiziale della “certezza della prova” si scontra dialetticamente con una distribuzione probabilistica che non potrà mai assicurare il 100% di certezza. Da ciò deriva, in termini pratici, la chiosa “al di là di ogni ragionevole dubbio” apposta all’assioma iniziale.

In concreto, all’Incaricato/a viene spesso richiesto di sostanziare la perizia con un’espressione probabilistica, la quale però è spesso contestata in merito alla sua correttezza o presunta parzialità. La più comune espressione probabilistica in uso è il cosiddetto “likelihood ratio” (rapporto di probabilità), che coincide con gli “odds” delle scommesse sportive, eccetto che per un’eventuale correzione (probabilità a priori) desunta dalla valutazione degli elementi indiziari, secondo i criteri della statistica Bayesiana [2]. In sostanza, si esprime il rapporto fra la probabilità di attribuzione (del reperto, del reato ecc.) alla persona indagata e la probabilità di attribuzione ad una persona diversa da egli/ella, così come nelle scommesse sportive la “probabilità di vittoria di X” viene divisa per la “probabilità di vittoria di altri, rispetto a X”. Ciò che viene spesso contestato in tale formulazione è che non tutti gli elementi o fattori potenzialmente in grado di influenzare le due probabilità siano stati opportunamente presi in considerazione nella condotta peritale. Nei paragrafi che seguono, vengono illustrati alcuni di tali fattori.

Irripetibilità della prova e incertezza di misura

L’art. 360 del Codice di procedura penale regolamenta gli accertamenti tecnici che riguardano persone, cose o luoghi il cui stato è soggetto a modificazione nel tempo. Tali accertamenti vengono definiti come “non ripetibili”. Entro questo quadro generale, un contesto più limitato è quello in cui l’esecuzione della prova “consuma” l’intero reperto, come talvolta avviene negli accertamenti di natura chimica. Questo contesto appare in contrasto con l’opportunità di determinare l’incertezza della determinazione effettuata, oltre che il valore medio



di una serie ripetuta di analisi; ogni analisi chimica va infatti associata alla garanzia di ripetibilità e ogni risultato medio va espresso con l'ampiezza della sua incertezza. Un parziale superamento di questo limite si ottiene quando l'accertamento venga svolto con una metodica standard preventivamente validata oppure mediante una metodica validata *ad hoc* in sede di accertamento, che comprenda la determinazione dell'incertezza, seppure misurata su reperti/campioni differenti e/o surrogati (per esempio, bianchi fortificati). Questo approccio metodologico trascura l'eventuale unicità del reperto, ipotizzando la sua omogeneità rispetto ai reperti surrogati.

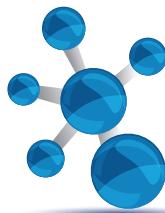
Un secondo contesto richiamato nella definizione iniziale è quello in cui il tempo modifichi il reperto stesso. In tal caso, è opportuno che l'accertamento avvenga nel tempo più breve possibile affinché il decadimento del reperto non introduca un fattore non quantificabile di incertezza nella prova scientifica. La necessità di immediatezza deve tuttavia conciliarsi con l'obbligo di garantire a tutte le Parti coinvolte nel procedimento di poter partecipare alle operazioni peritali.

Ulteriori complicazioni e contributi all'incertezza si manifestano quando il repertamento stesso e il conseguente accertamento peritale sono potuti avvenire a distanza di tempo dall'accadimento degli eventi sotto esame. Una circostanza comune

in cui si manifesta questo inconveniente è quella degli accertamenti tossicologici post-mortali, che sono influenzati in maniera sostanziale dalle modificazioni post-mortali del cadavere, in seguito sottoposto al prelievo dei reperti in sede autoptica. Infine possono verificarsi casistiche in cui la modifica dei reperti nel tempo non sia preventivamente nota o prevedibile, ma che si manifesti concretamente lungo le diverse fasi in cui si articola un procedimento giudiziario, che talvolta si susseguono durante periodi di diversi anni. Un esempio tratto dalla nostra esperienza personale riguarda un caso di somministrazione illecita di uno steroide androgeno anabolico semisintetico in un allevamento di bovini da carne. I reperti da analizzare (porzioni di fegato raccolte in sede di macellazione) furono suddivisi in sei diverse aliquote adibite alle analisi di prima istanza, di conferma, di controanalisi e a disposizione delle Parti. Pur sottoposte a conservazione in condizioni di congelamento considerate idonee a preservare i reperti inalterati nel tempo, le analisi svolte sulle diverse aliquote nell'arco di quasi due anni mostrarono la progressiva e rapida diminuzione della concentrazione dello steroide di uso illecito, presumibilmente a causa della residua attività enzimatica operante anche in condizioni di temperatura estremamente bassa.

