

Webinar

Tecnologie per l'igienizzazione  
degli ambienti industriali,  
residenziali e dei trasporti:  
sostenibilità, vantaggi e  
opportunità

22 settembre 2020



## Aspetti scientifici e tecnologici dell'utilizzo dei raggi UV per l'igienizzazione degli ambienti



UNIVERSITÀ  
DI SIENA  
1240

*Gabriele Messina\**  
*Professore Associato*  
*Igiene Generale ed Applicata*

*Gabriele Cevenini\**  
*Professore Ordinario*  
*Bioingegneria Elettronica e Informatica*

Co-founder: egoHEALTH



# Disclosure

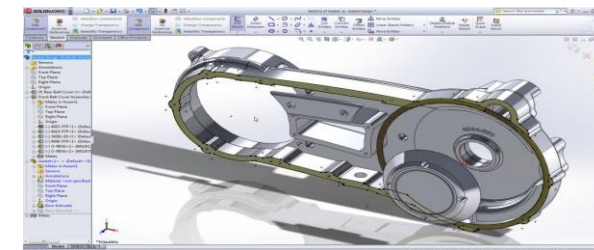
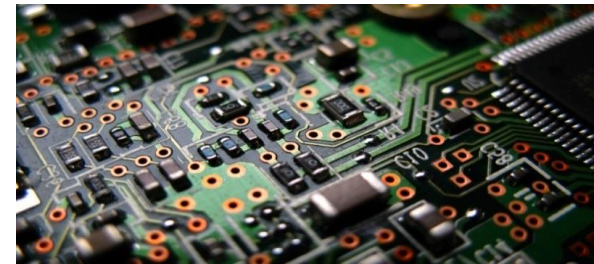
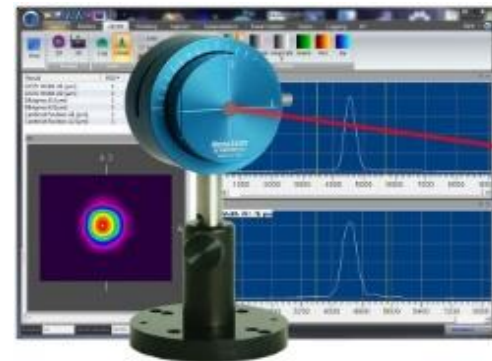
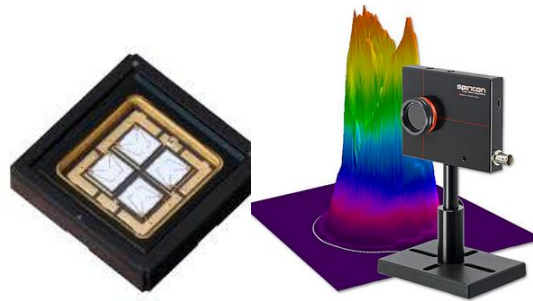


MONTALLEGRO

# Microbiologia

# Fotonica

# Prototipizzazione



Chimica  
Fluidodinamica  
Elettronica  
Meccanica  
Scienza Materiali

...

# Il nostro Intervento

---

Messina

Concetti base di Igiene

Cevenini

Tecnologia UV

Messina

Esempi di applicazioni

Cevenini

Approccio al problema

# Le definizioni

---

la PULIZIA  
la DECONTAMINAZIONE  
la DISINFEZIONE  
la STERILIZZAZIONE  
la SANIFICAZIONE



Rappresentano  
le procedure essenziali  
per impedire  
la trasmissione di agenti infettivi

**NON sono sinonimi!**

# Pulizia & Decontaminazione

---

## ***PULIZIA:***

Rimozione meccanica dello sporco da superfici e oggetti

*(Es. acqua con o senza disinfettante + panno).*

## ***DECONTAMINAZIONE:***

Mira a rimuovere qualunque tipo di contaminazione

**biologica, chimica, fisica.**

Trattamento che rende un oggetto (od una superficie) tale da poter essere maneggiata o toccata senza rischio di contaminazioni.

# Disinfezione $\neq$ Sterilizzazione

## **DISINFEZIONE:**

Misura profilattica di un processo chimico/fisico che **diminuisce** (*uccisione, inattivazione od allontanamento/diluizione*) il **livello di contaminazione** microbica patogena in fase vegetativa

## **STERILIZZAZIONE:**

**Distruzione** irreversibile di qualsiasi forma di vita **microbica**

(si intende anche virus) presente in un determinato ambiente/materiale

(spore comprese) mediante **processi fisici / chimici**



# Norma U.N.I. EN 556

## “Sterilizzazione dei dispositivi medici”

...il livello di assicurazione di sterilità (**SAL: Sterility Assurance Level**) deve corrispondere alla probabilità teorica inferiore o uguale a 1 su 1 milione ( **$SAL \leq 10^{-6}$** ) di trovare un microrganismo sopravvivente all'interno di un lotto di sterilizzazione





# Sanificazione

## ***SANIFICAZIONE:***

### **Pulizia + Disinfezione**

*Es. pulizia (rimozione) di un piano dove oltre alla rimozione dello sporco si inattiva e rimuove la flora microbica presente*



# Asepsi & Antisepsi

## **ASEPSI:**

Procedure atte a prevenire l'accesso di microorganismi su un substrato sterile per natura o artificialmente

*(Es. imbustamento di materiale sterilizzato)*



## **ANTISEPSI:**

E' una pratica che ha lo scopo di **impedire** o almeno **rallentare la moltiplicazione** di microorganismi

(tessuti viventi) *(Es. uso gel alcolici per lavaggio mani)*



# Resistenza microbica

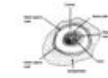
Resistenza dei vari agenti patogeni nell'ambiente ed alla sterilizzazione

Most Resistant

PRIONI



SPORE BATTERICHE



MICOBATTERI



CISTI PROTOZOARIE



BATTERI GRAM-



MICETI



VIRUS NUDI



BATTERI GRAM+



VIRUS RIVESTITI



Least Resistant

# La luce

Radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda immediatamente inferiore alla luce visibile e immediatamente superiore a quella dei raggi X (400 – 100 nm).

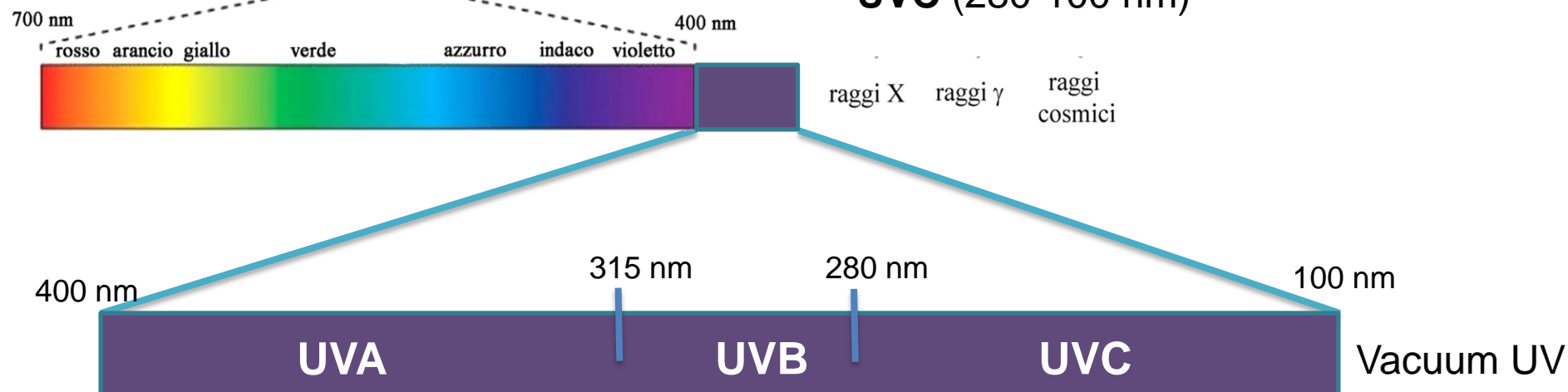


In base alla lunghezza d'onda si distinguono:

**UVA** (400-315 nm)

**UVB** (315-280 nm)

**UVC** (280-100 nm)



# UV e sterilizzazione.....

## Dizioni improprie secondo la IUVA (**International Ultraviolet Association**)

*“... the Sterilisation means all microorganisms are killed regardless of what type or strain they may be. **Germicidal ultraviolet light provides percentage disinfection.***

*Once the microorganism is determined, which is required to be controlled for the particular application, then the 3, 4 or 5, or more, log reduction determined, the UVC dose to achieve this log reduction must be known to be able to guarantee this percentage disinfection reduction.”*

# UV e sterilizzazione.....

---

## Dizioni improprie secondo la IUVA (**International Ultraviolet Association**)

- “... UV-C kills....” in realtà la luce UV cambia la struttura del DNA e RNA ma **non uccide**.  
*Blocca la capacità di replica dei microbi/virus per cui, questi sono tecnicamente vivi.*

