

L'AUTORE



Manuela Russo

Tecnologo alimentare con esperienza decennale. Specializzata nella formazione di operatori del settore agro-alimentare, collabora con l'Università della Basilicata come docente in Master Post-Laurea, con l'Università di Salerno per Master Post-Laurea e con enti accreditati per la formazione specifica di professionisti del settore legislativo e agroalimentare. Negli anni si occupa del controllo qualità, della formazione agli operatori e dell'educazione alimentare. Nel 2018 è eletta consigliere dell'OTACL – Ordine Tecnologi Alimentari Campania e Lazio e nel 2020 ricopre il ruolo di Vicepresidente dell'OTACL.

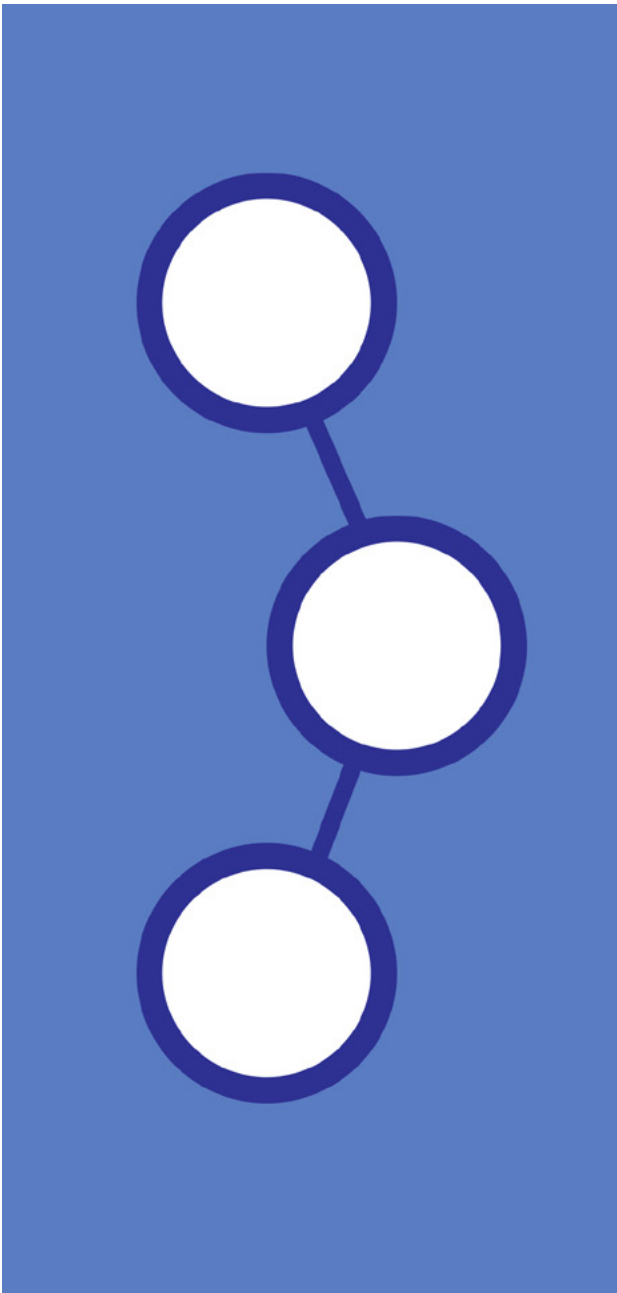
L'OZONO NEI TRATTAMENTI DI SANIFICAZIONE AZIENDALE: IL CASO DEL COVID-19 E NON SOLO

In Italia il Ministero della Sanità con il protocollo n° 24482 del 31/07/1996 ha riconosciuto il sistema di sanificazione con l'**ozono** come presidio naturale per la sterilizzazione di ambienti contaminati da batteri, virus, spore e infestati da acari e insetti.

