

# SAILOR Moon

## Solar ultraviolet Light collector for germicidal irradiation on the Moon

**Matteo Lombini**<sup>1</sup>, Laura Schreiber<sup>1</sup>, Roberto Albertini<sup>2</sup>, Elisa Maria Alessi<sup>3</sup>, Andrea Bianco<sup>4</sup>, Enrico Cascone<sup>5</sup>, Alain J. Corso<sup>6</sup>, Maria Eugenia Colucci<sup>2</sup>, Fausto Cortecchia<sup>1</sup>, Vincenzo De Caprio<sup>5</sup>, Emiliano Diolaiti<sup>1</sup>, Mauro Fiorini<sup>7</sup>, Luigi Lessio<sup>8</sup>, Giuseppe Malaguti<sup>1</sup>, Giuseppe Mongelluzzo<sup>5</sup>, Marta Padovani<sup>6</sup>, Giovanni Pareschi<sup>4</sup>, Maria G. Pelizzo<sup>9</sup>, Cesira Pasquarella<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Istituto Nazionale di Astrofisica - Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna

<sup>2</sup>Dipartimento di Medicina e Chirurgia - Università di Parma

<sup>3</sup>Istituto di Matematica Applicata e Tecnologie Informatiche "E. Magenes" – CNR - Milano

<sup>4</sup>Istituto Nazionale di Astrofisica - Osservatorio Astronomico di Brera - Merate (Lc)

<sup>5</sup>Istituto Nazionale di Astrofisica - Osservatorio Astronomico di Capodimonte - Napoli

<sup>6</sup>Istituto di Fotonica e Nanotecnologie – CNR - Padova

<sup>7</sup>Istituto Nazionale di Astrofisica - Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica di Milano

<sup>8</sup>Istituto Nazionale di Astrofisica - Osservatorio Astronomico di Padova

<sup>9</sup>Dipartimento di Ingegneria Informatica - Università di Padova



UNIVERSITÀ  
DI PARMA

imati

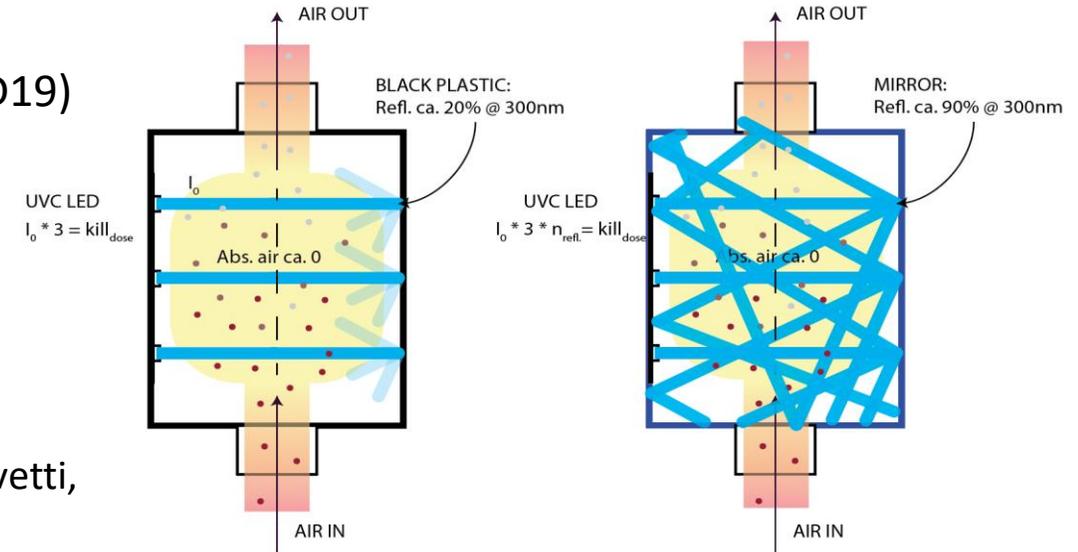
CNRIFN  
Istituto di Fotonica e Nanotecnologie

