

La security e le tecnologie nucleari

Il quadro geopolitico internazionale ha acuito le preoccupazioni per un uso illecito di materiali radioattivi da parte di gruppi terroristici. Un'efficace opera di prevenzione e contrasto a questa minaccia non può prescindere dall'utilizzo delle più avanzate tecnologie da parte delle autorità preposte alla sorveglianza, viste in questo caso come utenti finali delle tecnologie stesse. L'ENEA nel corso degli anni si è affermata come punto di riferimento nell'intercettare le loro particolari esigenze e sviluppare di conseguenza tecnologie dispiegabili sul campo. In particolare, attraverso la partecipazione a progetti di ricerca internazionali, l'ENEA ha sviluppato due dispositivi che possono contribuire a evitare e impedire l'opera di contrabbando del materiale necessario per confezionare una "bomba sporca", cioè un dispositivo capace di accoppiare la minaccia esplosiva a quella di un rilascio radiologico. Si tratta del sistema laser ILS (Integrated Laser System) e di quello a neutroni NAI (Neutron Active Interrogation system) che sono stati anche testati in condizioni più possibili vicine a quelle reali

DOI 10.12910/EAI2017-063

di **Nadia Cherubini, Violeta Lazic e Antonietta Rizzo**, ENEA

Il 14 giugno 2017 il porto di Charleston nel South Carolina è rimasto chiuso per più di sette ore a causa dell'allarme lanciato dall'intelligence statunitense circa la presenza in un container di una bomba sporca. I controlli hanno poi permesso di verificare l'infondatezza della minaccia consentendo il ripristino del normale traffico commerciale. Tuttavia questo è indicativo di quanto sia alta l'allerta su tale tipo di minaccia. Questo perché, malgrado

nessun piano di attacco terroristico che prevede l'uso di una bomba sporca o, in termini tecnici, di un Radiological Dispersal Device (RDD), sia mai stato ultimato, esso rimane uno dei più temuti scenari dagli esperti di antiterrorismo. Infatti un RDD accoppia la minaccia esplosiva con quella di contaminazione dell'area circostante l'esplosione con materiale radioattivo. Secondo gli esperti e le simulazioni effettuate, gli effetti di una bomba

sporca in termini di vittime sono legati al potenziale esplosivo della bomba mentre la conseguente dispersione radiologica, ai livelli attuali delle sorgenti reperibili, creerebbe per lo più problemi di trattamento ospedaliero dei contaminati e di decontaminazione dell'area interessata. Ben più profondo sarebbe l'impatto psicologico sulle masse soprattutto per il senso d'insicurezza e sfiducia nei confronti delle autorità preposte



alla prevenzione, che, ai loro occhi, non avrebbero il controllo sulla circolazione di materiale altamente sensibile come quello nucleare. Per questi motivi è necessario dotare le autorità dei più affidabili strumenti tecnologici capaci di affiancare l'opera d'intelligence per intercettare il materiale necessario per la fabbricazione di una bomba sporca durante la fase di contrabbando o dell'ordigno stesso in quella successiva di trasporto.

Tale necessità è stata recepita dalla stessa Commissione Europea che, nell'ambito del "Programma Horizon 2020" di sostegno alla ricerca e nell'ambito del filone *Secure Society*, ha introdotto specifiche azioni per lo sviluppo di sensori avanzati capaci di rispondere a questa esigenza. Si tratta di un complesso obiettivo scientifico e tecnologico finalizzato a migliorare lo stato attuale dell'arte in questo specifico settore sia in

termini di sensibilità di misura degli apparati sia in termini di reale utilizzabilità di essi sul campo. L'ENEA, partendo da specifiche competenze sviluppate negli anni in diversi settori che vanno dalla radioprotezione alla spettroscopia laser, ha sviluppato due sensori capaci di rivelare a distanza la presenza di materiale esplosivo, radiologico e fissile. Si tratta di Integrated Laser System (ILS) e del Neutron Active Interrogation (NAI). Le potenzialità dei due innovativi sensori sono state testate in una dimostrazione sul campo ed in una situazione il più possibile reale ma nel rispetto delle autorizzazioni rilasciate dalle Autorità competenti. Di seguito vengono descritti i principi di base delle due tecnologie e poi i risultati del test sul campo eseguito alla presenza dei principali *stakeholder* europei e sotto la supervisione di rappresentanti della Comunità Europea.