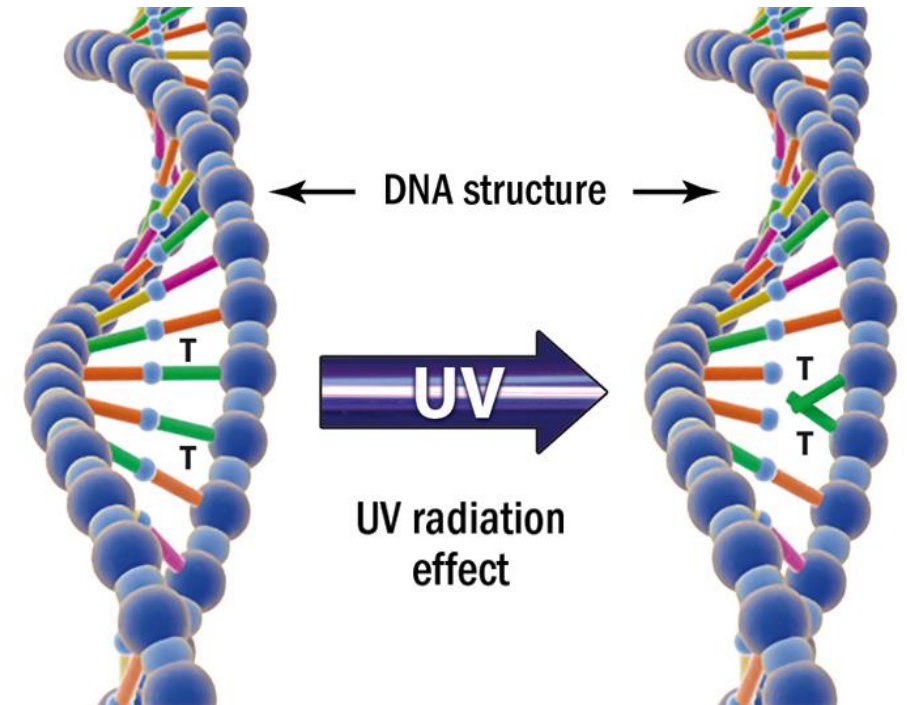
# Meccanismo azione UV-C

- **AZIONE DIRETTA:**

penetra nel microorganismo e **rompe i legami molecolari** di DNA o RNA causando danni sufficienti per interrompere la replicazione cellulare.

- **AZIONE INDIRETTA:**

formazione di radicali biocidi (s.tto in acqua)







# Produzione di radiazioni UV

Gli **UV** sono prodotti artificialmente da:

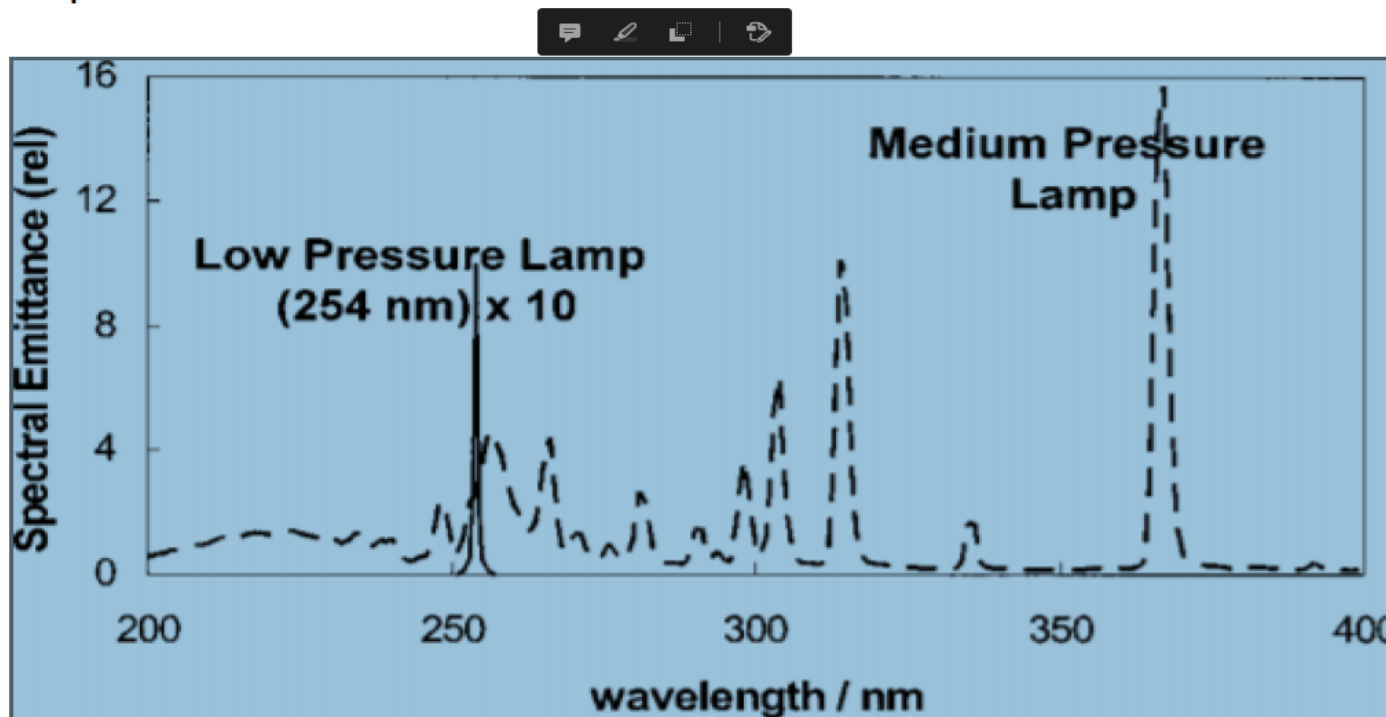
- Lampade a scarica basate sull'emissione da parte di un gas ionizzato:
  - ✓ UV a bassa pressione: bassa potenza, producono UVC monocromatici a 254 nm;
  - ✓ UV ad amalgama: alta potenza ma meno efficienti nella produzione di UVC rispetto alla bassa pressione;
  - ✓ UV a media pressione: bassa efficienza, producono luce policromatica da 200 nm fino agli infrarossi.
- LED → dispositivi optoelettronici, materiali semiconduttori, fabbricati per emettere la luce desiderata in modo selettivo e controllato
- Altre tecnologie emergenti



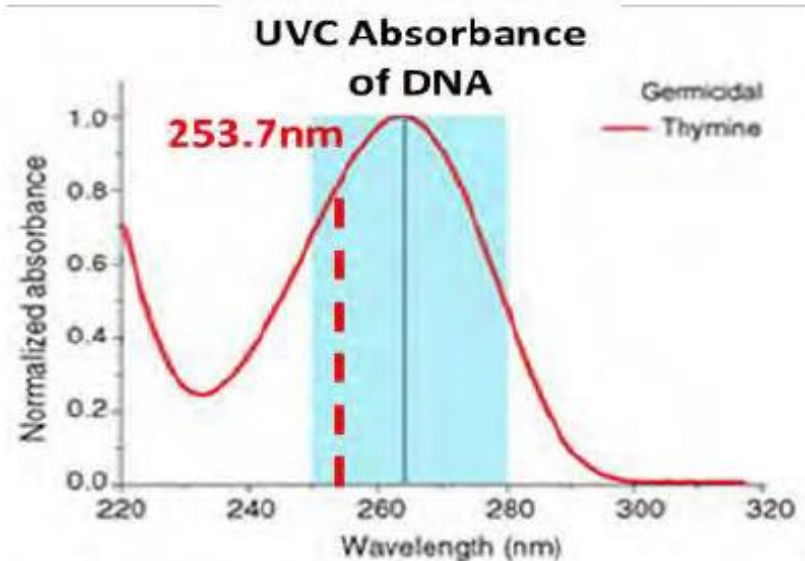
# Lunghezza d'onda delle sorgenti «classiche»



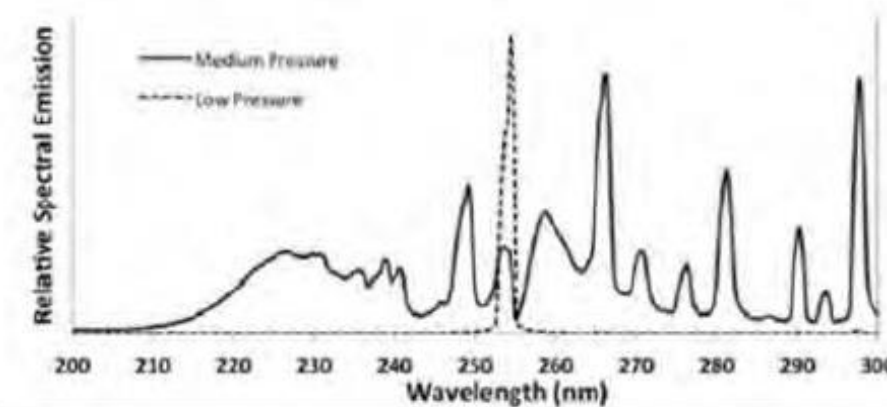
- Lampade Hg a bassa pressione (monocromatiche)
- Lampade Hg a media pressione (policromatiche)
- Lampade allo Xenon
- Lampade al Deuterio