# SAILOR Moon

- Solar ultraviolet Light collector for germicidal irradiation on the Moon
- Progetto guidato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF)
  - Partecipazione di 20 ricercatori suddivisi in 5 sedi INAF, 2 sedi CNR, Università di Parma, Università di Padova
- Studio concettuale di un sistema di sanificazione dell'aria all'interno dei futuri moduli abitativi sulla Luna
  - Utilizzo della Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) con radiazione nella banda UVC (200nm e 280nm)
- Il sistema si compone di due moduli:
  - Raccolta e concentrazione della radiazione ultravioletta (C) del sole da utilizzare come sorgente germicida mediante collettori posizionati sul tetto dei moduli abitativi
    - Concentratore con inseguimento del sole
    - Concentratore statico
  - Filtro UVC ad alta efficienza lungo i condotti di ricircolo dell'aria

# Attività INAF su UVGI

- Attività iniziate a fine di Marzo 2020 e ancora in corso (INAF vs COVID19)
- Know-how di provenienza 'astronomica'
  - Simulazioni ottiche, fluido-dinamiche, numeriche e analitiche
  - Sorgenti, materiali e filtraggio radiazione UVC
  - Progettazione meccanica, prototipizzazione e verifica in laboratorio
- Risultati attività
  - Prototipizzazione, sistemi di misura irraggiamento, consulenze, brevetti, pubblicazioni, divulgazione
- Filtro UVC: cavità ottica con superfici interne altamente riflettenti
  - aumento esponenziale della densità di irradianza con la riflettività interna
  - aumento della permanenza dei microrganismi all'interno della zona irradiata



## Fluenza o Irraggiamento o Dose

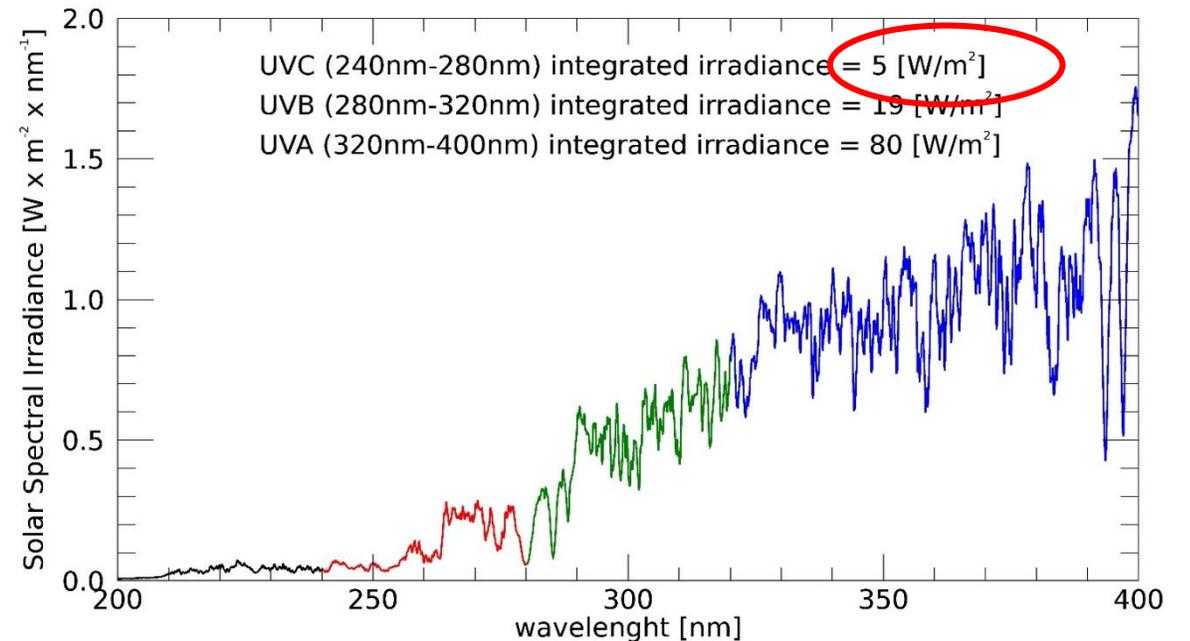
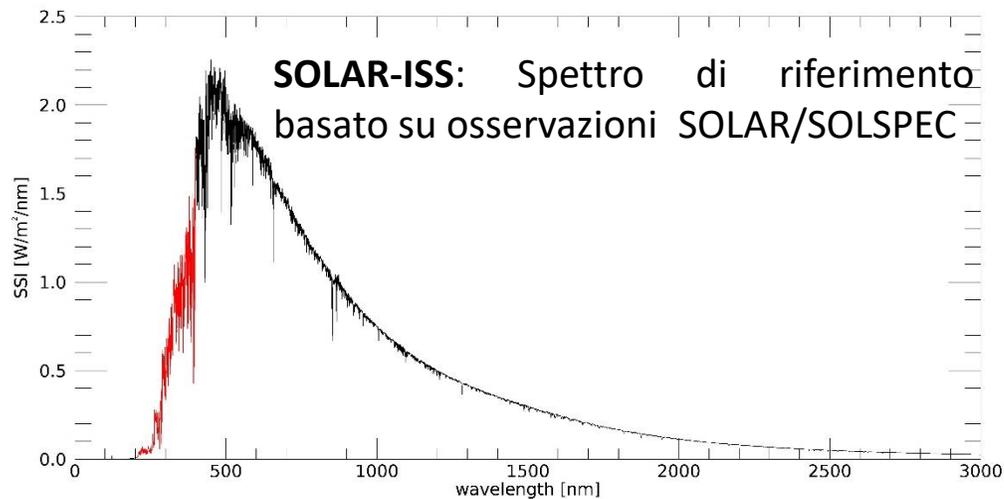
$$F = P \times t$$