NAI (Neutron Active Interrogation system)

Il dispositivo NAI consente di rivelare in modalità remota su campioni sospetti modeste quantità di materiali fissili (^{235}U , ^{239}Pu) e fertili (^{238}U), unitamente a materiali energetici da utilizzare per la fabbricazione di esplosivi. Si tratta di uno strumento che segna un preciso avanzamento rispetto allo stato dell'arte in questo specifico settore in quanto è il primo capace di rilevare materiali fissili ed esplosivi con un singolo *set-up*. Inoltre, mentre i sistemi in questo momento disponibili sul mercato possono rilevare soltanto quantità pari a circa 300 grammi di ^{235}U , il dispositivo ENEA ha un limite di rivelazione teorico di circa 6 grammi. Il principio di funzionamento del dispositivo è il seguente: una sorgente di interrogazione opportuna emette neutroni, i quali interagendo con l'oggetto da

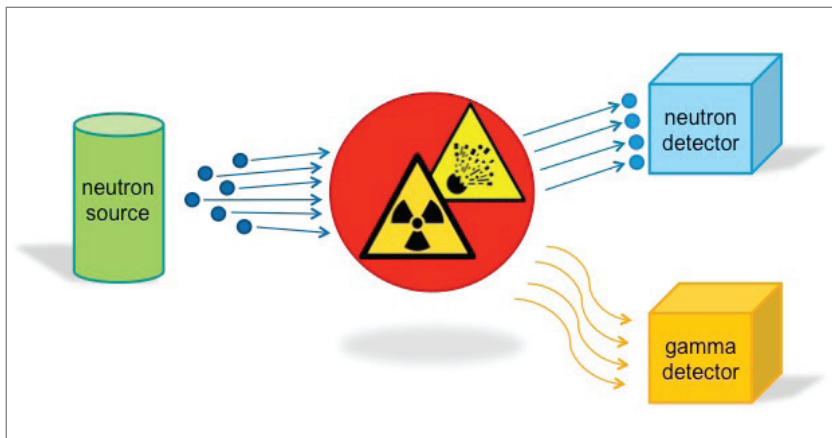


Fig. 1 Schema di funzionamento della tecnica NAI per la rivelazione simultanea di materiale fissile ed esplodente

analizzare provocano l'emissione di radiazione secondaria, neutroni e raggi γ , rivelati con opportuni rivelatori (rivelatori a ^3He per i neutroni e rivelatore HPGe per i γ). In particolare, se è presente materiale fissile vengono emessi neutroni di fissione, se sono presenti esplosivi vengono emessi γ di cattura o *scattering* anelastico per interazione dei neutroni con idrogeno, carbonio, azoto e ossigeno, noti costituenti di un esplosivo. L'elaborazione e l'analisi dei dati provenienti dai rivelatori consentirà il riconoscimento dei materiali pericolosi (Figura 1).

La sorgente di neutroni impiegata sul dispositivo NAI è un generatore di neutroni del tipo deuterio-trizio (Thermo Scientific MP320) mentre la catena di rivelatori per la misurazione dei neutroni secondari emessi dal campione dopo l'eccitazione si basa su una pluralità di rivelatori

Elemento	Energia (MeV)
C	4,44
N	5,11
O	6,13

Tab. 1 Energie caratteristiche dei raggi gamma emessi dai nuclei di interesse

a ^3He alla pressione di 4 bar e con un'efficienza di rilevazione del 5%. Per la rilevazione di raggi γ è stato adottato uno spettrometro portatile HPGe (Trans-SPEC-DX-100). Il campione sospetto viene interrogato periodicamente con un fascio di neutroni pulsato. I neutroni di interrogazione, opportunamente termalizzati, generano fissioni indotte

sul materiale fissile contenuto nel campione, le quali sono seguite dalla rivelazione dei neutroni emessi. Il sistema di rivelazione viene attivato alla fine di ogni impulso per ridurre il contributo dei neutroni di sorgente. La discriminazione dei neutroni di sorgente da quelli di fissione indotta è basata sul metodo del Differential Die-away Time (DDT), che si fonda sui diversi tempi di decadimento dei neutroni di interrogazione e di fissione indotta.

Il dispositivo NAI è completamente gestibile da remoto e dotato di un software che garantisce allo stesso tempo il controllo del dispositivo, l'acquisizione e l'elaborazione di dati. Per l'identificazione degli esplosivi è fondamentale la rilevazione dei raggi gamma emessi dai nuclei di C, N, O, le cui energie caratteristiche sono riportate in Tabella 1.

