



**Analisi e validazione del sistema germicida Air Blue 330 che
utilizza la tecnologia delle radiazioni UV-C per la
sanificazione di ambienti civili ed ospedalieri**

Prof.ssa Oriana Motta

Prof. Francesco De Caro



Indice

1. Premessa	2
2. Obiettivi specifici dell'attività	3
3. Metodologie e protocolli operativi.....	4
4. Risultati conseguiti.....	4
5. Scostamenti, criticità e azioni correttive.....	10
6. Considerazioni finali	10
Riferimenti bibliografici.....	11



1. Premessa

Nell’ambito della convenzione avente per oggetto “**Analisi e validazione di prodotti e attrezzature per la sanificazione di ambienti civili ed ospedalieri basati sulla tecnologia a radiazione UV**”, stipulata tra il **Dipartimento di Medicina, Chirurgia e Odontoiatria** dell’Università degli Studi di Salerno e la **MediBlue Srl** con sede legale in via Tommaso Caruto n.9 Z.I. 84131 Salerno, l’attività svolta è dedicata all’analisi delle procedure attualmente in uso per la sanificazione in ambito civile ed ospedaliero e alle norme di riferimento. Il fine è quello di validare la nuova tecnologia con radiazioni UV-C per la disinfezione in continuo dell’aria in circolo negli ambienti chiusi.

Il progetto si divide in due fasi:

- la prima, relativa alla raccolta della documentazione scientifica per la realizzazione del progetto e per l’individuazione dei parametri di densità di energia radiante (*o light dose*) necessaria per la riduzione e/o la completa inattivazione di specie microbiche, fungine e virus, considerando sia i lavori scientifici che i brevetti presenti a livello internazionale;
- la seconda, invece, si incentra sullo sviluppo di una procedura per il corretto utilizzo di attrezzature per implementare e migliorare i livelli di disinfezione in ambito civile e sanitario, garantendo nel contempo la tutela della salute e sicurezza degli operatori sui luoghi di lavoro, nonché sulla programmazione di attività di verifica e controllo del corretto funzionamento della procedura e l’adesione agli obiettivi.



2. Obiettivi specifici dell'attività

Obiettivo generale dell'attività è la verifica delle prestazioni del sistema per l'abbattimento della carica microbica dell'aria denominato Air Blue 330, ed il successivo confronto con i parametri di densità di energia radiante necessaria per la riduzione e/o la completa inattivazione di specie microbiche, riportati in letteratura, che attestano la completa inattivazione di specie microbiche, fungine e virus (compreso il SARS-CoV-2).

Nello specifico, l'attività svolta si propone di validare il sistema Air Blue 330, tecnologia proposta dall'azienda MediBlue di Salerno, allo scopo di migliorare la qualità dell'aria in ambienti civili ed ospedalieri e assicurare i livelli di igiene previsti dalle vigenti normative.

Nel periodo di osservazione sono stati effettuati:

- uno studio bibliografico relativo alle misure condotte per verificare l'efficienza dei sistemi di sanificazione dell'aria;
- la messa a punto delle metodiche analitiche adattandole alla strumentazione di interesse per la sperimentazione;
- misurazione della portata d'aria, velocità d'aria, irradianza, calcolo della densità di energia radiante e livello sonoro dell'apparecchiatura in decibel.

I dettagli delle attività svolte sono riportati nei paragrafi successivi



Figura 1 - Il sistema Air Blue 330



3. Metodologie e protocolli operativi

E' stata condotta una ricerca bibliografica attraverso i principali motori di ricerca scientifici (Web of Science, Scopus, Google Scholar).

Sono stati consultati i regolamenti nazionali ed internazionali, per i limiti previsti dalla legislazione vigente.

Le misurazioni sono state condotte utilizzando un datalogger multifunzione Delta Ohm HD 31 con sonda combinata HP472AC R, irradiazione espressa in mW/cm^2 , velocità dell'aria espressa in m/s o L/s ; il livello sonoro è stato misurato mediante strumento Castel Group GA213.

