

## **TITOLO del LAVORO:**

**Sviluppo di tecniche di monitoraggio ambientale avanzate di tipo LIDAR per l'identificazione e la classificazione di particolato nell'ambiente**

## **Descrizione del Progetto:**

La dispersione di particolato nell'ambiente è una tematica rilevante in vari campi della sicurezza ambientale, sia civile che industriale. Le emissioni da combustione per l'autotrasporto e la produzione energetica sono tra le sorgenti maggiori di particolato nelle città. Queste polveri possono raggiungere anche dimensioni inferiori ad un micron, incrementando il rischio che penetrino profondamente i polmoni con chiare conseguenze per la salute [Jason D. Sacks, 2011]. Inoltre, in molti impianti industriali, la risospensione e la mobilitazione di polvere può creare delle miscele pericolose poiché altamente esplosive che, in caso di innesco, possono comportare delle reazioni a catena in grado di distruggere interi impianti [Paul R. Amyotte, 2010]. Nei reattori a fusione nucleare, una delle possibili fonti energetiche rinnovabili del futuro, il monitoraggio del “dust” è un'importante e attiva linea di ricerca sia per questioni operative che di sicurezza. Questo dust, infatti, essendo radioattivo a causa dell'elevato flusso neutronico e della ritenzione di trizio, potrebbe essere il vettore di un evento radiologico [A. Malizia, 2016]. Risulta chiaro, quindi, che un corretto monitoraggio del particolato rappresenta una soluzione preventiva rilevante. Individuare zone ad alto contenuto di particolato potrebbe risolvere molte delle problematiche precedentemente descritte, e non solo. Molti fenomeni avversi all'uomo sono spesso caratterizzati da importanti variazioni del particolato e della composizione atmosferica. Si pensi ai frequenti incendi che avvengono nel nostro paese ogni estate. In genere, tali incendi sono identificati troppo tardi e la capacità di domarli in tempi brevi viene meno a causa delle dimensioni raggiunte al tempo dell'identificazione. È chiaro quindi che anche la tempestività con cui si riesce a identificare un evento potenzialmente rischioso è fondamentale.

L'obiettivo di questa proposta di dottorato mira a sviluppare e implementare una tecnologia in grado di monitorare una vasta area puntando da un'unica postazione fissa (tecnologia stand-off – remote sensing), riuscendo non solo a identificare la presenza anomala di particolato e misurarne la densità ma anche a classificarne le dimensioni e a predire la dispersione.

La tecnologia si basa sulla tecnica LIDAR (LIght Detection And Ranging) [Vladimir A. Kovalev 2004]. Un laser invia un impulso luminoso in atmosfera. La luce, interagendo con il particolato e le molecole in atmosfera, viene in parte retro-diffusa, e tramite delle appropriate tecniche di analisi, è possibile risalire alla concentrazione del particolato e alle variazioni di densità atmosferica. Recentemente, l'utilizzo di tecniche LIDAR basate sull'approccio “Multiwavelength”, ovvero sull'utilizzo di più lunghezze d'onda, ha dimostrato la possibilità di non solo identificare una perturbazione in atmosfera, ma anche di classificarne la causa, con ovvi riscontri scientifici e applicativi. Nel caso del particolato, potremmo testare la possibilità non solo d'identificare e quantificare la sua presenza ma anche cercare di riconoscere la composizione in dimensioni (particolato grossolano, fine ed ultrafine) e, in alcuni casi, la natura chimica. Inoltre, grazie all'utilizzo dei codici di simulazione numerica (CFD) e alle tecniche di machine and deep learning, tramite la misura LIDAR e le condizioni climatiche locali, si potrebbe anche predire la dispersione delle particelle nei tempi a seguire, dando la possibilità di prendere delle misure preventive, come ad esempio un'evacuazione.

L'attività di formazione sarà divisa in tre diverse fasi identificabili con i tre anni di dottorato:

1. La prima fase del programma verte principalmente sulla realizzazione di uno strumento LIDAR da laboratorio. In questa fase, lo studente di dottorato avrà la possibilità di familiarizzare con la tecnica, l'hardware e il software. La possibilità di testare lo strumento in laboratorio, ovvero in un ambiente controllato, permetterà al dottorando di apprendere a pieno la fisica e l'ingegneria che descrivono il funzionamento del LIDAR. La prima fase si chiude con la dimostrazione dello strumento di laboratorio di identificare, classificare, e misurare la concentrazione del particolato in diverse condizioni.
2. La seconda fase mira all'ingegnerizzazione dello strumento. Il dottorando cercherà diverse soluzioni ingegneristiche da applicare a diversi problemi, ambienti e vincoli. Ad esempio, mentre in un ambiente chiuso e privo di persone si possono utilizzare sorgenti laser di qualsiasi lunghezza d'onda e potenza, è assolutamente necessario l'utilizzo di sorgenti sicure per gli occhi in ambienti in cui è prevista la presenza dell'uomo. Lo studente lavorerà allo sviluppo di sia soluzioni ad alte prestazioni e costi, come quella che si potrebbe adottare in grossi impianti industriali e nei reattori a fusione nucleare, sia a soluzioni economiche, miniaturizzate e facilmente trasportabili. La seconda fase si chiuderà con la realizzazione di tre prototipi: uno per il monitoraggio ambientale a grandi distanze (fino a 2 km); uno per il monitoraggio a corte distanze ma facilmente trasportabile e montabile su UAV; un ultimo prototipo di sistema lidar per il monitoraggio del dust nei reattori a fusione nucleare.
3. La terza fase riguarda l'utilizzo dei dati ottenuti dalla tecnologia lidar per fini di sicurezza. Lo studente lavorerà a dei sistemi di predizione di risospensione e mobilitazione del dust combinando tecniche di simulazione numerica con algoritmi di machine learning, permettendo alla tecnologia di fornire chiare informazioni anche sull'evoluzione futura dell'evento monitorato.