Caratteristiche battericide e virucide dell'ozono

L'ozono è caratterizzato da una elevata **reattività**, da un elevato potere **ossidante** e dal fatto di essere **instabile** a temperatura ambiente. Proprio per la sua considerevole capacità ossidante, è in grado, danneggiando membrane e pareti cellulari, di ripulire aria e acqua da muffe, lieviti, batteri, spore e virus. Per quanto riguarda i virus, nello specifico, parliamo di inattivazione. Nello specifico, **l'azione dell'ozono ossida e inattiva gli specifici recettori virali utilizzati per la creazione del legame con la parete della cellula da invadere**. In questo modo viene bloccato il meccanismo di riproduzione virale a livello della sua prima fase: l'invasione cellulare. Il virus non viene distrutto, ma reso inerte. Una delle caratteristiche più importanti dell'ozono è quella di avere forma gassosa in condizioni atmosferiche, cosa che ne favorisce l'utilizzo in numerose applicazioni in campo igienico-alimentare. A differenza dei disinfettanti classici, (es. il cloro) che rilasciano residui inquinanti, **l'ozono si decompone ad ossigeno e ciò potrebbe rappresentare un grande vantaggio sia per l'ambiente che per la salute**, evitando effetti collaterali sull'uomo e il danneggiamento della natura. Né il sapore, né l'aspetto degli alimenti viene alterato dall'ozonizzazione [2] [3]. L'ozono risulta quindi un potente antivirale, poiché la percentuale di inattivazione dei virus è del **99,99%**, se si effettuasse una sanificazione di 4 minuti

con un tasso residuo di gas di 0,3 ppm (particelle per milione); garantendo tra l'altro la depurazione e la sterilizzazione assoluta da tutti gli inquinanti presenti nell'aria, negli impianti di condizionamento e nei relativi canali di areazione.



Come sanificare con l'ozono

Essendo una sostanza gassosa, per essere efficace, deve essere utilizzata negli ambienti con una concentrazione che varia a seconda della grandezza degli ambienti stessi e con trattamenti di durata variabile a seconda dell'obiettivo della sanificazione. Per esempio, un ambiente di 100 m³ può essere totalmente sanificato attraverso un trattamento ad ozono di 35

minuti, compresa areazione necessaria degli ambienti, immettendo una precisa quantità di gas nell'aria. **L'ozono non è prodotto e commercializzato, ma è preparato mediante l'utilizzo di apparecchi chiamati ozonizzatori, che convertono l'ossigeno dell'aria in ozono tramite scariche elettriche.** Nella filiera alimentare viene già utilizzato per assicurare l'igiene di lavorazione in tutte le

ORGANISMO	CONCENTRAZIONE	TEMPO DI ESPOSIZIONE
BATTERI (<i>E. Coli</i> , <i>Legionella</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Fecal Streptococcus</i>)	0.23 ppm - 2.2 ppm	< 20 minuti
VIRUS (<i>Poliovirus</i> type-1, <i>Human Rotavirus</i> , <i>Enteric virus</i>)	0.2 ppm - 4.1 ppm	< 20 minuti
MUFFE (<i>Aspergillus Niger</i> , vari ceppi di <i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i>)	2 ppm	60 minuti
FUNGHI (<i>Candida Parapsilosis</i> , <i>Candida Tropicalis</i>)	0.02 ppm - 0.26 ppm	< 1,67 minuti
INSETTI (<i>Acarus Siro</i> , <i>Tyrophagus Casei</i> , <i>Tyrophagus Putrescentiae</i>)	1.5 - 2 ppm	30 minuti

Tab. 1 - Tempi di esposizione necessari per l'inattivazione di specifici agenti patogeni

Microrganismi patogeni	CONDIZIONI DI TRATTAMENTO				DECREMENTO (Log ₁₀)	AUTORI
	OZONO (µg/mL)	TEMPO Min.	pH	TEMPERATURA (°C)		
<i>B. cereus</i>	0.12	5	-	28	>2.0	Broadwater, et al., 1973
<i>Listeria monocytogenes</i>	da 0.2 a 1.8	0.5	5.9	25	da 0.7 a ~ 7	Kim e Yousef, 2000
<i>S. aureus</i>	da 0.3 a 1.97	-	-	10	da 4 a 6	Lezcano et al., 1998
<i>E.coli</i> O157:H7	da 0.3 a 1.0	<0.5 25	5.9	25	da 1.3 a 3.8	Kim e Yousef, 2000
<i>Legionella</i>	0.32	20	7.0	24	> 4.5	Edelstein et al., 1982
<i>Hepatitis A virus</i>	da 0.3 a 0.4	0.08	6-10	3-10	1.0 a 5.0	Hall e Sobsey, 1993
<i>Rotavirus Wa human ATCC</i>	da 1.9 a 15.9	1.0	-	22	da 0.7 a ~ 7	Khadre e Yousef, 2001

Tab. 2 - Condizioni di trattamento per il decremento della carica microbica di specifici microrganismi patogeni (da [4] a [7]).

sue fasi e viene impiegato come agente anti-microbico trovando numerose applicazioni nell'industria agroalimentare. Attualmente l'O₃ (ozono) in campo alimentare è utilizzato per la **decontaminazione superficiale** di prodotti come carne, pollame, uova, pesce, frutta, verdure e spezie, ma anche per la disinfezione delle acque e di superfici destinate al contatto con gli alimenti. Per quanto riguarda i tempi di trattamento, le Tabelle 1 e 2 mostrano i risul-

tati di alcuni studi degli ultimi anni [4] [5] [6] [7] [8] circa la riduzione degli agenti patogeni in relazione alla concentrazione di ozono, alla temperatura ed al pH della soluzione acquosa. **Al termine del processo di ozonizzazione è importante attuare la fase di areazione dei locali.** Dal momento che l'ozono ha agito in profondità su ogni elemento dell'ambiente (nelle moquette, nelle tende, ecc.), il suo effetto continua a "preservare" l'ambiente nonostante il cambio d'aria.