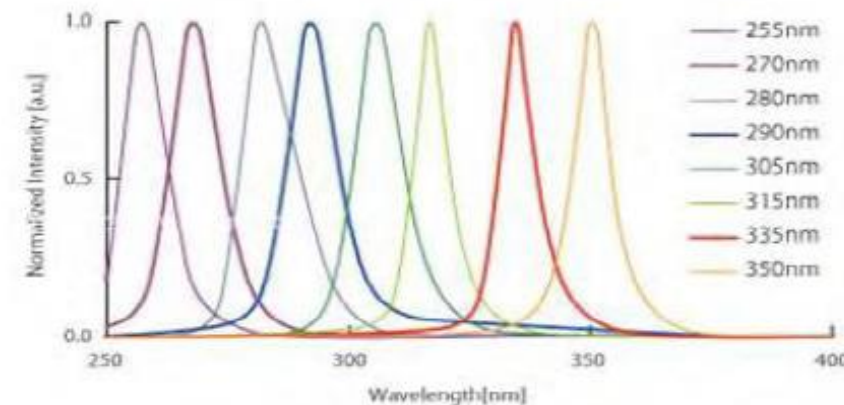
# Lunghezza d'onda dei Light Emitting Diode (LED)



UV-C Mercury-Vapor Lamps



UV-C LEDs



# LED UVC

- Emettono UVC alla **lunghezza d'onda di 255/265/275/280/285 nm**
  - ✓ Efficaci ad ampio spettro su batteri, funghi e virus
  - ✓ Non emettono ozono
  - ✓ Sono prive di Mercurio
  - ✓ Bassa emissione di calore
  - ✓ Alimentabili a pile
  - ✓ Lunghezza d'onda molto selettiva
  - ✓ Accensione e spegnimento istantaneo (ON/OFF)
  - ✓ Dimensioni molto contenute



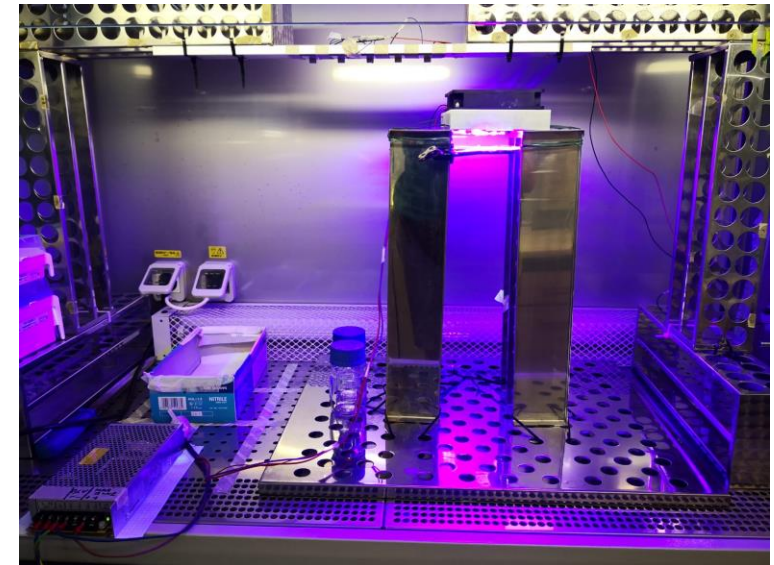
# Ma sono sicuri?

- L'efficacia degli UVC nell'inattivazione di virus, funghi e batteri è ormai consolidata, ma l'esposizione alle radiazioni può avere effetto mutageno per la pelle e causare cataratta
- Ci sono però evidenze che testimoniamo come alcune frequenze della luce possano avere effetto biocida ma essere meno dannose per l'uomo:
  - ✓ **Near UV (nUV) a 405 nm**
  - ✓ **UVC a 222 nm**



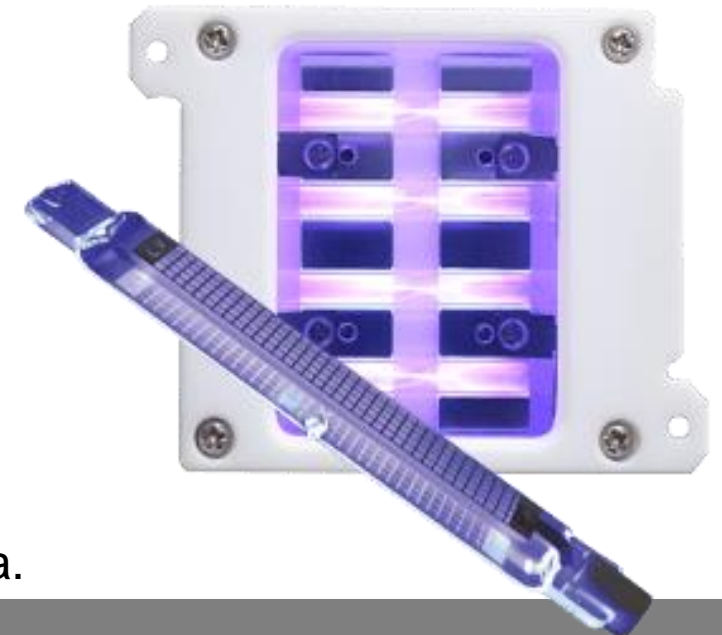
# nUV 405 nm

- La luce visibile blu-viola, prodotta dai LED alla lunghezza d'onda di 405 nm, genera radicali liberi dell'ossigeno che causano morte cellulare
  - ✓ Basso effetto germicida
  - ✓ Utili per un irraggiamento continuo di superfici
  - ✓ Possibilità di utilizzo anche in stanze occupate
  - ✓ Efficaci sui fluidi in condizioni quasi statiche
  - ✓ Potenzialmente nocive per affaticamento oculare



# UVC 222 nm

- Prodotti mediante lampade ad eccimeri\* basate su una miscela di gas di krypton-cloro (Kr-Cl) che emette principalmente a 222 nm
- Le radiazioni UV a questa lunghezza d'onda inattivano i batteri in modo efficiente e sembra non siano citotossici o mutageni per le cellule di mammifero
  - ✓ Efficaci ad ampio spettro sia su batteri che virus
  - ✓ Sono prive di mercurio
  - ✓ Bassa emissione di calore
  - ✓ Lunghezza d'onda molto selettiva
  - ✓ Accensione e spegnimento istantaneo (ON/OFF)



\* Anche da LED, ma al momento solo per scopo di ricerca.

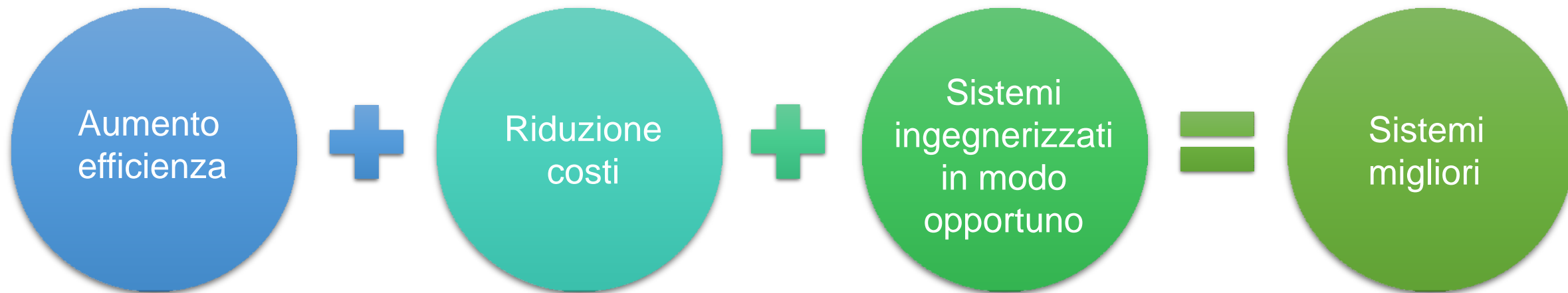
# Qualche considerazione

- La tecnologia LED UVC consente nuove applicazioni
- Ci sono molti sistemi LED UVC già venduti
- Importanza del design di sistema
- Progettazione di processo
- Progettazione di convalida tramite misure empiriche
- Ci sono lacune normative per la tecnologia UVC LED
- Gli UVC LED non sono la soluzione di ogni sistema!

