

RICHIESTA PER ATTIVAZIONE ASSEGNO DI RICERCA

Tutor: Dr. Matteo Gherardi

Titolo dell'assegno:

PROGETTAZIONE E DIAGNOSTICA DI SORGENTI DI MICROPLASMA

Sedi di attività:

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

CIRI-MAM – Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale Meccanica Avanzata e Materiali – Unità operativa Materiali Avanzati per la Progettazione e Applicazioni Fotoniche

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

- Rapporti con tutti i centri di ricerca, le università e le aziende coinvolte nei due progetti europei: CA19110 - Plasma applications for smart and sustainable agriculture (<https://www.cost.eu/actions/CA19110/>).
- AlmaPlasma s.r.l. – Spin-off accademico partecipato da AlmaCube s.r.l.
- Rapporti con il Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale Agroalimentare dell'Università di Bologna.

Progetto di ricerca:

I processi plasma assistiti, in particolare quelli che sfruttano plasmi freddi (*Cold Plasma*, CP) [1-3], stanno riscuotendo forte interesse nel mondo della ricerca in settori anche molto distanti tra loro: dall'agroalimentare a quello del cosiddetto *plasma medicine*, dal trattamento di materiali al settore delle telecomunicazioni. I CP possono essere generati con una moltitudine di sorgenti di plasma diverse, tra le quali risultano di particolare interesse quelle miniaturizzate, in cui si creano dei micro-plasmi.

Con il termine micro-plasma ci si riferisce tipicamente a scariche plasma con dimensioni che vanno da alcuni micrometri fino a qualche millimetro. I micro-plasmi accoppiano i vantaggi dei plasmi a bassa temperatura con quelli legati alle dimensioni contenute. I CP creano un ambiente altamente reattivo che contiene particelle cariche (ioni ed elettroni), specie eccitate, radicali, fotoni, mentre le dimensioni micrometriche permettono di ridurre contemporaneamente l'ingombro e l'assorbimento di potenza rispetto ad una sorgente di tipo tradizionale; per questo motivo le sorgenti di micro-plasma risultano adatte per essere integrate in microsistemi e dispositivi portatili [4]. I micro-plasmi hanno quindi la potenzialità di essere utilizzati in varie applicazioni sia medicali che industriali, tra cui: sterilizzazione, trattamento medico di cute umana, attivazione superficiale, sintesi di nanomateriali, coating di film sottili, rimozione di composti organici volatili, decontaminazione biologica, sorgente di eccitazione per sensori portatili e analisi chimica [4-7]. Oltre ai numerosi vantaggi, le sorgenti di micro-plasma pongono contemporaneamente la comunità scientifica davanti a numerose sfide: da un lato la realizzazione stessa di tali sorgenti non risulta scontata per via delle distanze sub millimetriche tra gli elementi che le costituiscono, dall'altro la diagnostica della scarica risulta essere più complicata che nei casi convenzionali.

All'interno di questo contesto si inserisce il progetto di ricerca che mira alla progettazione e caratterizzazione di sorgenti di micro-plasma per due diversi ambiti applicativi: alimentare e telecomunicazioni. Per quanto riguarda il settore alimentare, le caratteristiche dei CP che saranno sfruttate sono connesse strettamente con la chimica delle scariche plasma; è stato infatti dimostrato da Eden [8] come le sorgenti di micro-plasma operate in aria garantiscano la possibilità di produrre ingenti quantità di ozono, che è una delle specie maggiormente utilizzate in ambito alimentare per scopi di decontaminazione. Questo attività richiederà quindi di analizzare quantitativamente la composizione del gas mediante la tecnica di *Optical Absorption Spectroscopy*.

Nel settore delle telecomunicazioni, invece, i CP vengono studiati in quanto possiedono una permittività elettrica complessa e variabile nel tempo, dunque adattabile per controllare l'interazione con onde elettromagnetiche; è quindi possibile realizzare dispositivi a micro-plasmi con funzione di assorbitori, antenne e filtri selettivi rispetto a certe frequenze. In questo ambito applicativo non sono più le specie reattive ad essere interessanti, ma la densità elettronica dei plasmi generati; per questo motivo, sarà necessario sfruttare tecniche di caratterizzazione quali ad esempio *Optical Emission Spectroscopy*.