Metodo di campionamento e rappresentatività del reperto

Entro la grande varietà delle problematiche che si possono presentare nelle scienze forensi, esistono situazioni in cui le regole di campionamento sono codificate in maniera sostanzialmente rigida (ad esempio, come campionare una grande partita di sostanze stupefacenti sotto sequestro giudiziario oppure come effettuare i prelievi e la relativa aliquotazione di campioni biologici di animali in sede di macellazione), altre situazioni in cui esistono linee-guida [3-5] che suggeriscono le modalità ottimali di repartamento [3, 4] (per esempio, nel campionamento di liquidi e tessuti biologici in corso di autopsia [5]), altre ancora in cui la scena del reato non si presta a generalizzazioni e pertanto il campionamento avviene soprattutto sulla base dell'esperienza professionale. Soprattutto in quest'ultima fattispecie di contingenze, l'incertezza nella valutazione scientifica delle prove dipende



più dalla rappresentatività dei reperti raccolti che non dalla metodica di misura/analisi.

Una tipologia di casi accomunati da una particolarità, al di là dell'oggetto specifico di indagine, è quella che si indirizza alla ricerca di "tracce" identificative del reato in uno scenario complesso (impronte, uso di sostanze illecite, esplosivi, inneschi d'incendio). In questa generale casistica, l'incertezza legata alla scarsa rappresentatività dei reperti raccolti si può combinare con la potenziale incorrettezza degli aspetti metodologici della misura, singolarmente stressati al fine di pervenire alla massima sensibilità. Il rischio sotteso è quello di "trovare ciò che non c'è" (contaminazione accidentale) o di attribuire importanza a ciò che non ha significato. Per illustrare meglio questo rischio, useremo nuovamente un esempio tratto dall'esperienza personale.

La perpetrazione della strage di Capaci nel 1992 produsse uno scenario estremamente complesso sul quale accorsero disordinatamente Forze dell'Ordine e cronisti, senza che esistessero - a quel tempo - regole precise volte a salvaguardare la scena del reato. Il repertamento finalizzato alla ricerca degli esplosivi utilizzati fu svolto indipendentemente da diversi Soggetti incaricati, ivi compreso Personale dell'FBI prontamente accorso dagli Stati Uniti. Le risultanze analitiche prodotte dai diversi laboratori coinvolti furono abbastanza omogenee, con l'eccezione del ritrovamento di tracce di pentrite (tetraniitro di pentaeritrite), riscontrate dal solo laboratorio dell'FBI in un unico campione di cemento. Tenuto conto che la pentrite è un esplosivo di ristretto uso militare e una volta escluso che la sua presenza fosse dovuta all'impiego di corda detonante (miccia) in quanto l'esplosione fu attivata mediante radiocomando, tale ritrovamento fu collegato al possibile coinvolgimento dei Servizi Segreti nell'attentato. Su tale ipotesi vennero versati per anni fiumi d'inchiostro, peraltro alimentati dalla stima pregiudiziale attribuita agli accertamenti tecnici svolti dall'FBI. Quando, a distanza di molti anni, uno di noi fu incaricato di rivisitare le possibili modalità operative dell'evento esplosivo si stupì dell'unicità del riscontro, peraltro riportato nel documento sulle deduzioni di indagine trasmesso a suo tempo dall'FBI. Tramite richiesta di rogatoria internazionale della Procura, si ottenne copia del-

le pagine manoscritte del quaderno di laboratorio, che riportava le procedure operative. Si apprese che il blocco di cemento repertato fu estratto per due volte con 2 litri acetone lasciati quindi a evaporare sotto cappa "overnight". Il residuo, ripreso con poche gocce di solvente fu poi analizzato con una tecnica (DCI-MS [6]) dotata di alta sensibilità per l'epoca. Se ne dedusse il forte sospetto di contaminazione ambientale, occorsa in un laboratorio ove la presenza di esplosivi era abituale. L'importanza dell'oggetto d'indagine e l'esigenza di pervenire rapidamente a informazioni significative "ad ogni costo" per indirizzare le indagini, superarono la dovuta prudenza metodologica e interpretativa, sempre doverosa nelle investigazioni forensi.