**...non sono «plug&play»**



# Prospettive dei sistemi a LED



- Attualmente 4% efficienza

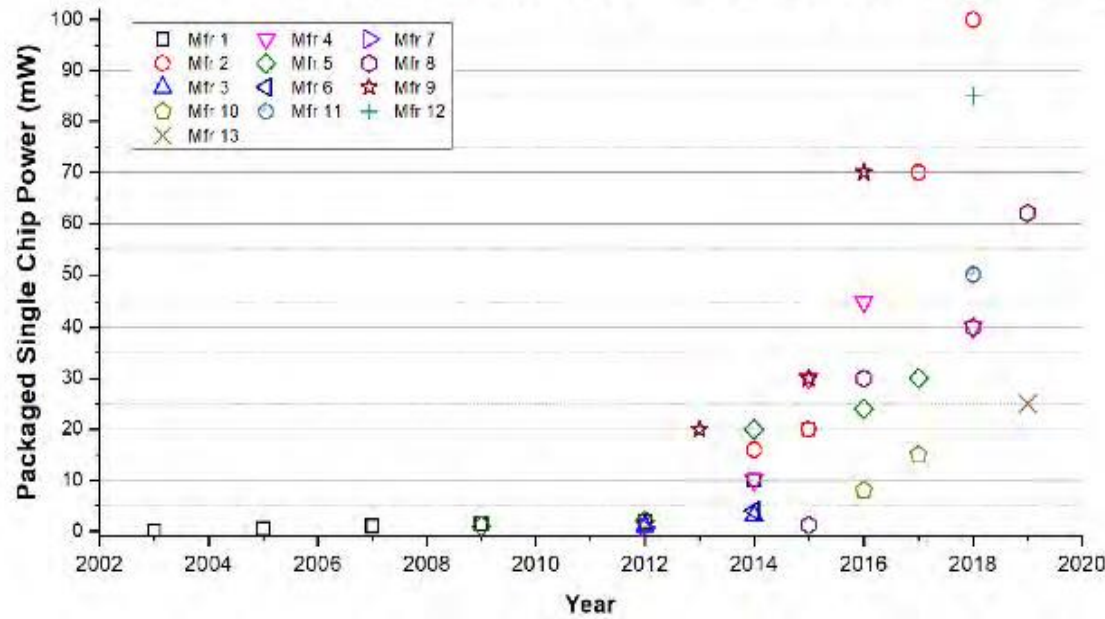
- Legge di Haitz
- Aumento della potenza
- Riduzione costi

- Sistemi unici
- Costruzione solida

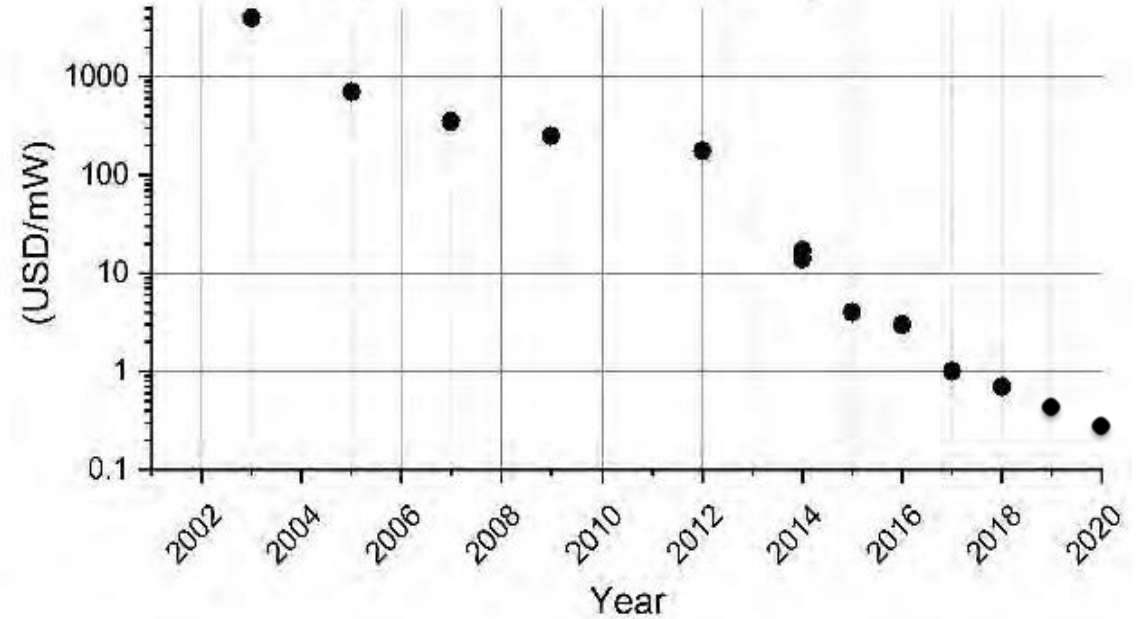


## Tecnologia ed evoluzione costi

Output Power of Commercially Available UV-C LEDs



Commercial UV-C LED Pricing



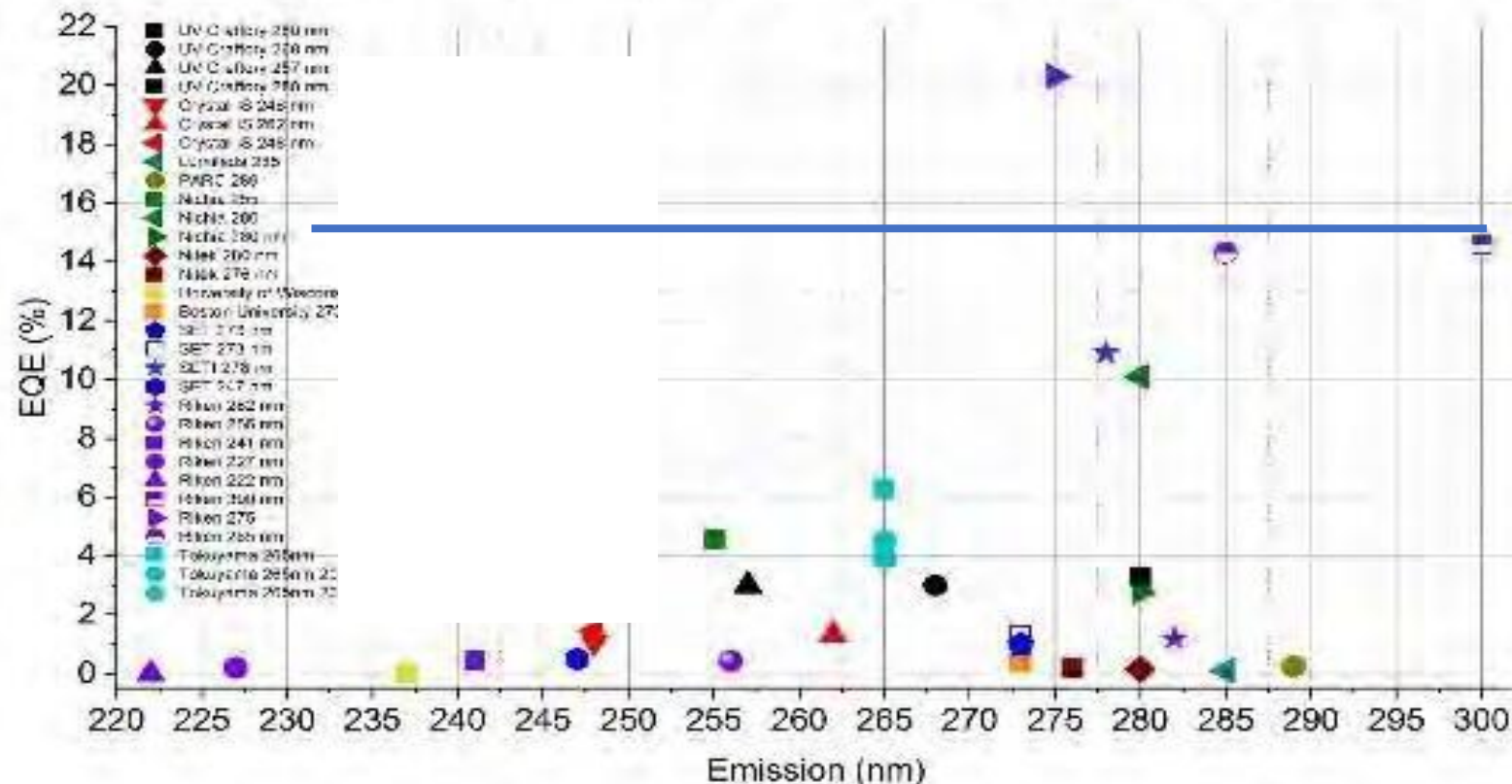
Legge di Haitz

Per ogni decennio, le prestazioni fotoniche aumentano x100 e il prezzo diminuisce x10