Uno sguardo agli ultimi casi studio

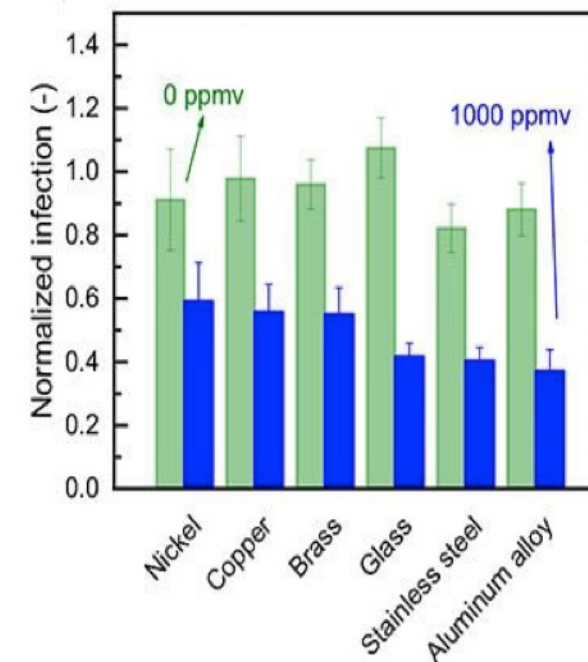


Fig. 1. Superfici di diversi materiali contaminate con pseudovirus di SARS-CoV-2 (1×10^6 particelle per ml), esposti a 1000 ppmv ozono (blu) e 0 ppmv (verde) per 5 minuti

La prova scientifica dell'efficacia dell'ozono nella sanificazione di superfici e ambienti da **Sars-Cov-2** arriva dai ricercatori dell'Università di Tel Aviv, i quali hanno verificato il potere neutralizzante di questo disinfettante gassoso contro il virus. Questo approccio, descritto nel dettaglio nello studio pubblicato su **Environmental Chemistry Letters**, ha permesso ai ricercatori di valutare l'efficacia dell'ozono su sei diversi materiali comunemente utilizzati per le superfici: vetro, acciaio inossidabile, rame, ottone, lega di alluminio e nichel (Fig.1.)

I ricercatori hanno valutato l'effetto dell'ozono esponendo ciascuna delle superfici, contaminate da pseudovirus, a diverse concentrazioni del gas e valutato la sua efficacia igienizzante a seconda del tempo di esposizione. **È stato dimostrato che l'ozono neutralizza il virus in un'ampia gamma di concentrazioni e tempi di esposizione, con una diminuzione della carica virale del 99% dopo 30 minuti di esposizione a 1000 ppmv.** L'ozono ha avuto un effetto notevole sulla disinfezione di superfici in vetro, acciaio inossidabile e leghe di alluminio, che hanno risposto meglio alla disinfezione rispetto alle altre superfici (nichel, rame e ottone).

Oltre a questo, per dimostrare il vantaggio di questo disinfettante gassoso rispetto ai prodotti chimici liquidi, i ricercatori hanno anche testato l'efficacia dell'ozono su superfici difficili da raggiungere, con una percentuale di successo statistica superiore al 90%.

Un altro importante caso studio, vede l'ozono impiegato in fase di **post-raccolta ortofrutticola**. L'ozono trova applicazione lungo tutta la filiera dell'ortofrutta: dalla sanificazione delle acque di irrigazione (il cui impiego è molto diffuso per le *baby leaf*), alla sanificazione dell'acqua di lavaggio dei prodotti (in particolare per la quarta gamma) e dei macchinari utilizzati a questo scopo. Risulta essere una soluzione efficace anche per la sanificazione delle acque di processo e delle acque reflue e per la frigoconservazione.