#### **Obiettivi formativi:**

Lo studente avrà la possibilità di acquisire diverse competenze sia nel campo della fisica che dell'ingegneria. Al termine del dottorato possiederà una vasta conoscenza della fisica riguardo le interazioni luce-materia, con particolare attenzione alla fisica della diffusione elastica (scattering Mie e Rayleigh). Acquisirà inoltre una vasta conoscenza riguardo sia la parte hardware (laser, detectors, oscilloscopi, DAQ, etc.) sia software (acquisizione di un segnale, tecnologia real-time, post processing di un segnale). Rilevanti saranno anche le competenze acquisite nel campo del machine learning. In generale, la proposta formerà una persona in grado di sviluppare uno strumento partendo da design di concetto basato su dei principi fisici, fino ad arrivare ad una ingegnerizzazione e messa in atto.

#### **Attività previste:**

1. Ricerca bibliografica e approfondimento dei principi fisici che definiscono la diffusione di luce laser a causa di interazioni con il particolato.
2. Realizzazione di un dimostratore in laboratorio, sviluppando sia l'hardware che il software. Test del dimostratore in ambiente controllato. Sviluppo di routine ed interfaccia di strumentazione scientifica per automatizzazione dei processi di acquisizione dei dati sperimentali ed analisi dati
3. Analisi di mercato e individuazione di diverse soluzioni ingegneristiche dello strumento, con il fine di sviluppare soluzioni ottimizzate per diverse applicazioni.
4. Partecipazione a congressi e conferenze nazionali ed internazionali per la presentazione dei risultati ottenuti;
5. Divulgazione dei risultati mediante la scrittura di articoli scientifici.

### **Attinenza del progetto all'area indicata:**

Il progetto formativo punta allo sviluppo di uno strumento potenzialmente in grado di monitorare la qualità dell'aria, la sicurezza degli impianti industriali ed energetici/nucleari. La capacità di monitorare il particolato in atmosfera ha chiari vantaggi in termini di gestione delle aree inquinate. Infatti, mentre particolato di grandi dimensioni sono poco rilevanti in termini di sicurezza, l'identificazione rapida di zone ad alto contenuto di particolato fine ed ultrafine è rilevante nell'evitare esposizione delle persone ad atmosfere di bassa qualità. Ripercussioni di simile entità sono previste anche per l'identificazione precoce di incendi, monitoraggio di zone industriali soggette al fenomeno del dust explosion, e al monitoraggio di polveri radioattive e tossiche nei reattori a fusione nucleare.

Rilevante risulta essere anche la figura professionale e scientifica che si viene a creare da questa proposta: una persona in grado di sviluppare soluzioni efficienti, accurate e precise, unendo la conoscenza della fisica alle odierne elevatissime prestazioni offerte dalle tecniche di machine learning, garantendo la massima sensibilità e specificità dalla tecnologia.

### **Risultati attesi**

Nel processo di formazione ci si attende che lo studente apprenda:

1. Capacità di ideare soluzioni ingegneristiche partendo da fenomeni fisici.
2. Capacità di implementare hardware e software con il fine di costruire uno strumento funzionante e ottimizzato alle richieste dell'applicazione.
3. Capacità di analizzare le misure in maniera critica, sviluppare algoritmi di analisi dati efficienti, e capacità di implementare le tecniche di machine learning esistenti in diverse situazioni applicative.
4. Capacità di identificare, classificare, monitorare e predire l'evoluzione di eventi pericolosi in atmosfera e in ambienti confinati.

### **Riferimenti**

Jason D. Sacks, Lindsay Wichers Stanek, Thomas J. Luben, Douglas O. Johns, Barbara J. Buckley, James S. Brown, and Mary Ross, "Particulate Matter–Induced Health Effects: Who Is Susceptible?", *Environmental Health Perspectives* 119 (4), 2011

Paul R. Amyotte and Rolf K. Eckhoff, "Dust explosion causation, prevention and mitigation: An overview", *Journal of Chemical Health and Safety* 17 (1), 2010

Andrea Malizia, Luigi Antonio Poggi, Jean-François Ciparisse, Riccardo Rossi, Carlo Bellecci and Pasquale Gaudio "A Review of Dangerous Dust in Fusion Reactors: from Its Creation to Its Resuspension in Case of LOCA and LOVA", *Energies* 9(8), 2016

Vladimir A. Kovalev and William E. Eichinger "Elastic Lidar: Theory, Practice and Analysis Methods", *Wiley-Interscience* 2004