## Lampade Hg a media pressione

LED UVC selezionati per la ricerca sono già più efficienti di alcune lampade UVC

Reported External Quantum Efficiencies for UV-C LEDs



# Strategie di implementazione

## Esempio

### Posizionamento LED per trattamento acqua



# Modello di distribuzione dell'irradianza (fluence rate)

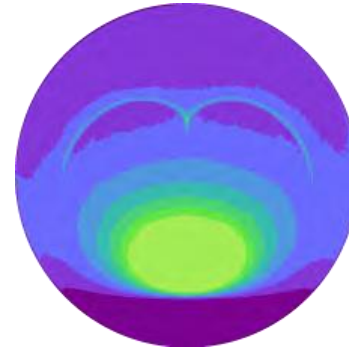
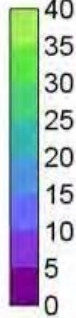
## Specifiche di prodotto

Potenza radiante: 4 mW

Lunghezza d'onda: 275 nm

Acqua nel serbatoio: 98%

Fluence rate [ $\mu\text{W cm}^{-2}$ ]



5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ore per ottenere una dose UV di 16 mJ/cm<sup>2</sup> (NSF-55 Class B)  
Bassissima intensità in alcune zone – potenziale crescita di biofilm

# Progetto di un modello alternativo

## Cambio del LED UVC

### Specifiche di prodotto

Potenza radiante: **40 mW**

Lunghezza d'onda: 275 nm

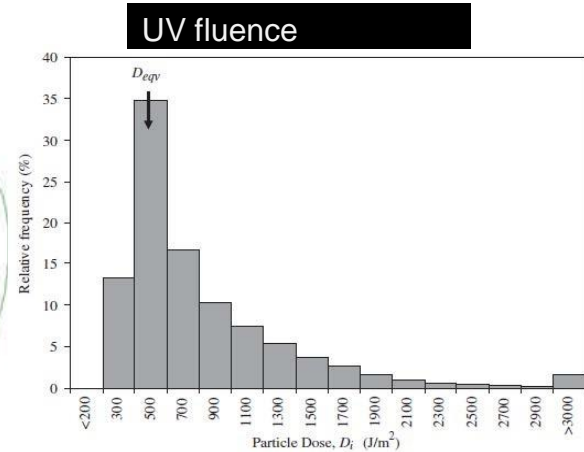
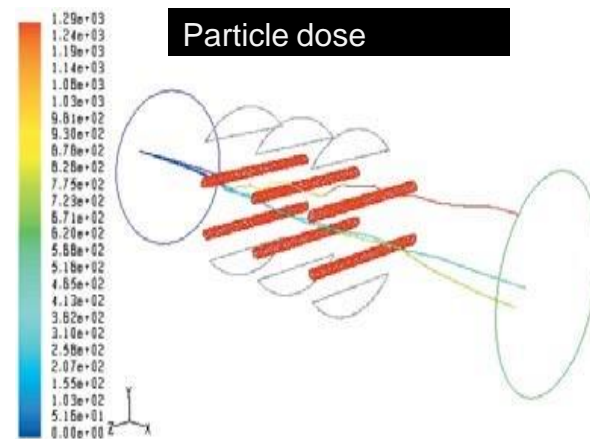
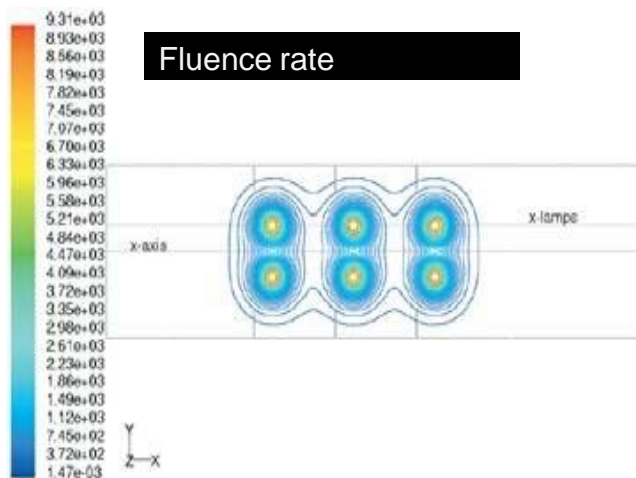
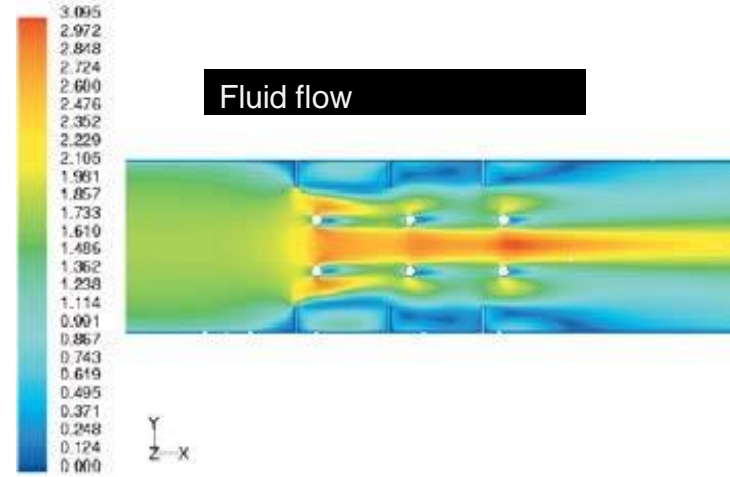
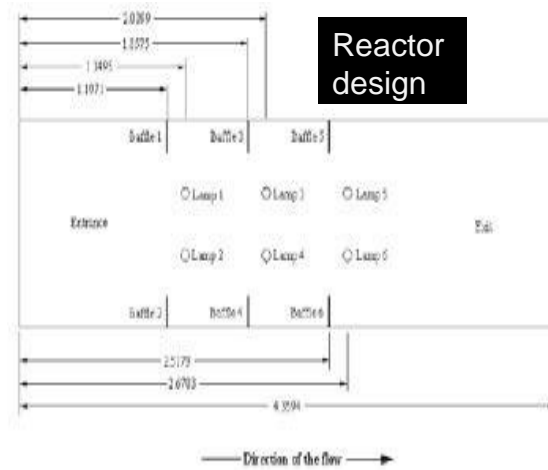
Acqua nel serbatoio: 98%

Fluence rate [ $\mu\text{W cm}^{-2}$ ]



- Distribuzione più omogenea della luce UV
- Potenza x10 - 25 minuti per ottenere una dose UV di  $16 \text{ mJ/cm}^2$

# Progetto di un sistema UV



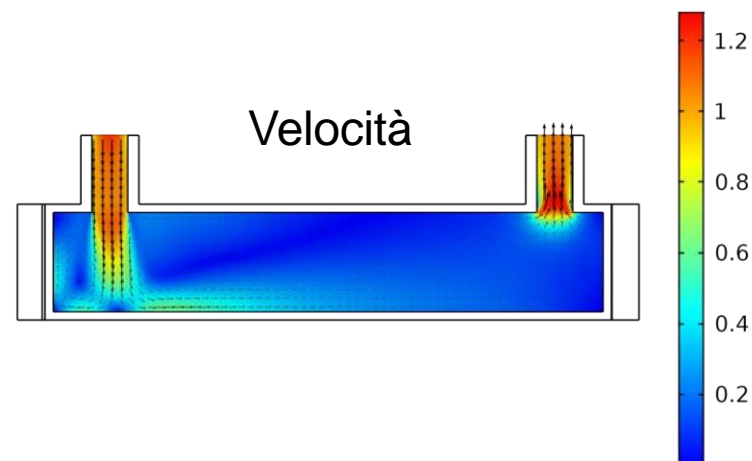
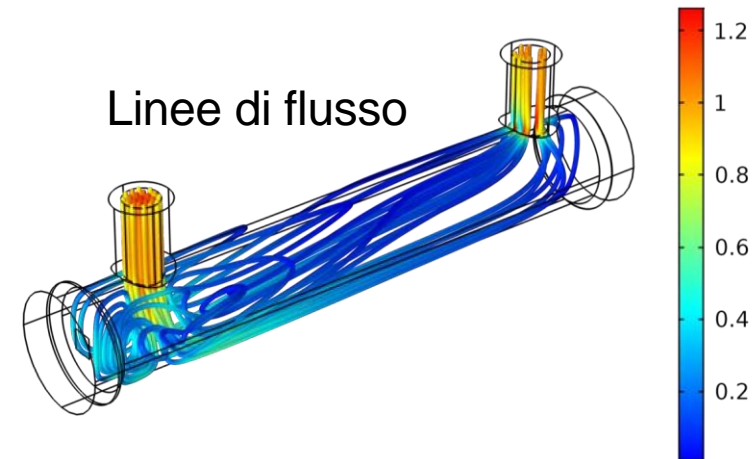
# Studio della fluidodinamica

