

Titolo dell'assegno:

SOLUZIONI INNOVATIVE PLASMA ASSISTITE PER IL TRATTAMENTO DI LIQUIDI -
progetto **PRIN 2020 “ Sustainable Vertical Farming (Vertical Farming Sostenibile)”**

Sedi di attività:

DIN - Dipartimento di Ingegneria Industriale e Laboratorio Applicazioni Industriali dei Plasmi (Via Terracini 24, Bologna).

Relazioni con enti universitari ed extra universitari su tematiche inerenti la ricerca:

- AlmaPlasma s.r.l. – Spin-off accademico partecipato da AlmaCube s.r.l.

Progetto di ricerca:

La rapida urbanizzazione ed industrializzazione di gran parte dei territori mondiali hanno inevitabilmente portato a importanti cambiamenti climatici che porteranno nei prossimi anni una diminuzione della disponibilità di cibo in contrasto ad un forte aumento della domanda. Il continuo aumento della popolazione mondiale renderà necessario un aumento del tasso di germinazione che risulta fortemente legato alla contaminazione delle superfici di semi e del suolo da parte di batteri, a microrganismi e funghi.¹ Per sopperire a queste problematiche, negli ultimi anni, la presenza degli impianti *vertical farms* in Nord America, Asia e Nord Europa è aumentata notevolmente; la diffusione di tali impianti e contemporaneamente di nuove tecniche di coltivazione fuori suolo atte alla diminuzione del consumo idrico hanno aperto le porte verso tecnologie innovative e sostenibili. Attualmente, sia il mondo della ricerca che quello imprenditoriale mostrano forte interesse nello sviluppo del *vertical farming* in Italia. Per il raggiungimento di tale obiettivo è necessario mantenersi aperti verso un mondo fortemente interdisciplinare in grado di mettere a punto strategie per la coltivazione di colture diversificate (e.g. microgreens, fiori edibili, spezie, piccoli frutti, funghi e prodotti acquaponici) sfruttando strategie innovative di controllo dei parassiti, illuminazione LED e gestione del controllo del clima.

In questi sistemi sarà necessario l'utilizzo di soluzioni in grado di aumentare la resistenza dei semi ad agenti patogeni e parassiti e allo stesso tempo per stimolarne la germinazione e la crescita. A tale scopo, attualmente vengono impiegati trattamenti chimici che oltre a presentare numerosi svantaggi economici, portano a uno squilibrio tra ambiente ed ecosistema se utilizzati in modo intensivo.² Pur essendo necessari per la crescita delle piante, i fertilizzanti rappresentano un problema: infatti, a causa di lisciviazione e dispersione nel terreno, contribuiscono all'inquinamento dell'acqua con rischi per la salute. Nonostante ciò, ancora quasi il 50 % degli alimenti prodotti oggi viene coltivato con l'aiuto di fertilizzanti contenenti azoto.³

Sono numerosi gli sforzi per individuare metodi alternativi per produrre azoto da rendere disponibile per le piante e stimolare la loro crescita. Tra questi ultimi, un approccio innovativo per aumentare la produttività agricola e la resa delle coltivazioni con un impatto contenuto sull'ambiente e sull'ecosistema è l'utilizzo dei plasmi freddi di non equilibrio a pressione atmosferica (*CAP – Cold Atmospheric Plasma*). L'impiego di questa tecnologia può aumentare la resa delle coltivazioni in modo considerevole limitando l'attuale consumo di acqua e fertilizzanti.⁴ Le attività faranno parte del Progetto PRIN 2020 “ Sustainable Vertical Farming (Vertical Farming Sostenibile)” Acronimo: V-FARM Codice progetto: 2020ELWM82 CUP: J33C20002350001

Piano di attività:

Durante tutto il periodo di ricerca, si terrà costantemente monitorata l'evoluzione dello stato dell'arte al fine di mantenere aggiornate le conoscenze in merito alle necessità/possibilità di ottimizzazione delle sorgenti plasma impiegate all'interno di strutture dedicate al *vertical farming*. Inoltre, la fase iniziale del progetto riguarderà la progettazione e la realizzazione di sorgenti plasma che possano essere integrate in sistemi di questo tipo. La progettazione di tali prototipi verrà eseguita tenendo in conto le esigenze in termini di ripetibilità di processo, versatilità, robustezza elettrica, sicurezza elettrica e dimensioni imposte dagli impianti di alimentazione di liquidi di irrigazione.