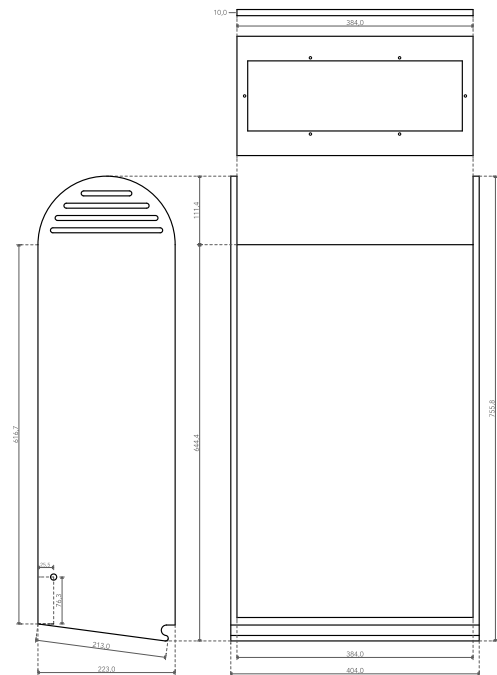


Figura 2 - dimensione della camera di irraggiamento

4. Risultati conseguiti

Nell'ultimo anno, a causa della pandemia da COVID-19, è progressivamente aumentata la sensibilità delle persone in tutto il mondo nell'assicurare le migliori condizioni di buona salute generale e di igiene negli ambienti indoor. In particolar modo sono stati condotti numerosi studi sui prodotti e le procedure da utilizzare per la sanificazione degli ambienti prima del loro impiego, per tutelare la salute di qualsiasi persona presente nelle aree sanificate. Tra i metodi di disinfezione messi in atto per contrastare il SARS-CoV-2, una possibile soluzione è l'utilizzo di sistemi di disinfezione che sfruttano le radiazioni ultraviolette.

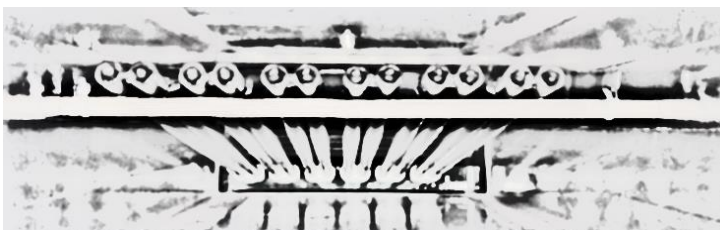


Figura 3 – Camera d'irraggiamento con lampade Philips TUV PL-L 55W

Per questo motivo la MediBlue di Salerno, azienda specializzata nella fornitura di apparecchiature sanificanti per il settore ospedaliero, ha scelto di validare Air Blue 330, sistema brevettato composto da due parti: *Active Pack AP4330N* che contiene 6 lampade UV-C da 55 W ciascuna, i labirinti



ottici, i riflettori interni in alluminio ottico ed un microchip che comunica con l’Unità Fissa; *Unità Fissa UF4000N* che contiene i ventilatori, l’alimentazione elettronica ad alta frequenza per i tubi UV-C, il pannello di controllo e l’elettronica di gestione. L’aria ambiente è aspirata dai due potenti ventilatori e, previo passaggio attraverso un filtro antipolvere, viene fatta circolare nella ampia camera di irraggiamento dove lambisce le lampade UV-C germicide per essere riemessa, sanificata al 99,99%, nell’ambiente. I filtri ottici posti in ingresso ed in uscita della camera di irraggiamento impediscono l’emissione all’esterno delle radiazioni nocive, rendendo quindi l’apparecchiatura utilizzabile in presenza di persone senza alcun rischio.