$P$ : Irradianza nell'unità di volume

$t$ : tempo di permanenza dell'aria (Microrganismi) nell'unità di volume

# UVGI negli ambienti spaziali abitati

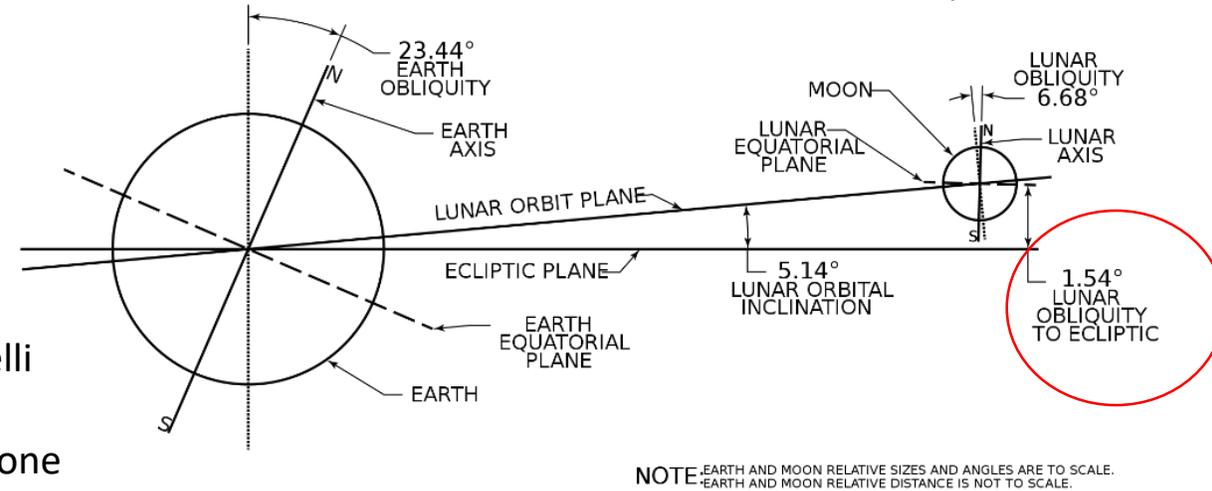
- Necessità di ridurre la contaminazione microbica all'interno di moduli abitativi nello spazio
  - Riferimenti da studi a bordo della Stazione Spaziale Internazionale, unico riferimento di ambiente abitato in maniera continuativa fuori dalla terra
  - Si prevedono situazioni ambientali analoghe per i moduli abitativi futuri (sulla Luna, Marte, ecc.)
- Possibilità di utilizzare la componente UVC della radiazione solare come sorgente germicida
  - Brevetto per utilizzo luce UVC per disinfezione in ambienti spaziali:  
*"Device and method for disinfecting a working volume in an artificial space environment via solar UV radiation"*  
International Patent n. PCT/IB2022/055198, giugno 20