Il piano delle attività che compongono il processo di ottimizzazione può essere descritto come segue:

- analisi approfondita dello stato dell'arte per definire in dettaglio le caratteristiche che dovrebbero avere i sistemi plasma ottimizzati per applicazioni agricole;
- progettazione e simulazione in ambiente CAD, con i software Solid Edge e Creo | PTC, che consentono di validare le prestazioni dei prototipi virtuali prima del passaggio alla fase realizzativa;
- valutazione prestazionale ed economica dei materiali impiegati per la realizzazione delle sorgenti plasma affinché possano soddisfare i requisiti richiesti dagli specifici ambiti d'impiego;
- realizzazione dei prototipi e coordinamento dei processi di lavorazione perché siano rispettate le specifiche di progetto; analisi meccaniche ed elettriche per la valutazione della robustezza e del buon funzionamento dei prototipi rispetto alla generazione del plasma;
- studio della fluidodinamica, delle fasi transitorie della scarica di plasma, della concentrazione delle specie reattive attraverso tecniche di *High speed*, *Schlieren* ed *iCCD Imaging*, *Optical Emission Spectroscopy* e *Optical Absorption Spectroscopy*;
- analisi prestazionale di sorgenti e processi rispetto alle applicazioni per cui sono previste.

Bibliografia

1. Sivachandiran, L. & Khacef, A. Enhanced seed germination and plant growth by atmospheric pressure cold air plasma: combined effect of seed and water treatment. *RSC Adv.* **7**, 1822–1832 (2017).
2. Masclaux-Daubresse, C. *et al.* Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: Challenges for sustainable and productive agriculture. *Ann. Bot.* **105**, 1141–1157 (2010).
3. Kučerová, K., Henselová, M., Slovákova, L. & Hensel, K. Effects of plasma activated water on wheat: Germination, growth parameters, photosynthetic pigments, soluble protein content, and antioxidant enzymes activity. *Plasma Process. Polym.* **16**, 1–14 (2019).
4. Gopinath, P., Vethamoni, P. I. & Gomathi, M. Aeroponics Soilless Cultivation System for Vegetable Crops. *Chem Sci Rev Lett* **6**, 838–849 (2017).
5. Puač, N., Gherardi, M. & Shiratani, M. Plasma agriculture: A rapidly emerging field. *Plasma Process. Polym.* **15**, 1–5 (2018).

Group for Industrial Applications of Plasmas laboratory equipments:

<http://plasmagroup.ing.unibo.it/>

Industrial, environmental and biomedical applications are characterized by the common need of innovative and advanced treatments aimed at enhancing specific properties of different materials (from polymers to metals, from ceramics to biological substrates). Plasma is an ionized gas, able to conduct heat and

electricity, consisting of electrons, neutrals, radicals and ions. The possibility of precisely controlling plasma chemical and physical characteristics makes plasma technology the ideal candidate to solve such a varied range of needs.

The group has a strong experience in the industrial applications of plasmas, developed over more than twenty years of research in the field. A large number of research activities concern processes assisted by thermal plasmas ($T=10-30\text{kK}$), while an increasing volume of research activities concerns non-thermal plasmas (T lower than 40°C) at atmospheric pressure, with particular interest for the treatment of materials and biological applications. The research approach characterizing the activities of the group integrates plasma fundamental studies with experiments, diagnostics and computer modelling for process and devices design and optimization.

Non-thermal plasma sources and electrical generators for material treatment and biomedical applications:

- Plasma source NEOPLAS – KINPEN for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- Plasma source RF – Plasma Needle for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- Plasma source RF – Plasma Tube for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- Plasma source HV pulse – FE-DBD (Floating Electrode Dielectric Barrier Discharge) for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- Plasma source HV pulse – DBD-Jet (Dielectric Barrier Discharge) for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- Plasma source HV pulse – Plasma Gun for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- Plasma source for surface modification in controlled atmosphere.
- System FB Plasma 3D for processes on materials, such as materials activation and organic and inorganic films deposition.
- Direct and indirect DBD plasma sources for surface sanitation, medical applications and material processing.
- Corona jet plasma sources for coating deposition and nanoparticle synthesis.
- High voltage pulse generator FPG 20-1 NMK, FID GmbH (rise time, 2-3 ns) for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- High voltage pulse generator FPG 20-1PM, FID GmbH (rise time, 110-130 ps) for the treatment of biological and thermosensitive materials
- High voltage pulse generator PG100-3D – Plasma Power LLC (rise time, us) for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- RF generator BDS300Black – BDISCOM s.r.l. (13.56 MHz, 300 W) for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- RF generator Stolberg, 13.56 MHz, 1kW, for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- RF generator Comet, 81,36 MHz, 1 kW, for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- HV Amplifier (Trek model 30/20-H-CE, ± 30 kV, 20 mA) connected to a waveform generator (Stanford Research model DS335, 3 MHz), for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- High voltage pulse generator AlmaPULSE, AlmaPlasma srl (AC 1-20 kV_p, 1-5/9-20 kHz, rise time 8 us) for the treatment of biological and thermosensitive materials.
- High voltage Dielectric Barrier Corona and Plasma Discharge Resonant Driver for treatment of materials
- Cost Reference Microplasma Jet
- Semi-automatic system AlmaPLUS, AlmaPlasma srl equipped with a 3-axis CNC pantograph and a remotely controlled high voltage pulsed generator AlmaPULSE, Almaplasma srl. The system includes a remotely controlled liquid and gas console composed of four multilfluid/multirange mass flow controllers EL-FLOW, Bronkhorst, a liquid flow meter miniCORI flow, Bronkhorst and a controlled evaporation mixer CEM, Bronkhorst.