Tipicamente, le lampade ad azione germicida utilizzate in sistemi di sterilizzazione hanno emissione dominante intorno alla lunghezza d’onda di 253 nm e vengono filtrate le componenti con lunghezza d’onda inferiori a 250 nm, per prevenire il rischio di produzione di ozono. In questi casi la lampada è definita *ozone free*. L’apparecchiatura Air Blue 330 utilizza lampade Philips con lunghezza d’onda di 253,7 nm ed il vetro speciale di cui è dotata la lampada filtra le radiazioni che producono ozono da 185 nm (come dichiarato dal fornitore). La radiazione UV-C agisce modificando il DNA o l’RNA dei microorganismi impedendo loro di riprodursi e quindi di essere dannosi. Infatti da molti anni è utilizzata in diverse applicazioni per la disinfezione di alimenti, acqua e aria. Studi in vitro hanno dimostrato chiaramente che la luce UV-C è in grado di inattivare il 99,99% del virus dell’influenza in aerosol⁽¹⁻²⁾. L’azione virucida e battericida dei raggi UV-C è stata dimostrata anche in studi sul virus MHV-A59, un analogo murino di MERS-CoV e SARS CoV-1, mediante droplet. I risultati dimostrano che dopo soli 5 minuti di esposizione all’emettitore UV-C c’è una riduzione percentuale superiore al 99,99%⁽³⁾. Altri studi riportano anche l’efficacia per la sterilizzazione di campioni di sangue⁽⁴⁾. In particolare è stata dimostrata l’inattivazione di oltre il 95% del virus dell’influenza H1N1 aerosolizzato mediante un nebulizzatore in grado di produrre un aerosol di goccioline di dimensioni simili a quelle generate dalla tosse e dalla respirazione umana. Lo studio di Bedell et al.⁽³⁾ descrive esperimenti sull’analisi dell’efficacia di un metodo di disinfezione delle superfici rapido, efficiente e automatizzato, basato sulle radiazioni UV-C, potenzialmente in grado di prevenire la diffusione dei virus nelle strutture sanitarie. Tuttavia un aspetto fondamentale di queste strumentazioni è la necessità di avere radiazioni UV-C con intensità costante e stabile nel tempo. La potenza della luce UV-C ed il tempo devono essere tali da garantire la giusta disinfezione, altrimenti le superfici esposte ad un irraggiamento non sufficientemente intenso possono risultare inadeguatamente disinfettate con conseguenti problemi sulla sicurezza e sulle prestazioni⁽¹⁾. Per questo motivo, nell’assetto sperimentale che abbiamo utilizzato per la validazione



Figura 4 - Set sperimentale



dell'apparecchiatura Air Blue 330 sono state considerate diverse posizioni e diverse altezze per valutare l'influenza di queste condizioni sull'efficacia del sistema. I risultati hanno dimostrato che la camera di irraggiamento di cui è dotata è idonea ad avere una radiazione omogenea per tutto il tratto in cui l'aria passa durante il processo di sanificazione. L'ingegnerizzazione dell'apparecchiatura permette di far passare l'aria all'interno della camera e lungo le lampade a velocità costante, tale da avere un effettivo abbattimento delle specie microbiche e virali come riportato dai dati di letteratura.

I sistemi tradizionali con lampade germicide che generano luce UV-C, in assenza di protezione dell'utente dalla loro esposizione, rappresentano un potenziale pericolo in funzione della lunghezza d'onda, dell'intensità e della durata dell'esposizione⁽⁵⁻⁶⁻⁷⁾. La radiazione UV-C, nell'intervallo 180-280 nm, è in grado di produrre gravi danni ad occhi e cute. Inoltre la radiazione UV-C è per l'uomo un cancerogeno certo per tumori oculari e cutanei (Gruppo 1 A IARC)⁽⁵⁾.

Visti i possibili pericoli per la salute e la sicurezza sul lavoro, l'impiego di tali sistemi è disciplinato dal D.Lvo 81/2008 Titolo VIII Capo V che prescrive l'obbligo di valutazione del rischio per le sorgenti di radiazioni ottiche artificiali e fissa specifici valori limite di esposizioni per la prevenzione degli effetti avversi su occhi e cute derivante da esposizione ad UV, espressamente indicati nel testo di legge che recepisce la Direttiva Europea 2006/25/UE Radiazioni Ottiche Artificiali⁽⁸⁻⁹⁾.

Per superare questa problematica, per esempio, la disinfezione di oggetti con radiazioni UV-C deve avvenire in un ambiente chiuso in cui la luce UV non fuoriesce all'esterno, grazie alla presenza di un contenitore di plexiglass o di vetro per schermare efficacemente la radiazione.

Il sistema Air Blue 330, pur sfruttando la radiazione UV-C per la disinfezione dell'aria, ha un alloggiamento interno (la camera di irraggiamento) che non permette all'operatore di entrare in contatto diretto con la radiazione emessa dalle lampade; è inoltre dotato di un indicatore per la sostituzione delle lampade che si esauriscono dopo un periodo di funzionamento ininterrotto di circa 9000 ore, così come dichiarato dal costruttore. Queste caratteristiche consentono di utilizzare l'apparecchiatura senza rischi in presenza di persone negli ambienti, garantendo nel contempo un livello di igiene adeguato e costante.