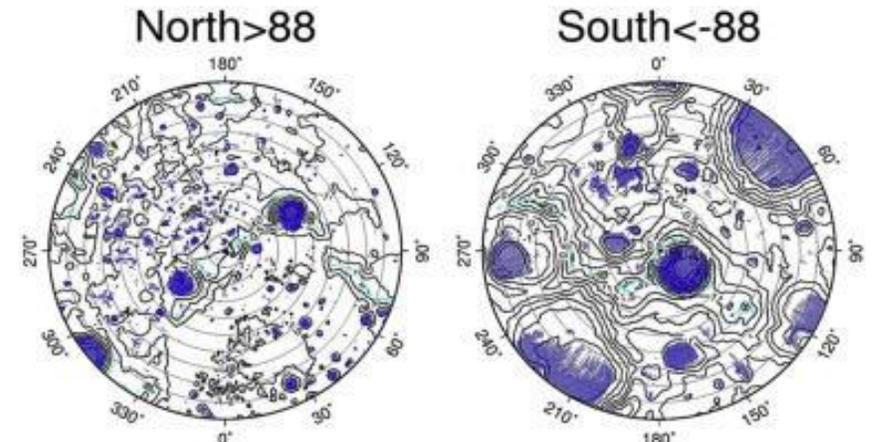
# Irradiazione solare ai poli della Luna

Crediti: Wikipedia

- **Inclinazione asse lunare rispetto all'eclittica  $\sim 1,5^\circ$** 
  - Ai poli il sole è sempre all'orizzonte  $\pm 1,5^\circ$
- **Peaks of eternal light**
  - Esposizione alla luce solare fino al **90%** del tempo
  - Utilizzo radiazione solare anche per produzione di energia (pannelli fotovoltaici), per illuminazione serre e per benessere astronauti
  - Vicinanza zone d'ombra perenni all'interno dei crateri per estrazione acqua, ossigeno, ecc.
- **Ritorno degli astronauti sulla Luna e progetto di colonizzazione (missione ARTEMIS e oltre)**
  - Possibili landing sites missioni ARTEMIS sui bordi dei crateri al polo sud
  - <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-identifies-candidate-regions-for-landing-next-americans-on-moon>



Regioni polari lunari ( $88-90^\circ$ ) con nessuna illuminazione (viola) e alta illuminazione (azzurro)



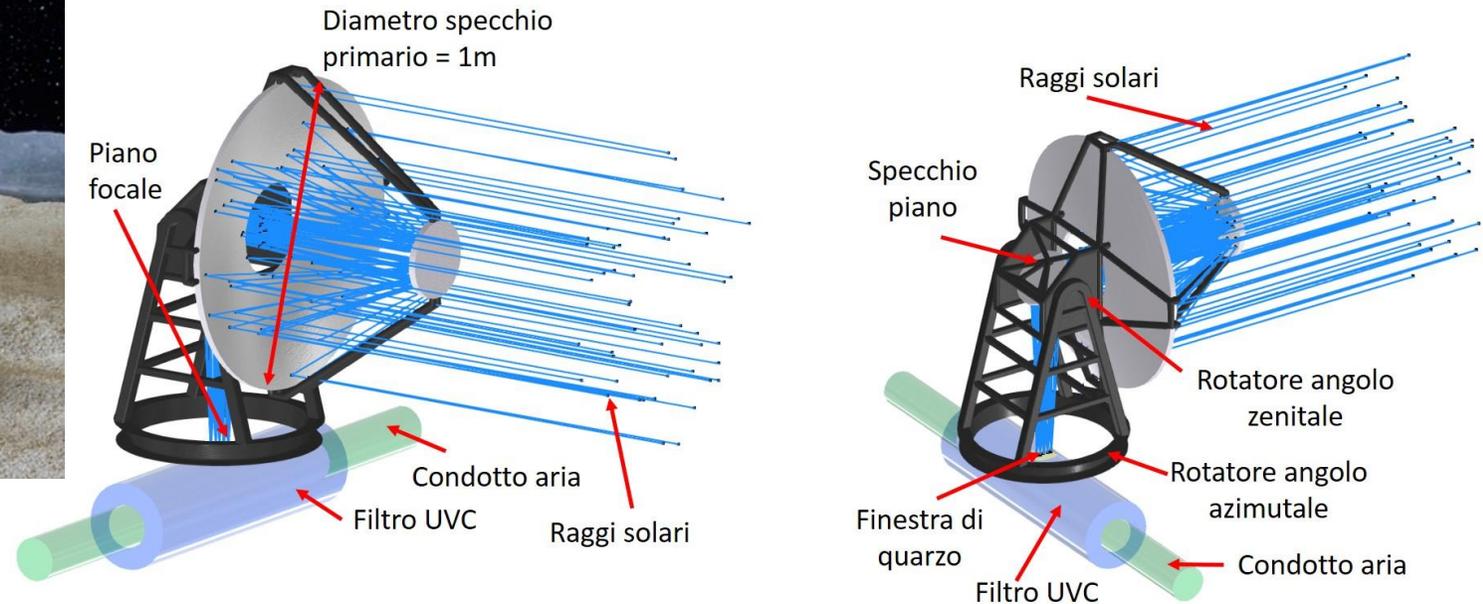
H. Noda, *et al.* Illumination conditions at the lunar polar regions by KAGUYA (SELENE) laser altimeter