## • Modello fluidodinamico

- ✓ Equazioni di Navier-Stokes al numero di Reynold medio
- ✓ Fluido incompressibile

## • Condizioni al contorno

- ✓ Ingresso: flusso completamente sviluppato
- ✓ Uscita: pressione nulla
- ✓ Parete: liscia e rettilinea



| Velocità di flusso | Numero di Reynold | Regime del moto |
|--------------------|-------------------|-----------------|
| 0.5                | ~1800             | Laminare        |
| 1.0                | ~3700             | Turbolento      |
| 1.5                | ~5500             | Turbolento      |
| 2.0                | ~7400             | Turbolento      |





---

**Ridurre la contaminazione batterica s.tto  
dell'aria e delle superfici  
per limitare la cross-contaminazione  
in ambienti sanitari e non**

# Cellulari e UV

La tecnologia UV permette in grado di disinfettare i nostri dispositivi mobili, senza però danneggiarli\*



# Oggetti e UV

Esistono anche contenitori con lampade UV / LED al loro interno consentendone la disinfezione



# Penne per scrivere e UV

Anche queste, usate continuamente dal personale sanitario, sono un potenziale veicolo di batteri.



# Tastiera del computer e UV

Molti studi hanno dimostrato che:

- La tastiera può essere fonte di diversi microrganismi, derivanti dalle mani o dai droplets di saliva quando mangiamo, parliamo, ecc.
- I batteri più frequentemente presenti sono: *Stafilococco aureus* ed *epidermidis*, micrococchi; enterococchi \*.



Esistono dispositivi che fanno sì che la tastiera venga reinserita all'interno del suo box UV-C dopo ogni utilizzo.

# UV-C nel design

Dispositivi che igienizzano gli oggetti inseriti all'interno

«Purity Capsule» by SLAMP:



99,999% SARS-CoV-2\*

99,83% *Staphylococcus aureus*,  
99,95% *Escherichia coli*,  
99,90% di *Salmonella typhimurium*

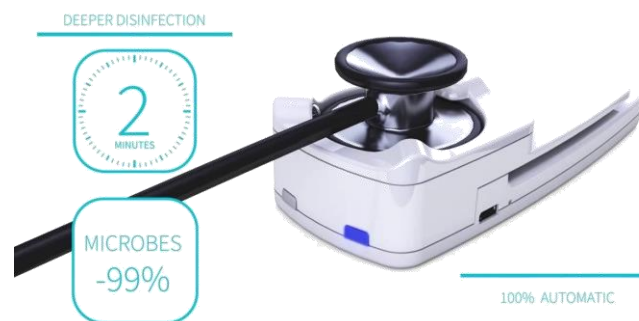
\*30 secondi 99,99-99,999%



# Stetoscopi e UV

- Utilizzati dal personale sanitario durante le visite, dovrebbero essere adeguatamente igienizzati dopo ogni utilizzo (tra un paziente e l'altro).
- Gli UV permettono la disinfezione contrastando la cross-contaminazione.

## «Stet Clean» by egoHEALTH





# Stetoscopi e UV

Percentuale di riduzione delle CFU(CI 95%)

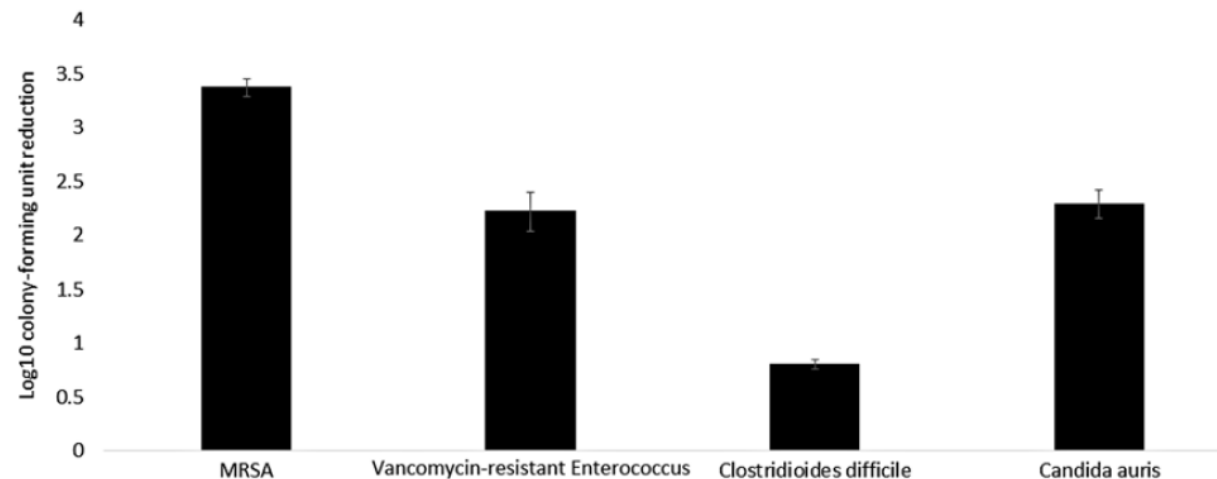
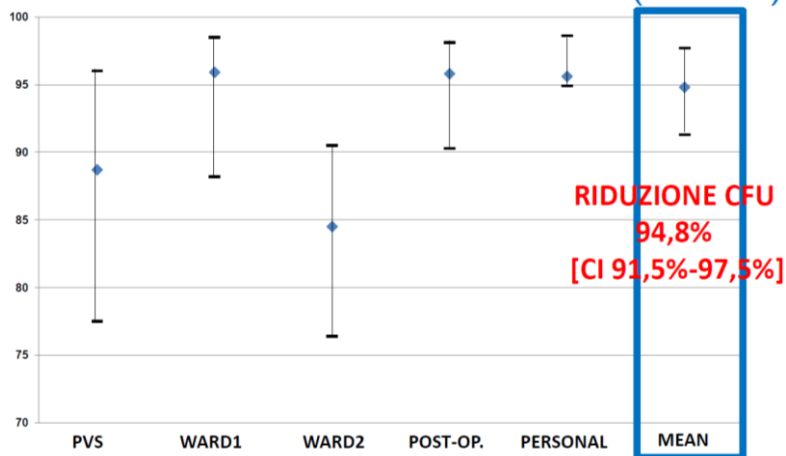
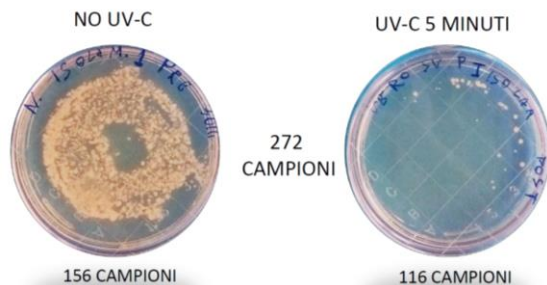


Fig. 1. Efficacy of a 3-minute ultraviolet-C cycle delivered by the StetClean device in reducing pathogens inoculated on stethoscope diaphragms. Note. MRSA, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. Error bars indicate standard error.

Dallo studio di: Greg R. Faulx, Erica L., Heba Alhmidi, Yilen K. Ng-Wong, Thriveen S.C. Mana, Jennifer L. Cadnum, Curtis J. Donskey **Efficacy of a wearable ultraviolet-C light device for semiautomated decontamination of stethoscopes between each use**

*Infection Control and Hospital Epidemiology* 41(2):1-2 doi: 10.1017/ice.2019.324



Dallo studio di: Messina G., Spataro G., Rosadini D., Burgassi S., Mariani L., Tani M., Cevenini G., **A novel approach to stethoscope hygiene: a coat-pocket innovation**  
*Infection, Disease & Health*, 2018, 23:211-216 doi: 10.1016/j.idh.2018.06.002

# UV e acqua

- Esistono lampade / LED per disinfettare l'acqua delle case, dei locali, degli ospedali, delle piscine
- La capacità di disinfezione dipende dalla potenza della lampada/LED, dalla portata del tubo, dal tempo di esposizione, dalla pressione e velocità del flusso

**UV-C LED water reactor**



# UV-C negli ambienti

L'applicazione più comunemente utilizzata per irradiare l'ambiente con luce UV è costituita dalle **lampade UV-C**.