Un altro aspetto da non sottovalutare è la relazione che intercorre tra l'efficacia dell'azione germicida e la capacità di sanificazione: è indispensabile tenere presente che la presenza di polvere e sporco sia sulla lampada che nell'ambiente riducono drasticamente l'azione germicida. Pertanto, nei sistemi tradizionali la lampada germicida dovrebbe essere accesa solo dopo un'accurata pulizia dei locali in assenza di persone, ed essere regolarmente pulita secondo le modalità indicate dal costruttore. La manutenzione di tali apparati è estremamente importante ai fini dell'efficacia e della sicurezza.



Il sistema Air Blue ha adottato un filtro antipolvere in ingresso dell'aria che ha il duplice vantaggio di preservare le lampade germicide dalla polvere e garantire allo stesso tempo la pulizia dell'aria che esce dall'apparecchiatura.

Nell'attività svolta per il confronto e la validazione dei parametri tecnici del sistema Air Blue, abbiamo preso in considerazione i lavori più recenti relativi alla disinfezione con radiazioni UVC contro il SARS-CoV-2. In particolare, N. Storma et al. (2020) descrivono l'inattivazione del SARS-CoV-2 sia in formato umido che secco usando la radiazione UV-C a 254 nm e riescono ad ottenere una completa inattivazione per superfici contaminate con pochi secondi di esposizione: l'infettività del virus SARS-CoV-2 è stata ridotta a livelli inferiori a quelli rilevabili in 9s per il virus essiccato e in 4s per il virus in acqua⁽¹⁰⁾. Dwedi et al. (2021) hanno dimostrato che l'esposizione del virus a UV-C per uno o due secondi ha portato una riduzione maggiore di 2,9 e 3,8 log₁₀, mentre per tempi di esposizione più lunghi (da 4 a 120s) una riduzione superiore a 4,7 log₁₀.

Fino ad oggi, i dati riportati in letteratura dimostrano che la radiazione UV-C è efficace contro tutti i coronavirus, anche se la capacità di assorbimento dei supporti può modificare il risultato del test. Il limite superiore calcolato per la dose mediana della riduzione logaritmica (in mezzi a basso assorbimento) è 10,6 mJ/cm², ma la stima probabilmente più precisa è di 3,7 mJ/cm² (11-12-13-14-15-16).

Questi risultati sono stati ottenuti da indagini su diversi coronavirus, compresi SARS-CoV e MERS-Cov. Tuttavia, si può presumere che siano applicabili anche al SARS-CoV-2 e a tutte le mutazioni future in quanto le mutazioni dell'RNA influiscono sulla patogenicità di un virus, ma non si traducono in differenze strutturali, specialmente per quanto riguarda le proprietà di assorbimento degli UV da parte dell'RNA, che è l'aspetto principale dell'effetto antivirale della radiazione ultravioletta. Le suddette dosi di log-riduzione sono nello stesso ordine di grandezza o addirittura inferiori alle dosi di log-riduzione per altri importanti agenti patogeni, come *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia* o *Candida albicans*⁽¹⁷⁾.

Ed ancora, un recentissimo studio condotto dal centro di ricerca “Columbia University Center for Radiological Research” (CCR) pone nuovamente l'accento sull'efficacia dell'irraggiamento UV-C.

I valori riportati risultano anche più bassi rispetto, per esempio, allo standard internazionale per la disinfezione mediante UV dell'acqua potabile di 40 mJ/cm²⁽¹⁷⁾. Pertanto, si può concludere che i sistemi e le procedure di disinfezione UV-C analizzati sono in grado di disattivare tutti i coronavirus, compreso il SARS-Cov-2. In tabella 1 riportiamo i dati ottenuti per il calcolo della dose UV-C per i tre differenti flussi di cui dispone l'apparecchiatura Air Blue (velocità 1, 2 e 3) e l'influenza della presenza della griglia superiore. Come si rileva dai dati riportati in Tabella 1 e dal grafico riportato in Figura 5, ci troviamo perfettamente in linea con i dati presenti in letteratura e con una possibile riduzione del virus di circa il 99,99%.