# Concentratore con inseguimento del sole

- Disegno di telescopio a 2 specchi
  - (+ terziario piatto come compensatore)
  - Puntamento all'orizzonte  $\pm 3,5^\circ$ 
    - Valore conservativo
  - Rotazione lungo angolo azimutale in circa 29 giorni
- L'immagine del sole diventa la sorgente UVC
  - Finestra di quarzo sul piano focale del telescopio



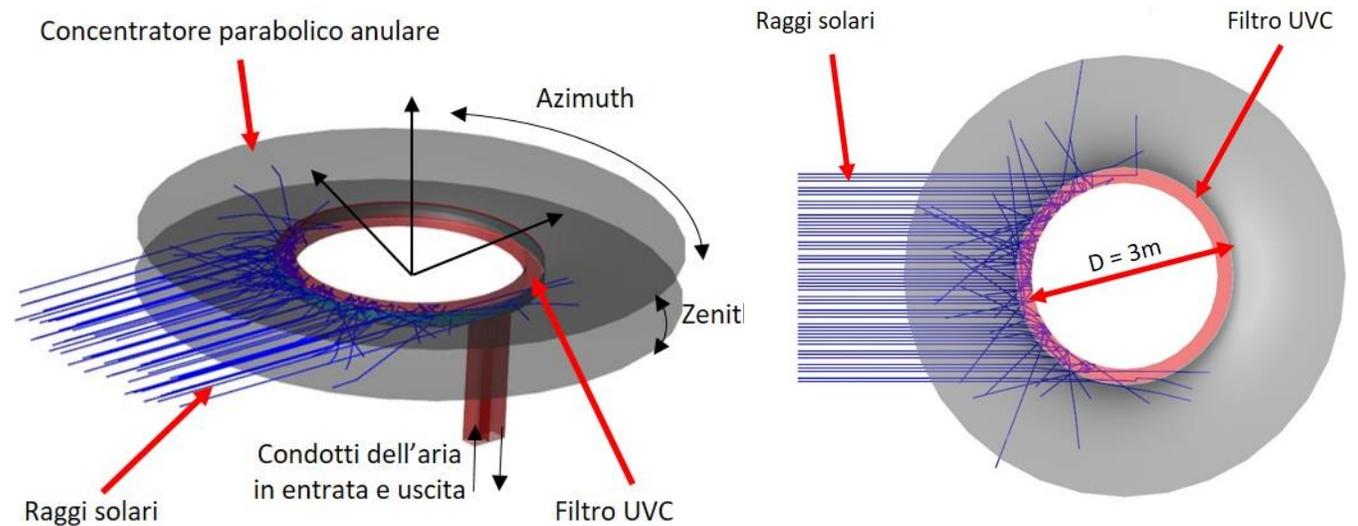
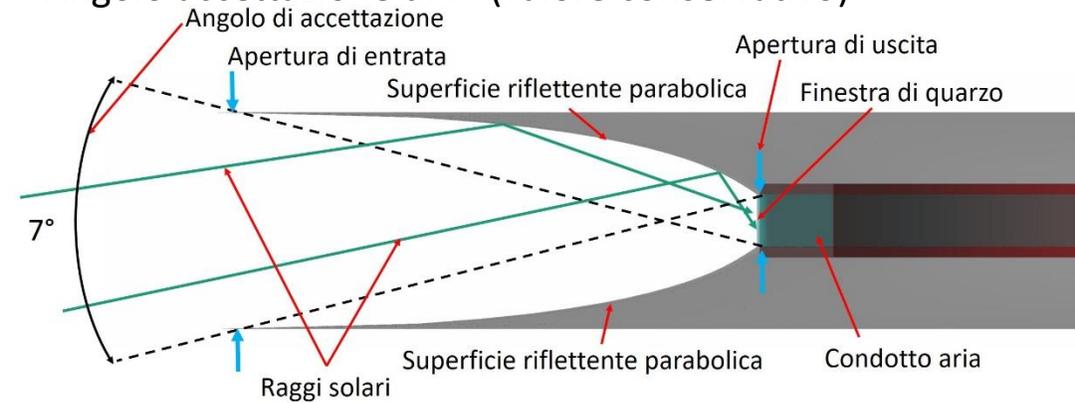
Credits: LEGO