Maggiori vantaggi rispetto all'impiego di soluzioni acquose

Innanzitutto, l'assenza di residui dovuta ad una facile decomposizione dell'ozono in ossigeno, nonché una maggiore incidenza contro virus, batteri e spore, rispetto al cloro. Inoltre, si tratta di una tecnologia applicabile in differenti fasi della *supply chain* come quella della frigoconservazione, soprattutto in concomitanza con una corretta combinazione di parametri di temperatura e umidità. Confrontato con il cloro, l'ozono ha 1,5 volte il potenziale ossidante. Favorisce un'azione antimicrobica con tempo di contatto 4, 5 volte inferiori a quella del cloro. Anche a concentrazioni pratiche e sicure, l'ozono è efficace nel contrasta-

re spore di patogeni vegetali e parassiti animali. Sempre in ambiente di frigoconservazione, sfruttando il potere ossidante che lo caratterizza, l'azione dell'ozono risulta significativa nell'eliminazione di spore fungine nei magazzini, per il trattamento della muffa sulla superficie del prodotto, per la degradazione dell'etilene (principale responsabile della maturazione dei frutti), l'eliminazione degli odori. Risulta infine interessante notare che alcuni prodotti ortofrutticoli caratterizzati da bassa presenza di fenoli rispondono, a contatto con l'ozono, attivando il metabolismo secondario ed aumentando la produzione di fenoli. Questo

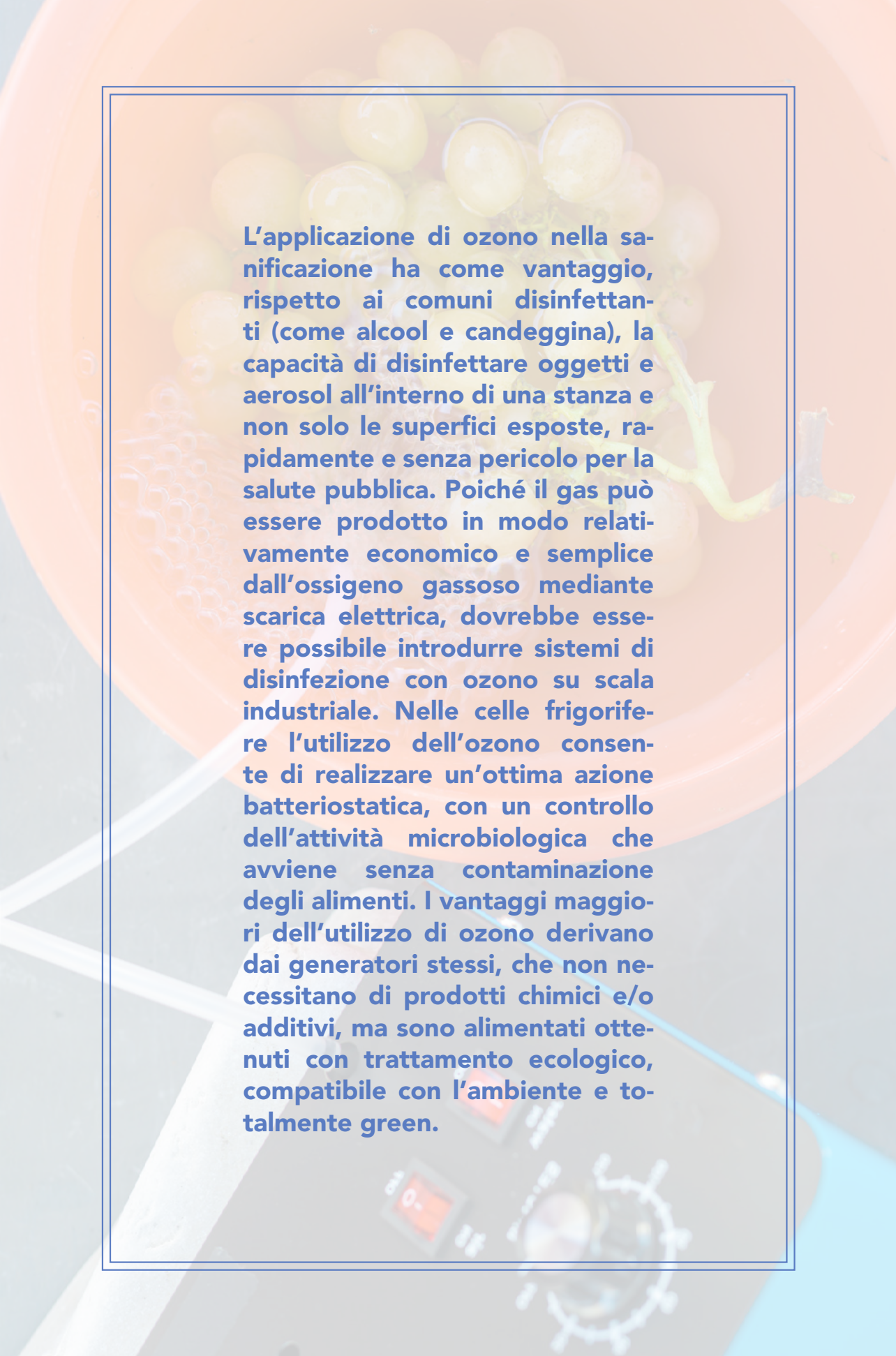
dimostra l'incidenza dell'ozono sui valori nutrizionali di un prodotto ortofrutticolo. I risultati di un lavoro sperimentale riguardante la rimozione catalitica dell'etilene grazie all'ozono, operazione condotta dalla società SAIM Service srl, mettono in luce un aspetto dell'ozono relativamente meno celebre ma di interessante risonanza: **l'impatto fisiologico sul prodotto**. Azioni utili sono state riscontrate, infatti, nella limitazione dell'etilene (C_2H_4) in fase di stoccaggio refrigerato, una delle principali fonti di deterioramento per i prodotti freschi (maturazione e senescenza). Analisi sul pomodoro hanno evidenziato che la presenza di ozono residuo è risultata in grado di controllare e ridurre la concentrazione di etilene fino al 90%, rendendo questa tecnica un'alternativa