Tabella 1. Risultati calcolo light dose rispetto alla modalità 1,2 e 3.

Dose UV mJ/cm ²	Flusso m/s	σ	
7,88	1,12	$\pm 0,02$	Con griglia superiore
6,71	1,32	$\pm 0,03$	
5,08	1,74	$\pm 0,02$	
5,75	1,54	$\pm 0,04$	Senza griglia superiore
5,02	1,76	$\pm 0,02$	
3,80	2,33	$\pm 0,03$	

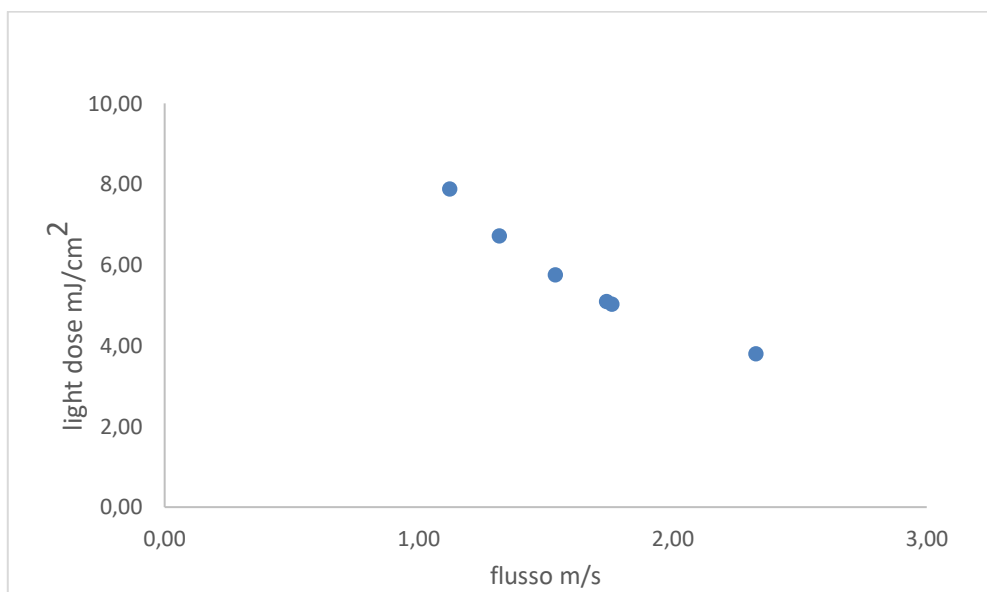


Figura 5. Andamento densità di energia radiante rispetto alla velocità di ingresso dell'aria.



Tabella 2. Risultati determinazione rumorosità rispetto alla modalità 1,2 e 3.

Rumorosità (dBA)	Modalità	σ	Distanza
47,3	1	$\pm 0,6$	vicino
54,1	2	$\pm 0,4$	vicino
57,0	3	$\pm 0,5$	vicino
45,4	1	$\pm 0,4$	1 m
49,0	2	$\pm 0,8$	1 m
54,8	3	$\pm 0,5$	1 m

Un altro aspetto molto importante che è stato preso in considerazione è la rumorosità della strumentazione nelle diverse condizioni d'uso. L'esposizione al rumore, infatti, può compromettere la salute delle persone e avere seri effetti nocivi proprio come l'inquinamento dell'aria e le sostanze tossiche, come è stato dichiarato in occasione del lancio delle nuove Linee guida sul rumore dall'Oms. Il documento è il risultato del lavoro di un gruppo di esperti pubblicato l'8 ottobre 2009 e può essere considerato un'implementazione delle precedenti Linee guida per il rumore all'interno della comunità del 1999 e nasce dall'esigenza di soddisfare la direttiva europea 2002/49/EC (altrimenti nota come Environmental Noise Directive) relativa all'accertamento e alla gestione del rumore ambientale. La soglia considerata critica per evitare danni all'udito è di 90 decibel, quella del dolore intorno a 120 decibel. L'Organizzazione mondiale della sanità fissa però valori medi da non superare per evitare una serie di disturbi correlati: problemi del sonno e della concentrazione, insorgenza di stress, stati ansiosi e irritabilità, disturbi dell'apparato cardiocircolatorio e persino disturbi digestivi e respiratori. I valori medi suggeriti dall'OMS sono di 55 dBA, ossia decibel ponderati, che considerano cioè la diversa sensibilità dell'orecchio alle diverse frequenze, nel periodo diurno (dalle 6 alle 22) e di 45 dBA in quello notturno (dalle 22 alle 6).