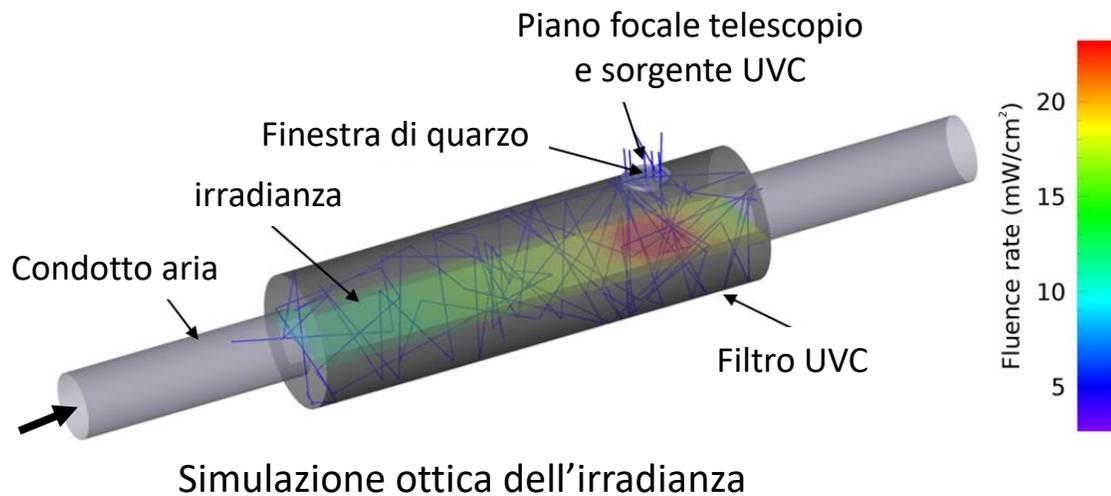
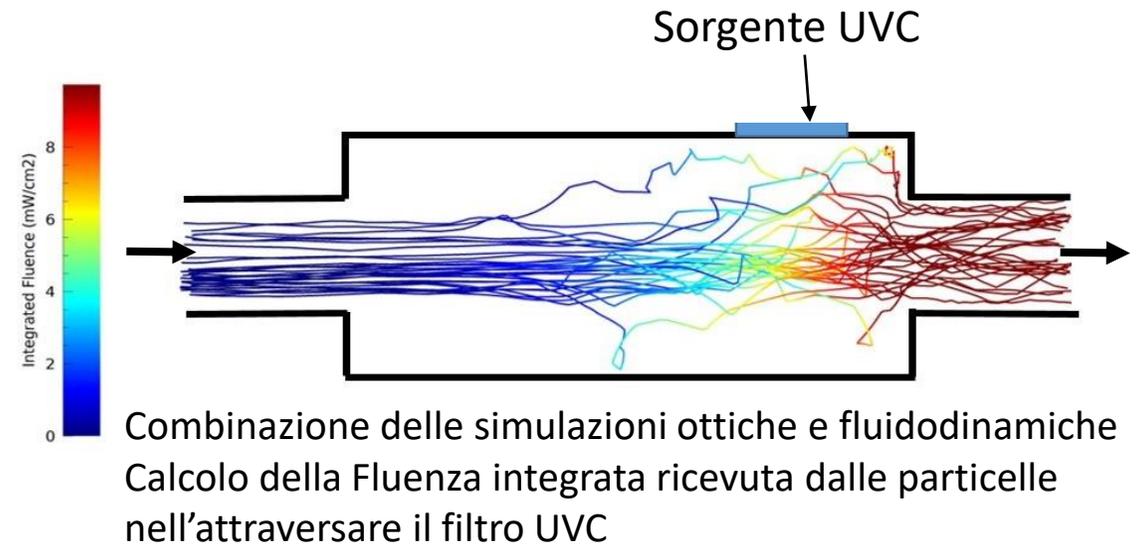
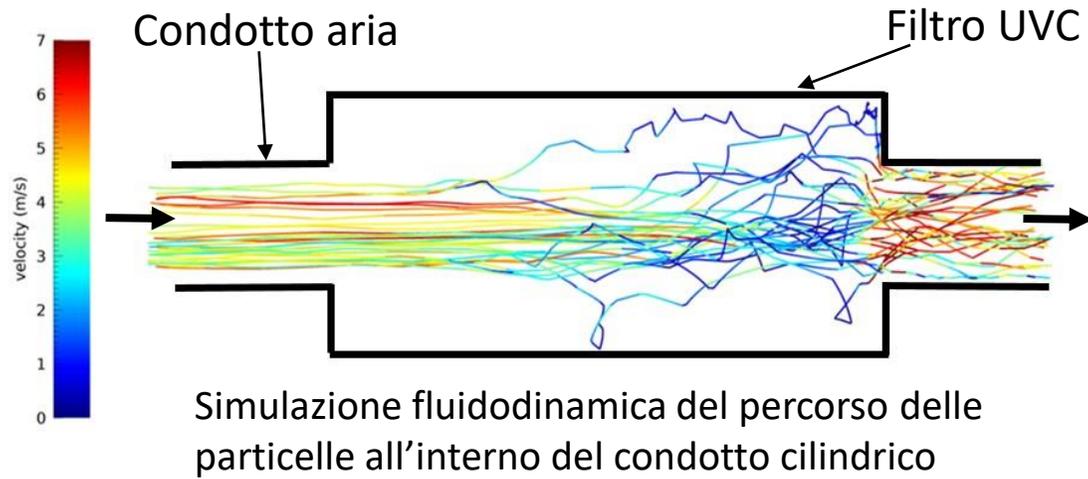
# Concentratore statico