Il vettore dei rapporti elementari e molecolari (C/N, C/O, N/O, C_2/NO , N_2/CO , N_2/O_2 , C_2/N_2 , C_2/O_2) fornisce un'univoca identificazione

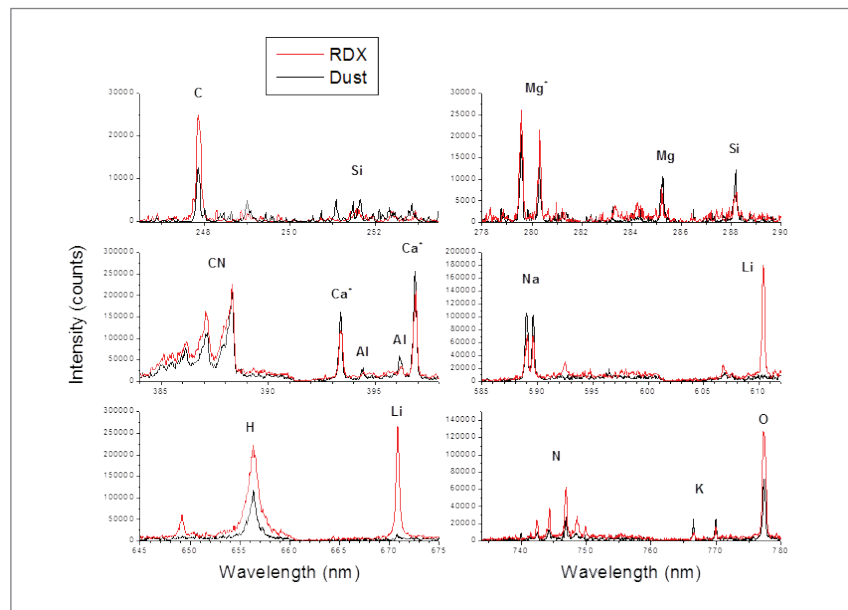


Fig. 2 Spettri LIBS per le impronte digitali contaminate con RDX o la polvere esterna



del tipo di esplosivo eventualmente rivelato.

ILS

Il dispositivo ILS integra per prima volta tre tra le più affidabili tecniche spettroscopiche basate sull'eccitazione laser (Raman, LIF e LIBS) ed è capace di eseguire misure sequenziali selezionando una delle tre tecniche senza la necessità di dover riconfigurare il sistema ovvero sostituire e/o ricollegare i vari componenti. Lo strumento ILS è stato interamente progettato, realizzato e testato dall'ENEA per operare in modalità remota (*stand-off*) per rivelare tracce di esplosivo su superfici a distanza tra 8 m e 50 m, con la possibilità di estensione oltre i 100 m di distanza. Infatti è stato dimostrato che i terroristi durante l'opera di contrabbando e trasporto del materiale esplosivo lasciano inevitabilmente delle impronte digitali contaminate sugli automezzi utilizzati o più genericamente sulle varie superfici con cui vengono a contatto. La rivelazione a distanza di queste tracce permetterebbe di evidenziare inequivocabilmente un'azione criminosa in atto.

Il sistema ILS costituisce un evidente avanzamento rispetto allo stato dell'arte nello specifico campo della rivelazione *stand-off* di esplosivi, in quanto adotta una singola sorgente laser capace di operare alle due lunghezze d'onda necessarie per ottimizzare la risposta di ognuna delle tre tecniche usate.

Infatti, per avere segnali Raman e LIF (SLIF) intensi, bisogna utilizzare l'eccitazione laser nella regione delle basse lunghezze d'onda dell'ultravioletto (UV) mentre il segnale LIBS, basato sulla formazione del plasma sul campione, aumenta incrementando la lunghezza d'onda

d'eccitazione verso la regione del vicino infrarosso (IR). In ILS, dopo le prove in laboratorio, è stata scelta per il Raman e la LIF la IIIa armonica del laser Nd:YAG ($\lambda=355$ nm) come l'eccitazione ottimale mentre per il LIBS la lunghezza d'onda fondamentale della stessa sorgente laser a $\lambda=1064$ nm. ILS adotta solu-

zioni innovative anche nell'apparato di focalizzazione progressiva del fascio laser sul target da analizzare, nel sistema di rivelazione del segnale spettroscopico e nella gestione automatizzata e remota dell'intero dispositivo.