efficace all'uso di approcci tradizionali per la riduzione di C_2H_4 . Alla fine della conservazione, i pomodori tenuti con $C_2H_4 + O_3$ hanno mostrato valori di consistenza più elevati e un'evoluzione del colore leggermente inferiore.

Risultati egualmente importanti sono stati raccolti anche per il kiwi, dimostrando l'efficacia dell'ozono nel ridurre l'etilene in misura percepibile dal tessuto vegetale.

I risultati ottenuti riguardo l'applicazione di ozono su questi prodotti evidenzia che, l'esposizione costante di ozono gassoso a basso dosaggio in frigoconservazione può prevenire il decadimento causato da agenti fungini e aumentare la *shelf-life*, assicurando un'eccellente efficacia combinata con assenza di residui sul prodotto [10].





L'applicazione di ozono nella sanificazione ha come vantaggio, rispetto ai comuni disinfettanti (come alcool e candeggina), la capacità di disinfettare oggetti e aerosol all'interno di una stanza e non solo le superfici esposte, rapidamente e senza pericolo per la salute pubblica. Poiché il gas può essere prodotto in modo relativamente economico e semplice dall'ossigeno gassoso mediante scarica elettrica, dovrebbe essere possibile introdurre sistemi di disinfezione con ozono su scala industriale. Nelle celle frigorifere l'utilizzo dell'ozono consente di realizzare un'ottima azione batteriostatica, con un controllo dell'attività microbiologica che avviene senza contaminazione degli alimenti. I vantaggi maggiori dell'utilizzo di ozono derivano dai generatori stessi, che non necessitano di prodotti chimici e/o additivi, ma sono alimentati ottenuti con trattamento ecologico, compatibile con l'ambiente e totalmente green.

BIBLIOGRAFIA

1. Khadre, M. A., and A. E. Yousef. "Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: a comparative study." *International journal of food microbiology* 71.2-3 (2001): 131-138.
2. Violle, H. "Sterilization of Sea Water by Ozone: Application to Purification of Shell-fish." *Revue d'Hygiene et de Medecine Preventive* 51 (1929): 42-6.
3. Kim J.G., Yousef A.E., Dave S. "Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review". *Journal of Food Protection*, 62(9), 1071-1087, 1999.
4. Edelstein, P. H., et al. "Efficacy of ozone in eradication of *Legionella pneumophila* from hospital plumbing fixtures." *Applied and environmental microbiology* 44.6 (1982): 1330-1333.
5. Joret, J. C., J. C. Block, and Y. Richard. "Wastewater Disinfection: Elimination of Fecal Bacteria and Enteric Viruses By Ozone." (1982): 91-99.
6. Farooq, Shaukat, and Shaheen Akhlaque. "Comparative response of mixed cultures of bacteria and virus to ozonation." *Water research* 17.7 (1983): 809-812 [8] Harakeh and Butle, 1986
7. Kawamura, Kimitaka, and Isaac R. Kaplan. "Compositional change of organic matter in rainwater during precipitation events." *Atmospheric Environment* (1967) 20.3 (1986): 527-535.
8. Giancarlo Colelli – Dipartimento SAFE – Università di Foggia – Quaderno ALSIA – Gennaio 2021.