- Concentratore anulare
  - Disegno specifico per poli lunari
- Profilo esterno di un concentratore parabolico composto (CPC)
  - Angolo accettazione di  $7^\circ$  (valore conservativo)



# Simulazioni fluidodinamiche e ottiche



# Risultati attesi

Caso	Flusso aria ( $m^3/h$ )	Riflettività condotto R	Fluenza ( $J/m^2$ )	
Concentratore a inseguimento del sole	230	0	11	
		0.90	95	↓ × 8.5
		0.95	162	↓ × 1.7
	460	0	6	
		0.90	48	
		0.95	81	
		0.99	189	↓ × 2.3
Concentratore statico	230	0	18	
		0.90	161	
		0.95	210	
		0.99	287	
	460	0	9	
		0.90	81	
		0.95	105	
		0.99	143	

## ➤ Ottime prestazioni previste dalle simulazioni

- Dipendenza dal flusso e riflettività interna dei condotti d'aria
- Ricircolo dell'aria a ciclo chiuso: dopo ogni ciclo la frazione di microrganismi sopravvissuta è calcolata sui residui del ciclo precedente ed il numero totale si riduce esponenzialmente

Organism	Species	Type	$D_{90}$ Range ( $J/m^2$ )	$D_{90}$ ( $J/m^2$ )
<b>Virus</b>				
Adenovirus		dsDNA	/	59 <sup>96</sup>
Coronavirus		ssRNA	/	3 <sup>96</sup>
SARS-CoV-2		ssRNA	/	5 <sup>97</sup>
Coxsackie		ssRNA	/	21 <sup>14</sup>
Influenza A		ssRNA	/	19 <sup>14</sup>
<b>Bacteria</b>				
<i>Bacillus subtilis</i>		Veg	/	14 <sup>98</sup>
		Sp		149 <sup>99</sup>
<i>Burkholderia cepacia</i>		Veg	/	22 <sup>100</sup>
<i>Escherichia coli</i>		Veg	/	11 <sup>101</sup>
<i>Francisella tularensis</i>		Veg	/	288 <sup>102</sup>
<i>Mycobacterium</i> spp	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Veg	5 - 63	5 <sup>103</sup> , 63 <sup>103</sup>
<i>Pseudomonas</i> spp	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Veg	3-4	3 <sup>104</sup> , 4 <sup>105</sup>
<i>Serratia</i> spp	<i>Serratia marcescens</i>	Veg	115 - 209	115 <sup>104,105</sup>
	<i>Serratia indica</i>	Veg		209 <sup>106</sup>
<i>Staphylococcus</i> spp	<i>Staphylococcus aureus</i>	Veg	20 - 52	20 <sup>98</sup>
	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Veg		29 <sup>104</sup>
	<i>Staphylococcus albus</i>	Veg		52 <sup>107</sup>
<i>Streptococcus</i> spp	<i>Streptococcus pyogenes</i>	Veg	1 - 5	1 <sup>108</sup>
	<i>Streptococcus agalactiae</i>	Veg		5 <sup>108</sup>
<b>Fungi</b>				
<i>Candida</i> spp	<i>Candida auris</i>	/	/	50 <sup>97</sup>
<i>Aspergillus</i> spp	<i>Aspergillus versicolor</i>	Sp	32 - 5400	32 <sup>104</sup>
	<i>Aspergillus amstelodami</i>	Sp		870 <sup>108</sup>
	<i>Aspergillus versicolor</i>	Veg		940 <sup>98</sup>
	<i>Aspergillus niger</i>	Sp		5400 <sup>108</sup>