In Figura 2 sono riportati gli spettri LIBS acquisiti con ILS su due im-

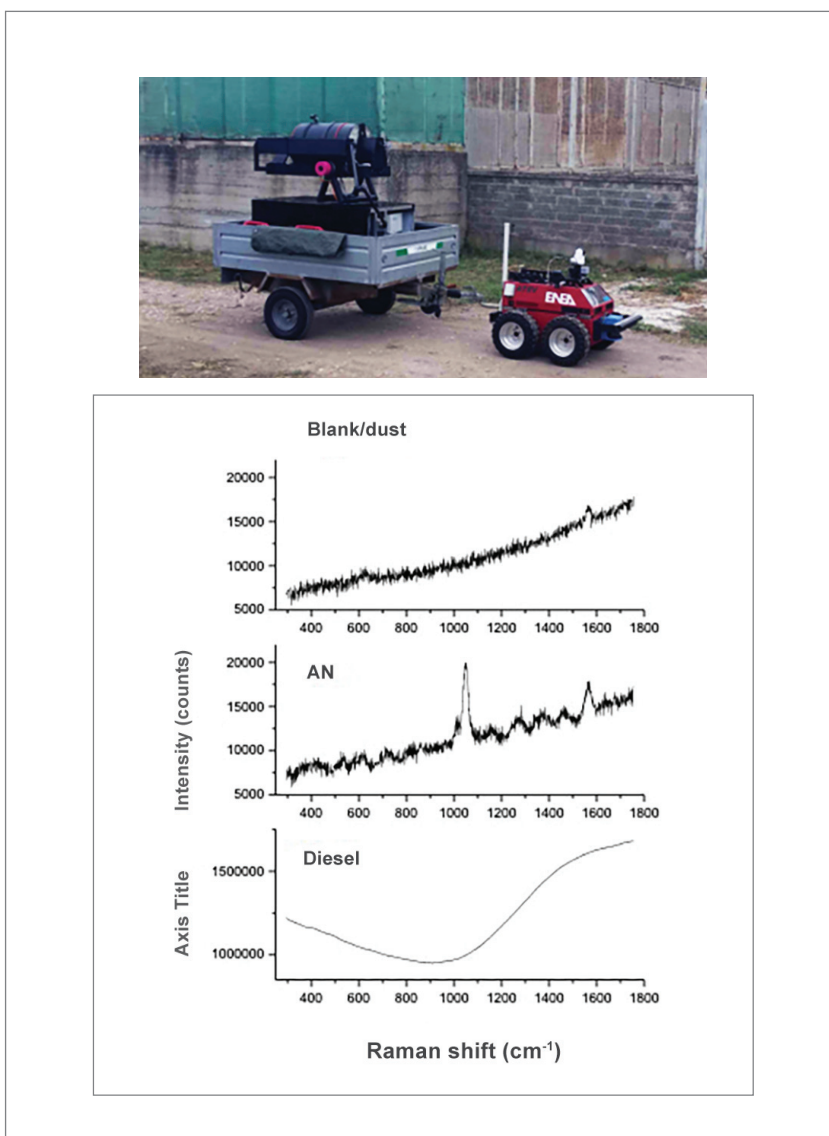


Fig. 3 Il sistema ILS trainato da Prassi (foto in alto) durante la DEMO (grafico in basso). Spettri Raman che hanno permesso di discriminare la presenza di nitrato d'ammonio (AN) su alcune impronte digitali sul veicolo usato nella DEMO



pronte digitali, una contaminata con tracce di esplosivo RDX, l'altra con comune polvere.

L'analisi dei dati permette inequivocabilmente di discriminare la presenza di esplosivo su una delle due impronte. Le prove di laboratorio hanno dimostrato che ILS è capace di rivelare la presenza di esplosivo fino a impronte di nona generazione, intendendo con questa terminologia l'impronta lasciata dopo nove contatti su diverse superfici a partire dal momento della deposizione delle tracce di esplosivo sul dito del terrorista.