Material processing and characterization:

- System for measurement of water contact angle and surface energy (Kruss DSA4)
- System for Attenuated Total Reflectance – Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) spectroscopy (Agilent Cary 660 FTIR spectrometer).
- Scanning electron microscope (SEM) (Phenom ProX) equipped with EDX spectroscopy for the chemo-morphological analysis of solid.
- Gold sputter coater (SC7620 Mini Sputter System, Quorum technologies).
- Chemical laminar flow hood.
- Glove box for the safe handling of samples in a controlled atmosphere.
- Bubbler for monomeric suspension to produce gas carrying the monomer.
- Nebulizer system for nanocolloids to produce aerosol carrying nanoparticles.
- System for the measurement of specific surface area in solid samples by means of BET technique (NOVA 2200e, Quantachrome Instrument), for the characterization of nanopowders.

Raizer Advanced Plasma Diagnostics Laboratory:

- Acquisition systems for electrical data (oscilloscope, high voltage and current probes).
- High-speed camera NAC-MEMRECAM K3 for visualization and diagnostics of plasma assisted processes.
- High-speed camera NAC-MEMRECAM GX3 for visualization and diagnostics of plasma assisted processes.
- Diagnostics system for Schlieren imaging of plasma assisted processes.
- Optical Emission Spectroscopy system: UV optical fibres, fused silica lens for optical setup, triple grating high resolution spectrometer, integrated and single photon counting detectors.
- Optical Absorption Spectroscopy system: broad spectra lamp, different low power LEDs + spectroscopic system adopted for emission spectroscopy.
- Enthalpy probe for temperature, velocity and composition measurement in thermal plasmas.
- Intensified CCD camera (ICCD) PI-MAX3:1024i, Princeton Instruments with nanosecond exposure time, for time-resolved Optical Emission Spectroscopy and visualization of transient in plasma processes.
- CCD camera PIXIS 400 Princeton instruments adopted for the investigation of transient plasma phenomena.
- Photo multiplier tube (PMT) for the investigation of time-dependent phenomena (e.g. kinetics of plasma-produced reactive species in gas phase).
- Optical band-pass filters for spectral-resolved imaging.
- Fiber optic sensor (AccuSens) for temperature measurement in non-thermal plasmas.
- High precision infrared portable thermometer OPTRIS.
- Camera and lens NIKON for scientific publications.
- Superzoom lens for Edmund optics K2 iCCD.
- Fluoroskan Ascent 100-240V, 50/60 Hz.

Langmuir-Tesla BioPlasma laboratory:

Biological laboratory equipped for cultivation and manipulation of pathogens up to class 2, licensed by the Office for protection and prevention (Document of Risk Assessment sent to AUSL on march 15, 2013) which include:

- Laminar flow hood Class 2.
- Fridge-freezer for storage of bacteria and pathogens.
- Incubator for bacterial growth on plates.
- Heated and vibrant support for the growth of bacteria in culture medium.
- Autoclave for sterilization of non-disposables.
- Demineralizer.
- Movable hood for manipulation of chemical compounds.

- Waste storage system authorized by School of Engineering and Architecture – waste management office.

Golgi BioPlasma-Cell laboratory

Biological laboratory fully equipped for storage, growth and analysis of eukaryotic cell lines. The laboratory includes:

- Laminar flow hood Class 2.
- Fridge, freezer and liquid nitrogen canister for storage of cell lines.
- CO2 incubator for cell growth.
- Refrigerated laboratory centrifuge.
- Autoclave for liquid and solid sterilization.
- Thermomixer for controlled heating of cells and culture broths.
- Microplate reader for cell analysis, e.g. MTT and ELISA assay.
- Spectrophotometer for chemical analysis.
- Inverted microscopy for morphological analysis.