Nell'ambiente lavorativo il livello di esposizione giornaliera al rumore LEX,8h dBA è il principale descrittore del rischio da esposizione al rumore definito dal D.Lgs. 81/08. Il decreto fissa tre soglie per LEX,8h: il valore inferiore d'azione pari a 80 dBA, il valore superiore d'azione pari a 85 dBA e il valore limite pari a 87 dBA, valore puntuale di 140 dBA.

Le misure condotte mediante strumento Castel Group GA213 su Air Blue 330 hanno prodotto valori medi coerenti con quanto riportato dall'OMS per i valori suggeriti e che non destano preoccupazione per gli operatori e per le persone presenti, come indicato in tabella 2.



5. Scostamenti, criticità e azioni correttive

In questa prima fase del progetto non ci sono stati scostamenti rispetto a quanto previsto dall'organizzazione iniziale. Le criticità emerse riguardano le possibili tecniche da utilizzare per poter migliorare l'efficienza della lampada in un unico passaggio o in ambienti particolarmente contaminati.

Dal punto di vista normativo circa la definizione di prodotto biocida e/o disinfettante, poiché l'attività sanificante della radiazione ultravioletta si attua mediante un'azione di natura fisica, i sistemi di disinfezione basati su radiazioni UV-C non ricadono nel campo di applicazione del Reg. (UE) n. 528/2012 che esclude espressamente dalla definizione di biocida i prodotti che agiscono mediante azione fisica e meccanica. Anche a livello nazionale le norme dettate dal DPR 392 del 6 ottobre 1998 già avevano escluso dalla classificazione di presidi medico-chirurgici (PMC) i prodotti la cui attività disinfettante operasse mediante azione fisica o meccanica. Tuttavia questi sistemi hanno dimostrato una reale capacità biocida, possono operare in continuo, in presenza di persone, e non arrecano danni ad individui ed oggetti presenti nell'ambiente.

6. Considerazioni finali

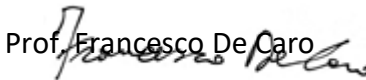
L'attività svolta finora ha dimostrato che si può ottenere un'ottimale sanificazione dell'aria con la tecnologia del sistema Air Blue 330. Dalle prove effettuate è emerso che l'apparecchiatura ha una emissione di densità di energia radiante compresa tra $5,08 \text{ mJ/cm}^2$ (velocità 3) e $7,88 \text{ mJ/cm}^2$ (velocità 1), dosi per le quali la letteratura riporta il 99,99% circa di riduzione e abbattimento dei virus. In letteratura sono riportati i risultati di test in vitro su superfici; nel nostro caso il test è stato condotto in condizioni reali di utilizzo e si può immaginare che, con il ciclo continuo di aspirazione, l'aria compia più passaggi attraverso la camera di irraggiamento e si incrementi ulteriormente il grado di sanificazione che è già stimato al 99,99% al singolo passaggio.

Pur essendo necessarie ulteriori evidenze sull'efficacia valutata in campo, la metodologia adottata dal sistema Air Blue potrebbe costituire uno standard per la disinfezione degli ambienti ospedalieri al fine di ridurre i tassi di infezione determinati dalla presenza di agenti patogeni e virus.

Potrebbe, in definitiva, essere indicato per la disinfezione di qualsiasi ambiente con un'alta probabilità di trasmissione di agenti patogeni per vie aeree.