Demo

Le due tecnologie sviluppate dall'ENEA sono state provate durante un'azione dimostrativa presso l'area qualificata del Centro ENEA di Frascati per sperimentazione con materiali energetici. Lo scenario ha comportato l'utilizzo di un mezzo di trasporto all'interno del quale erano stati posizionati quantitativi ammessi di nitrato d'ammonio e di materiale fissile simulando così una reale situazione di contrabbando di materiale per l'assemblaggio di una bomba

sporca. Inoltre sulla carrozzeria del veicolo erano state preventivamente lasciate impronte digitali con tracce di nitrato d'ammonio e fino alla nona generazione. In Figura 3 è riportato il sistema ILS in azione durante la dimostrazione e trainato in maniera remota dal robot Prassi, anch'esso sviluppato presso i laboratori ENEA. Il sistema, completamente azionato in remoto per assicurare l'integrità degli operatori, ha rivelato a 11 metri di distanza dal veicolo la presenza di tracce di esplosivo sulle impronte digitali riuscendo anche a discriminare la differenza rispetto a impronte re-

canti tracce di polvere e diesel (Figura 3).

La presenza di tracce di esplosivo sulle impronte digitali presenti sulla carrozzeria del veicolo sospetto costituiva un chiaro indizio che ci si trova di fronte ad un tentativo di contrabbando di materiale illecito. Il conseguente innalzamento dello stato di allerta richiedeva il dispiegamento di uno strumento capace di rivelare la natura del materiale eventualmente presente all'interno del veicolo.

Il dispositivo NAI ha permesso di rivelare (Figura 4) la presenza di 6 g di ^{235}U e di 0,5 kg di nitrato d'ammonio confermando che il veicolo era in uso per il contrabbando di materiale adatto alla realizzazione di una bomba sporca.

La deflessione del segnale misurato rispetto al segnale di fondo (vedi parte sinistra della Figura 4) indica la presenza di materiale fissile.

Conclusione

Presso i laboratori ENEA sono stati ideati, sviluppati e testati due dispositivi di misura capaci di migliorare le capacità di monitoraggio e rivelazione del materiale contrabbandato necessario per la realizzazione di

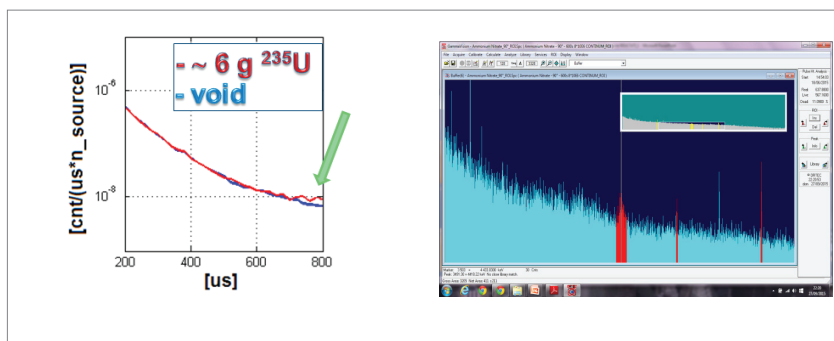


Fig. 4 Misura remota di campioni contenente 6 g di ^{235}U con il dispositivo NAI (destra). La traccia rossa è il segnale in presenza di uranio mentre quella blu rappresenta il segnale di fondo. A sinistra lo spettro gamma che identifica univocamente la presenza di nitrato d'ammonio

un Radiological Dispersal Device. I due strumenti sono il frutto delle competenze sviluppate in ENEA nel corso di molteplici programmi di ricerca e che hanno trovato applicazione nel settore della Security. ILS e NAI sono un tangibile contributo che il mondo della ricerca mette a disposizione di quelli che tecnicamente sono chiamati *practitioner*, cioè di tutte le istituzioni chiamate a

operare fattivamente sul campo per prevenire e rispondere ad attacchi terroristici. Entrambi gli strumenti segnano un miglioramento rispetto all'attuale stato dell'arte e sono costantemente migliorati e perfezionati al fine di accrescere le loro capacità di monitoraggio per un efficace contrasto alle azioni di contrabbando di materiali radiologici ed esplodenti.

I prototipi descritti, sono stati sviluppati nell'ambito del progetto EDEN cofinanziato dalla UE (grant agreement n. 313077, Settimo Programma Quadro) da un team composto dai colleghi Paolo Bartolomei, Luigi De Dominicis, Alessandro Dodaro, Ruggero Lorenzelli, Antonio Palucci, Paola Parente, Stefano Salvi, Carlo Tonelli, oltre che dagli autori.