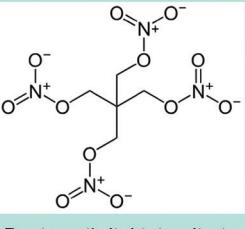
Incertezza rispetto a valori-soglia (cut-off)

In altre fattispecie di accertamenti, la prudenza relativa alla potenziale contaminazione accidentale dei reperti è invece codificata nell'espressione di un valore soglia di concentrazione (*cut-off* o limite legale), al di sotto del quale non è lecito affermare la violazione di un regolamento o di una legge. È questo il caso delle analisi tossicologiche volte alla determinazione di sostanze d'abuso in campioni biologici, ma anche di molte analisi di controllo di carattere ambientale. Poiché la metodica analitica impiegata per la determinazione è a sua volta affetta da un'incertezza che deve essere valutata

POST-EXPLOSION FORENSICS



Pentaerythritol tetranitrate (penthrite)





in sede di validazione periodica, a garanzia della persona sottoposta ad indagine tossicologica si raccomanda sempre di sottrarre il termine di incertezza dal risultato quantitativo ottenuto, prima di confrontare l'esito di tale sottrazione con il valore di riferimento. Tutte queste precauzioni hanno però carattere generale e non tengono conto della variabilità delle particolarità individuali della persona, che introduce ulteriori elementi di incertezza.

Per esempio, nelle analisi effettuate sulla matrice pilifera (generalmente il capello), esiste un documento di consenso che fissa i valori-soglia per le più comuni sostanze d'abuso [7]. Tuttavia, dalla letteratura scientifica si apprende che, mentre le sostanze acide e idrofiliche sono incorporate in egual misura nella matrice cheratinica dei capelli, a prescindere dal loro colore e forma, lo stesso non si può affermare per le sostanze basiche e idrofobiche. In particolare, il grado di incorporazione di queste ultime sostanze sembra essere direttamente influenzato dal contenuto di melanina (pigmento naturale a caratteristiche acide) nei capelli stessi. In pratica, a parità di condizioni esterne, i capelli scuri hanno una più alta probabilità di superare i valori-soglia dei capelli chiari, con potenziale discriminazione delle etnie (asiatiche, africane) i cui capelli hanno un contenuto di melanina particolarmente alto. Per ovviare a questa discriminazione, un nostro progetto di ricerca ha come obiettivo la costruzione di un modello predittivo che definisca la scala di proporzionalità (o grado di dipendenza) della capacità di incorporazione nei capelli delle diverse molecole (farmaci e sostanze d'abuso) in funzione del contenuto melaninico e dei descrittori molecolari delle sostanze stesse.

Conclusioni

Lungi dall'essere esaustivo, l'insieme delle casistiche riportate nei paragrafi che compongono la presente nota illustrano la complessità dei quadri di indagine che sono sottoposti alla valutazione del/della Chimico/a incaricato/a ad eseguire delle prove scientifiche atte ad accertare la sussistenza di un reato oppure ad attribuirne la responsabilità. La nozione di incertezza su cui il/la laureato/a in Chimica è formato/a si riferisce tipicamente agli aspetti metodologici, strumentali e di misura, men-

tre la valutazione della prova scientifica in ambito forense abbraccia parametri che sono tipicamente legati alla sfera di contesto e/o legati alla variabilità biologica degli individui e dei processi, sui quali soltanto l'esperienza vissuta su una grande varietà di casi può prestare aiuto. Entro questo quadro di incertezza, è quanto mai opportuno che il/la Consulente incaricato/a ponga all'esame delle risultanze scientifiche un'attenzione umile e aperta, affinché le diverse ipotesi di interpretazione delle stesse ricevano equanime e non pregiudiziale considerazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] EURACHEM/CITAC Guide - Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, 3rd Ed., S.L.R. Ellison, A. Williams (Eds.), 2012, https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1.pdf
- [2] F. Taroni, C. Aitken *et al.*, Bayesian Networks and Probabilistic Inference in Forensic Science, J. Wiley, Chichester (UK), 2006.
- [3] United Nations Office on Drugs and Crime - Guidelines on Representative Drug Sampling, 2009, https://www.unodc.org/documents/scientific/Drug_Sampling.pdf
- [4] ENFSI, <https://enfsi.eu/about-enfsi/structure/working-groups/documents-page/documents/best-practice-manuals/>
- [5] Gruppo Tossicologi Forensi Italiani, <https://www.gtfi.it/linee-guida/>
- [6] M. Vincenti, *Int. J. Mass Spectrom.*, 2001, **212**, 505.
- [7] D. Favretto, G. Cooper *et al.*, *Drug Testing & Analysis*, 2023, **15**, 1042.

The Uncertainty Specter-Spectrum in Forensic Science Evidences

In the evaluation of forensic science evidence, the common concept of uncertainty - well-known to chemists and relative to methods and instrumental measurements - should be expanded in order to consider both the uniqueness of the case and the biological variables frequently involved. A variety of circumstances are presented to illustrate this statement.