Fisciano, 27 maggio 2021

Prof.ssa Oriana Motta


Prof. Francesco De Caro




Riferimenti bibliografici

- 1 McDevitt et al., Aerosol Susceptibility of Influenza Virus to UV-C Light Applied and Environmental Microbiology Feb 2012, 78 (6) 1666-1669; DOI: 10.1128/AEM.06960-1
- 2 Jensen MM. Inactivation of air-borne viruses by ultraviolet irradiation. Appl Microbiol. 1964;12:418–420
- 3 Bedell, A. Buchaklian, S.Perlman Efficacy of an automated multi-emitter whole room UV-C disinfection system against Coronaviruses MHV and MERS-CoV. K., Infect Control Hosp Epidemiol. (2016) 37(5): 598–599.
- 4 Weiss et al. Disrupting the Transmission of Influenza A: Face Masks and Ultraviolet Light as Control Measures. American Journal of Public Health | Supplement 1, 2007, Vol 97, No. S1
- 5 International Agency for Cancer Research (2009) Solar and ultraviolet radiation in IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 100D pp. 35-101. IARC, Lyon <https://monographs.iarc.fr/wpcontent/uploads/2018/06/mono100D.pdf><https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100D.pdf>
- 6 https://www.portaleagentifisici.it/newsletter/newsletter_47.php
- 7 ICNIRP 14/2007 Protecting Workers from Ultraviolet Radiation International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection In Collaboration with: International Labour Organization World Health Organization ISBN 978-3-934994-07-2
- 8 SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), Opinion on Biological effects of UV-C radiation relevant to health with particular reference to UVC lamps, 2 February 2017
- 9 P.A.F. Portale Agenti Fisici – Rapporto 1/15 - Procedure operative per la prevenzione del rischio da esposizione a Radiazioni Ottiche Artificiali: Cappe sterili e Lampade Germicide
- 10 Storm, N., McKay, L.G.A., Downs, S.N. *et al.* Rapid and complete inactivation of SARS-CoV-2 by ultraviolet-C irradiation. *Sci Rep* 10, 22421 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020->
- 11 Dwivedi V, Park J, Grenon S, et al. Rapid and Efficient Inactivation of SARS-CoV-2 from Surfaces using UVC Light Emitting Diode Device. bioRxiv; 2021. DOI: 10.1101/2021.04.20.440654.
- 12 Heßling, M., Hönes, K., Vatter, P., Lingenfelder, C., Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation – review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS Hyg Infect Control* 2020;15:Doc08
- 13 Liwei Tang, Min Liu, Bingyu Ren, Zongting Wu, Xunci Yu, Chen Peng, Jing Tian. Sunlight ultraviolet radiation dose is negatively correlated with the percent positive of SARS-CoV-2 and four other common human coronaviruses in the U.S., *Science of The Total Environment*, 751, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141816>.
- 14 Caetano P. Sabino, Fábio P. Sellera, Douglas F. Sales-Medina, Rafael Rahal Guaragna Machado, Edison Luiz Durigon, Lucio H. Freitas-Junior, Martha S. Ribeiro, UV-C (254 nm) lethal doses for SARS-CoV-2. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101995>.
- 15 Gidari, A.; Sabbatini, S.; Bastianelli, S.; Pierucci, S.; Busti, C.; Bartolini, D.; Stabile, A.M.; Monari, C.; Galli, F.; Rende, M.; et al. SARS-CoV-2 Survival on Surfaces and the Effect of UV-C Light. *Viruses* 2021, 13, 40



- 16 David M. Ozog, Jonathan Z. Sexton, Shanthi Narla, Carla D. Pretto-Kernahan, Carmen Mirabelli, Henry W. Lim, Iltefat H. Hamzavi, Robert J. Tibbetts, Qing-Sheng Mi, The effect of ultraviolet C radiation against different N95 respirators inoculated with SARS-CoV-2, *International Journal of Infectious Diseases*, 2020, 100 <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.08.077>.
- 17 Kowalski W. *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2009.
- 18 Walker CM, Ko G. Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols. *Environ Sci Technol*. 2007 Aug 1;41(15):5460-5. DOI: 10.1021/es070056u
- 19 Welch, et al. Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases *Scientific RePortS* (2018) 8:2752 <https://www.crr.columbia.edu/research/using-power-light-preventing-airborne-spread-coronavirus-and-influenza-virus>
- 20 <https://www.crr.columbia.edu/research/using-power-light-preventing-airborne-spread-coronavirus-and-influenzavirus> 28
- 21 Buonanno et al. Germicidal Efficacy and Mammalian Skin Safety of 222-nm UV Light. *Radiat Res.* (2017); 187(4): 483–491