Dosi di radiazione UVC per un'inattivazione del 90% di alcuni microrganismi aerogeni. Il range di valori considera diverse varianti dello stesso microrganismo.

# Lavoro futuro

- Coordinamento con la comunità scientifica e industriale preposta allo studio dei moduli abitativi
  - specifiche e vincoli riguardanti i parametri del sistema proposto (flusso aria, dimensioni, ecc.)
- Studio per l'ottimizzazione delle prestazioni
  - Profilo concentratori, geometria condotti aria, ecc.
- Validazione sperimentale delle simulazioni
  - Progetto pilota nell'Unità di Trattamento Aria presso Centro Servizi Multisetoriale e Tecnologico (CSMT) di Brescia in corso
    - <https://www.csmt.it/it/blog/uvc-mirror-in-dirittura-darrivo-la-fase-di-validazione-del-progetto-tutto-pronto-per-scendere-in-campo>
  - Misure inattivazione in dispositivi compatti con LED UVC, in collaborazione con Università di Parma (gruppo della Prof.ssa Pasquarella), in fase di programmazione
  - Misure inattivazione mediante sorgente con spettro solare (nello spazio)
    - Verifica dell'efficacia di sanificazione con uso sinergico di UVC con UVB e/o UVA
- Considerazioni preliminari per le fasi successive del progetto
  - Sanificazione UV(C) parte di un sistema più complesso che comprende filtraggio polveri, ventilazione forzata, ecc.

# Conclusioni

- Articolo su SAILOR MOON in fase di review su Scientific Reports
  - <https://www.researchsquare.com/article/rs-2369408/v1>
- Richiesta di finanziamento all'interno del bando ASI - Partenariati Estesi
- Viene proposta una tecnologia semplice, efficace e sostenibile per la sanificazione dell'aria all'interno dei moduli abitativi lunari:
  - Sole come sorgente ultravioletta naturale ed inesauribile;
  - il concentratore statico non richiede parti mobili o energia elettrica.
- Trasferimenti tecnologici:
  - costruzione di concentratori in alluminio con la tecnica della tornitura in lastra
  - sviluppo di coating ottici altamente efficienti nell'UVC e di processi realizzativi di tali coating.
  - sviluppo di dosimetri UV costituiti da film fotocromici a base di arilene per la misura dell'irradianza all'interno dei condotti dell'aria
- Altre applicazioni della stessa tecnologia di concentrazione della luce solare su differenti lunghezze d'onda
  - colture idroponiche (400-500nm e 630-660nm), stimolazione alla produzione della vitamina D (290-315nm) o illuminazione interna dei moduli abitativi con luce 'naturale'
  - con i dovuti adattamenti, utilizzo in differenti futuri ambienti spaziali abitati, come il *Lunar Gateway*, basi su Marte o navicelle spaziali.