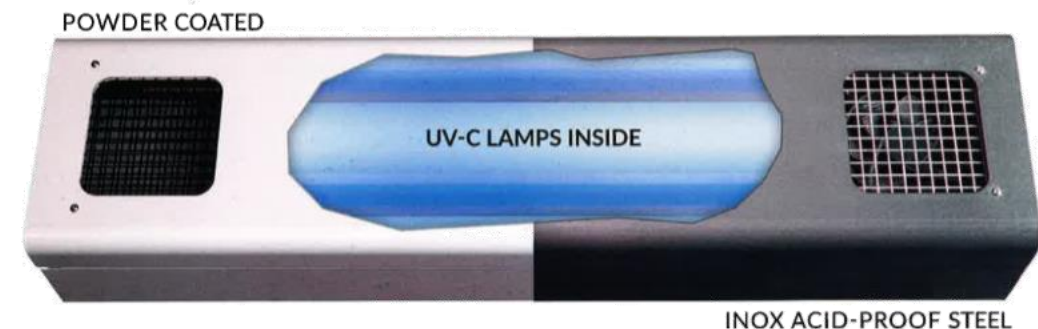
Queste possono essere:

- **fisse**
- **mobili**



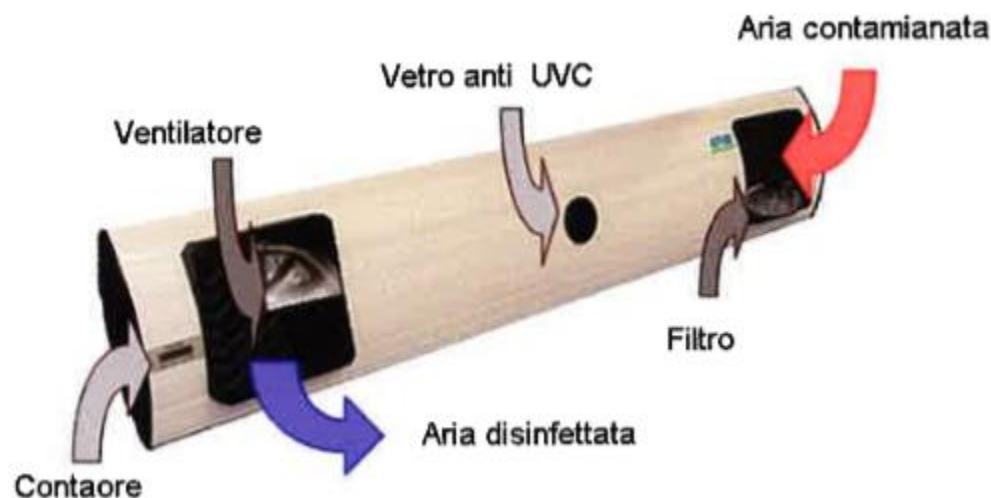
# Lampade UV fisse

- Permettono un'irradiazione germicida continua dell'aria.
- Le lampade vengono fissate nella parte superiore della stanza; la lampada è schermata esternamente



# UV-C negli ambienti

- L'obiettivo è di **inattivare i microrganismi mentre passano attraverso il filtro dell'aria** o inattivare i bioaerosol intrappolati sulle superfici del mezzo del filtro dell'aria



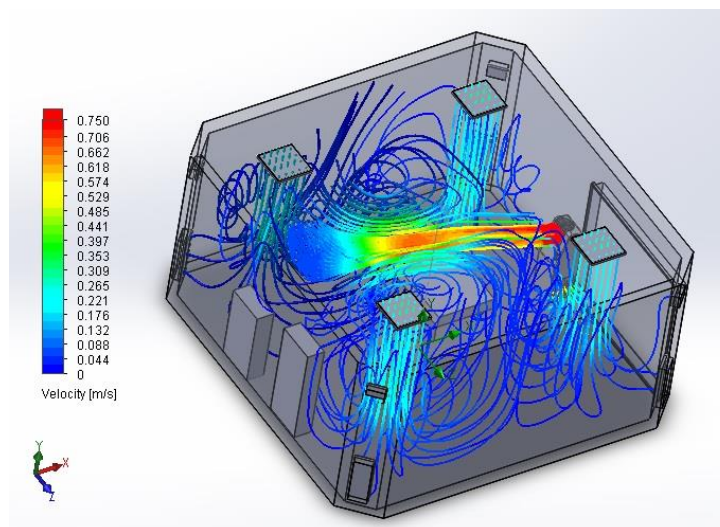
# UV-C negli ambienti (aria)

> J Infect Public Health. Nov-Dec 2019;12(6):827-830. doi: 10.1016/j.jiph.2019.05.010.  
Epub 2019 May 30.

## Association Between Air Changes and Airborne Microbial Contamination in Operating Rooms

Niccolò Vonci <sup>1</sup>, Maria F De Marco <sup>2</sup>, Anna Grasso <sup>2</sup>, Giuseppe Spataro <sup>1</sup>, Gabriele Cevenini <sup>3</sup>, Gabriele Messina <sup>4</sup>

### Ricerca eseguita nel: Policlinico Universitario Senese



## Dispositivo: ILLUVIA® 500UV by Aerobiotix



- A** FILTRO GROSSOLANO
- B** VENTILATORE/MOTORE
- C** REATTORE CON UVC E CRISTALLI
- D** FILTRO HEPA
- E** MONITOR QUALITÀ ARIA
- F** CONTATORE ORE

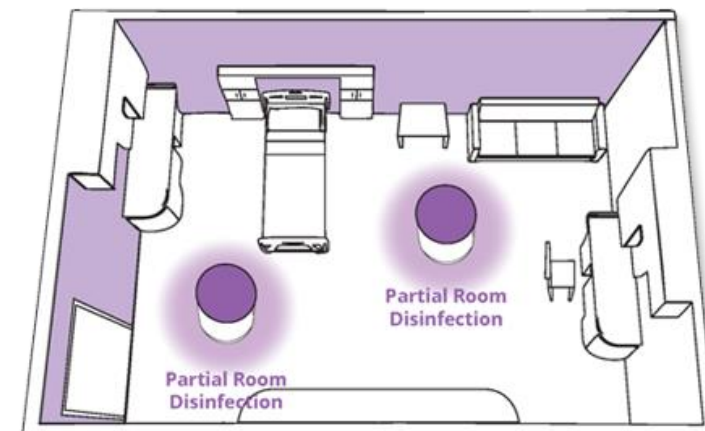
# Lampade uv mobili

- Le lampade mobili possono essere usate per la disinfezione di stanze e superfici dopo dimissione/trasferimento di pazienti.
- Sono facili da usare e la stessa lampada può essere utilizzata per tutte le stanze.



# Lampade UV mobili – corretto posizionamento

I punti luce devono essere studiati sulla base dell'ambiente da trattare.  
Un singolo posizionamento può non essere adatto per trattare tutto l'ambiente.  
L'approccio corretto prevede almeno 2-3 punti.