Piano di attività:

Il progetto di ricerca si articola in più fasi di indagine ed è volto al design e alla realizzazione di sorgenti di micro-plasma:

- Durante la prima fase del progetto verrà svolta un'approfondita analisi della letteratura concernente i micro-plasmi ed in particolare i metodi per sostenere questo tipo di scariche CP.
- Una volta individuati i parametri fondamentali che regolano il funzionamento delle sorgenti di micro-plasma si procederà al design di una sorgente in scala da laboratorio che verrà utilizzata come primo prototipo.
- Per valutare l'intensità del plasma e la sua stabilità verranno svolte analisi elettriche al variare dei principali parametri operativi di processo: tempo di trattamento, tensione, frequenza e corrente dell'impulso di alta tensione, *duty-cycle*, gas di processo e pressione; tali analisi daranno anche informazioni sull'assorbimento di potenza della sorgente sviluppata.
- In seguito, le caratteristiche chimico-fisiche dei micro-plasmi verranno analizzate mediante *Optical Absorption Spectroscopy* e *Optical Emission Spectroscopy*.
- Una volta conclusa la caratterizzazione del primo prototipo da laboratorio verrà valutata la possibilità di ottimizzare la sorgente di micro-plasma andando a massimizzare la produzione di specie reattive desiderate o viceversa riducendo la produzione di specie non ricercate.

Bibliografia

1. M. Laroussi *et al.*, "Nonthermal Decontamination of Biological Media by Atmospheric-Pressure Plasmas: Review, Analysis, and Prospects", *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 30, no. 4, 2002. doi: 10.1109/TPS.2002.804220.
2. L. F. Gaunt *et al.*, "Bactericidal Action of the Reactive Species Produced by Gas-Discharge Nonthermal Plasma at Atmospheric Pressure: A Review", *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 34, no. 4, 2006. doi: 10.1109/TPS.2006.878381.
3. K. Weltmann *et al.*, "Plasmas for medicine", *Physics Reports*, vol. 530, no. 4, 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2013.05.005>.
4. F. Iza *et al.*, "Microplasmas: Sources, particle kinetics, and biomedical applications," *Plasma Processes and Polymers*, vol. 5, no. 4. pp. 322–344, Jun. 2008. doi: 10.1002/ppap.200700162.
5. A. P. Papadakis, "Microplasmas: A Review," *The Open Applied Physics Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 45–63, Jan. 2012, doi: 10.2174/1874183501104010045.
6. J. Hopwood, A. R. Hoskinson, and J. Gregório, "Microplasmas ignited and sustained by microwaves," *Plasma Sources Sci Technol*, vol. 23, no. 6, Dec. 2014, doi: 10.1088/0963-0252/23/6/064002.
7. O. Sakai, T. Naito, T. Shimomura, and K. Tachibana, "Microplasma array with metamaterial effects," *Thin Solid Films*, vol. 518, no. 13, pp. 3444–3448, Apr. 2010, doi: 10.1016/j.tsf.2009.11.040.
8. G. Eden *et al.*, "Efficient generation of ozone in arrays of microchannel plasmas", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 46 305201, 2013. doi: 10.1088/0022-3727/46/30/305201.

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 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.
- 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.
- HVAmplifier (Trek model 30/20-H-CE, $\pm 30\text{ kV}$, 20 mA) connected to a waveform generator (Stanford Research model DS335, 3 MHz), 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

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).

- 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 system for electrical data (Oscilloscope, high voltage and current probes).
- High-speed camera NAC-MEMRECAM K3 for visualization and diagnostics of plasma assisted processes.
- Diagnostics system for Schlieren photography of plasma assisted processes.
- System for plasma diagnostics by means of Optical Emission Spectroscopy.
- High-speed camera NAC-MEMRECAM GX3 for visualization and diagnostics of plasma assisted processes.
- 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.
- Fiber optic sensor for temperature measurement AccuSens 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
- Optical Absorbance Spectroscopy system

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.