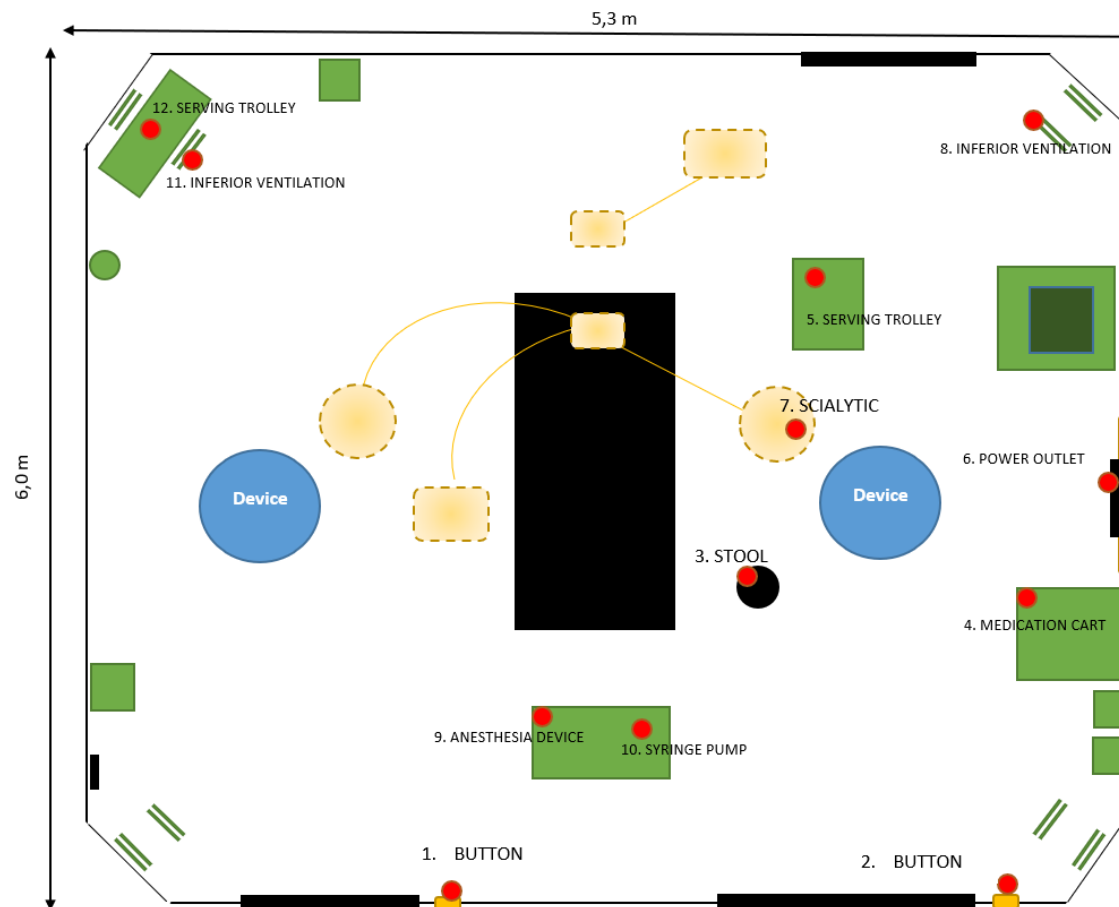




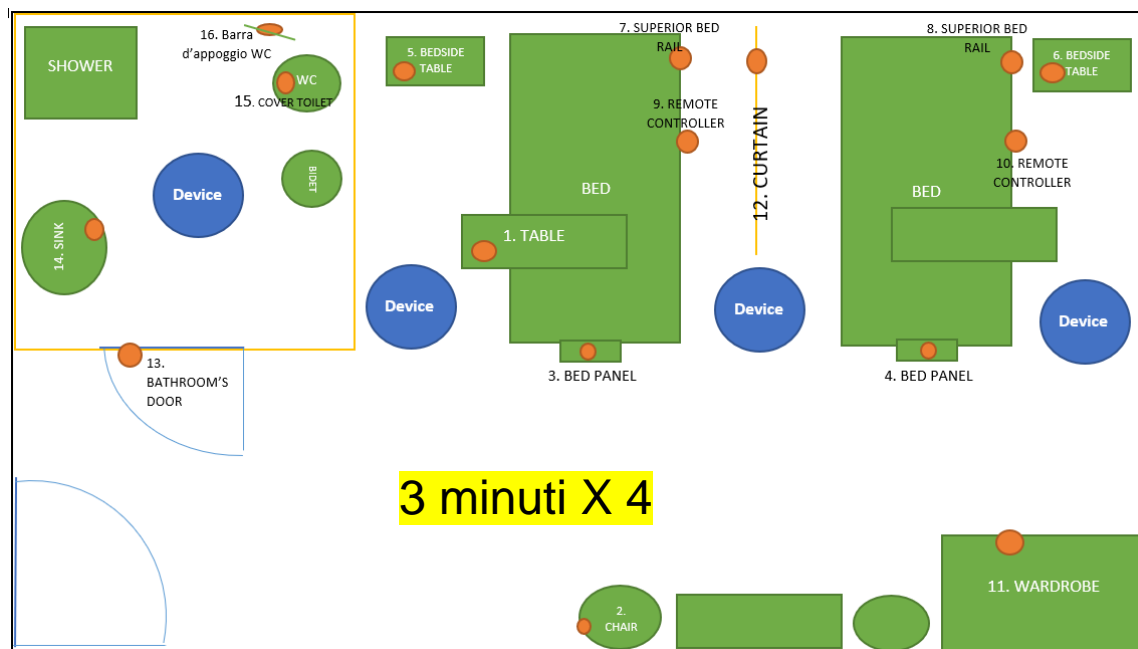
# UV-C negli ambienti – sala operatoria

«UVDI 360» by UVDI

Riduzione significativa  
tra pre vs post UVC ( $p < 0.001$ )



# UV-C negli ambienti – degenze



- Pre UVC media di 5.83 CFU/PP (IC 3.79-7.86)  
Post UVC la media è 0.28 CFU/PP (IC 0.15-0.40).
- Riduzione della contaminazione significativa ( $p < 0.001$ ).
- L'83,3% dei siti contaminati aveva zero CFU/PP dopo l'uso dell'UVC.

# Tecnologia a disinfezione continua



- 405 nm
- Non dannosa per pelle dell'uomo
- Target: porfirine batteriche  
→ inattivazione



**ON**



**OFF**





percorso necessario →  
 percorso eventuale →



# Fase 1

## Studio scientifico e tecnico del sistema

---

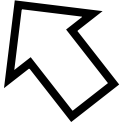


- Studio della letteratura scientifica relativa a prodotti/soluzioni similari
- Predisposizione di materiale documentale circa lo stato dell'arte, efficacia, punti di forza e debolezza, opportunità e problematiche
- Valutazione tecnica del sistema: fisica/chimica, meccanica, elettronica, ottica, materiali, geometria, dimensioni, peso, ecc..
- SWOT (*Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats*) tecnico-scientifico

# Fase 2

## Misure fotoniche e microbiologiche

---

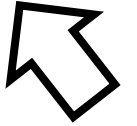


- Progetto di un sistema di misure fotoniche e microbiologiche per la verifica sperimentale dell'effettivo potere igienizzante del sistema
- Definizione di un protocollo di misure che comprende:
  - ✓ costruzione di un setting sperimentale di misura;
  - ✓ misure fotoniche con tecnologie hardware e software;
  - ✓ predisposizione/allestimento di preparati microbiologici;
  - ✓ misure microbiologiche multiple

# Fase 3

# Ottimizzazione

---



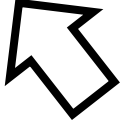
- Studio e progetto di modifiche/revisioni funzionali del sistema sulla base dei risultati delle misure
- Introduzione di eventuali elementi innovativi, in un'ottica applicativa e ottimizzata in efficacia/efficienza, costo e concreta realizzabilità
- Analisi modellistica fisico-matematica e nuove misure sperimentali fotobiometriche per la verifica dei miglioramenti introdotti dalle modifiche/ottimizzazioni
- Eventuale prototipazione del sistema revisionato



# Fase 4

## Sperimentazione e testing real-space

---



- Verifica sul campo del dispositivo/prototipo finale, ingegnerizzato e in fase pre-industriale, per una valutazione di utilizzo pratico in ambienti reali
- Definizione di un protocollo di valutazione che comprende:
  - ✓ individuazione della utenza e clientela;
  - ✓ predisposizione di un feedback di buon/facile/utile uso;
  - ✓ raccolta di dati e informazioni tramite questionari, interviste, misure;
  - ✓ analisi statistica mono e multivariata

# Fase 5

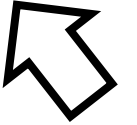
## Consulenza per filiera di produzione locale/europea

- Consulenza per favorire la costruzione di proficue filiere produttive, privilegiando particolarmente quelle di tipo nazionale e/o europea
- La ricerca e sviluppo nel settore della disinfezione UV-LED si è consolidata in un network di relazioni accademiche e industriali al più alto livello scientifico e tecnologico, specialmente per:
  - ✓ materie prime, coating, polimeri e materiali compositi ingegnerizzati;
  - ✓ LED, PCB, tecnologie UV, nanotecnologie e altre tecnologie avanzate;
  - ✓ progetto, design, stampaggio ed assemblaggio meccanico ed elettronico
  - ✓ produzione e commercializzazione

# Fase 6

## Marketing scientifico

---

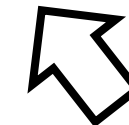


- Divulgazione dei contenuti delle ricerche fotoniche, microbiologiche e tecnologiche avvalorando il sistema presso le comunità scientifiche nazionali e internazionali
- Produzione di pubblicazioni scientifiche affiliate all'Università di Siena, comunicazioni/pitch/poster a congressi, esposizioni a fiere, ecc.
- Rigore scientifico-metodologico con particolare attenzione alle questioni connesse con la brevettazione e in stretta relazione con le fasi precedenti

# Fase 7

## Bandi per finanziamenti pubblici e privati

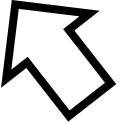
---



- Eventuale partecipazione a bandi regionali, nazionali, europei o internazionali per il finanziamento di progetti a compartecipazione pubblica-privata, tra Università, Enti di ricerca, Enti pubblici e Aziende private
- Tutoraggio esperto per la formulazione della domanda, curata e formalizzata da qualificati professionisti del settore attraverso la nostra interazione esperta

# Progetto «resource driven»

---



- Articolazione di un percorso progettuale guidato dalle risorse disponibili
- Adattamento e armonizzazione dei processi per la fornitura di un servizio ridotto, ma ben definito
- Percorso dinamico e flessibile che interagisce col committente durante lo sviluppo, per ragioni di utilità realizzativa



# UNIVERSITÀ DI SIENA 1240

Prof. Gabriele Messina  
gabriele.messina@unisi.it

Prof. Gabriele Cevenini  
gabriele.cevenini@dbm.unisi.it

