



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Attività e collaborazioni Gruppo UV-EUV

Laboratorio SDL

WIP 7 Febbraio 2022, Frascati

S. Bollanti, P. Di Lazzaro, F. Flora, L. Mezi, D. Murra



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



Attività Gruppo UV-EUV (ex-Eccimeri)

Il Gruppo ha esperienza più che trentennale nella generazione, manipolazione, caratterizzazione ed applicazione della radiazione ultravioletta (UV), coerente ed incoerente, e più che ventennale di quella nell'estremo ultravioletto (EUV) ($\lambda \in [4.4, 62]$ nm).

Inoltre da circa un decennio le competenze di ottica e meccanica celeste sono state indirizzate allo sviluppo, alla realizzazione ed alle applicazioni di una bussola solare elettronica ad alta accuratezza, nelle sue varie «declinazioni».

Attività Gruppo UV-EUV (ex-Eccimeri)

Attività in corso

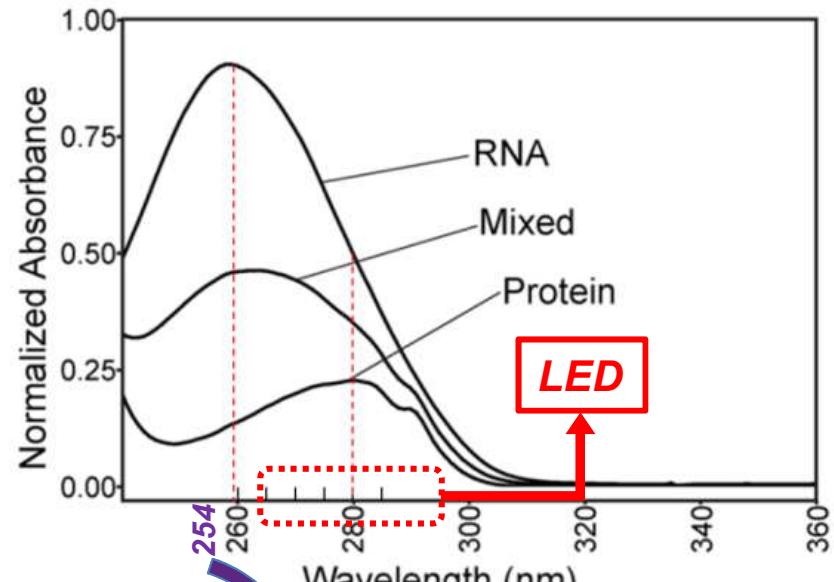
- Radiazione UV-C per la sanificazione
- Radiazione UV per test di substrati per lo spazio
- Radiazione EUV da sorgente a scarica capillare (DPP) per test di materiali e dispositivi
- Bussola solare per il geomagnetismo
- Bussola solare per l'archeoastronomia

Radiazione UV-C per la sanificazione

Interazione con i sistemi biologici

Fascia	Intervallo λ [nm]
UV-A	320 - 400
UV-B	280 - 320
UV-C	200 - 280

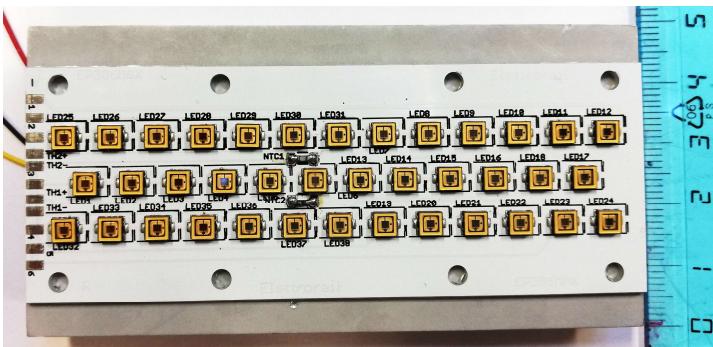
Genera reazioni fotochimiche
→ azione germicida/inattivante



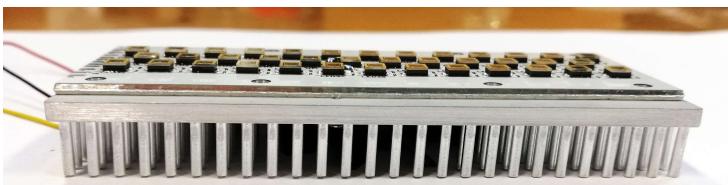
Lampade al mercurio

Radiazione UV-C per la sanificazione

Matrice di 38 LED Luminus XBT3535
 $P=35 \text{ mW} @ I=350 \text{ mA}$ - $\lambda \approx 277 \text{ nm}$ $\Delta\lambda=12 \text{ nm}$



PCB SMD realizzato dalla ditta Elettrorail

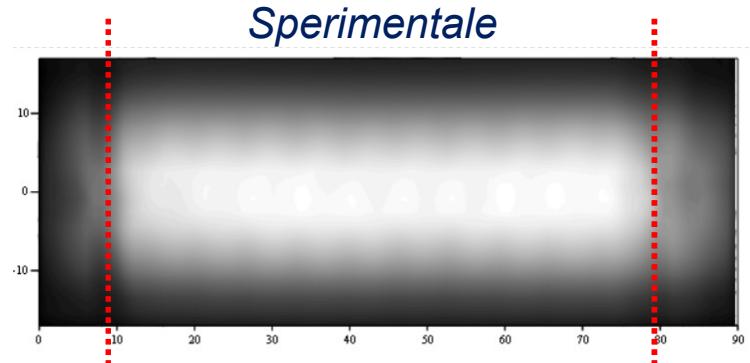


Dissipatore CoolInnovation 3-3618XXUJFA

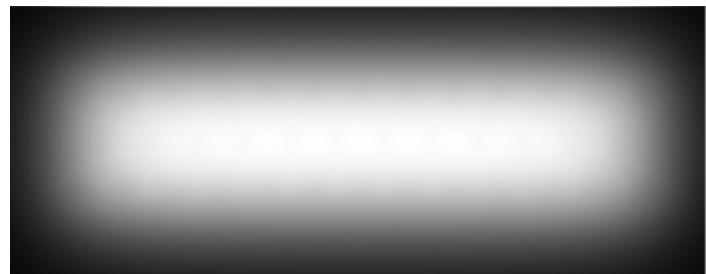


Attività e collaborazioni Gruppo UV-EUV, WIP 7 Febbraio 2022, ENEA Frascati

Distribuzione spaziale di intensità @ 8.2 mm

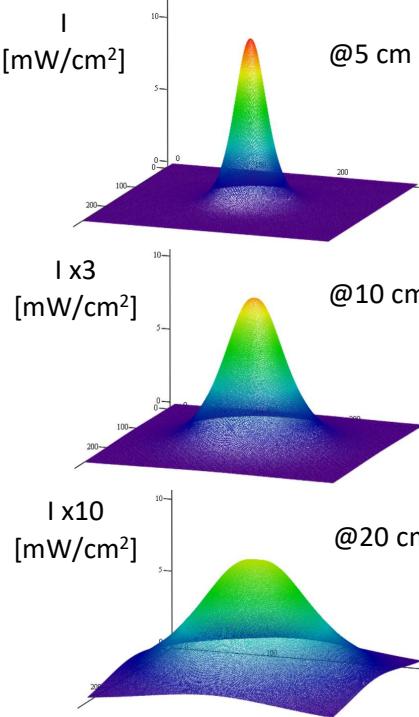


Simulata



Radiazione UV-C per la sanificazione

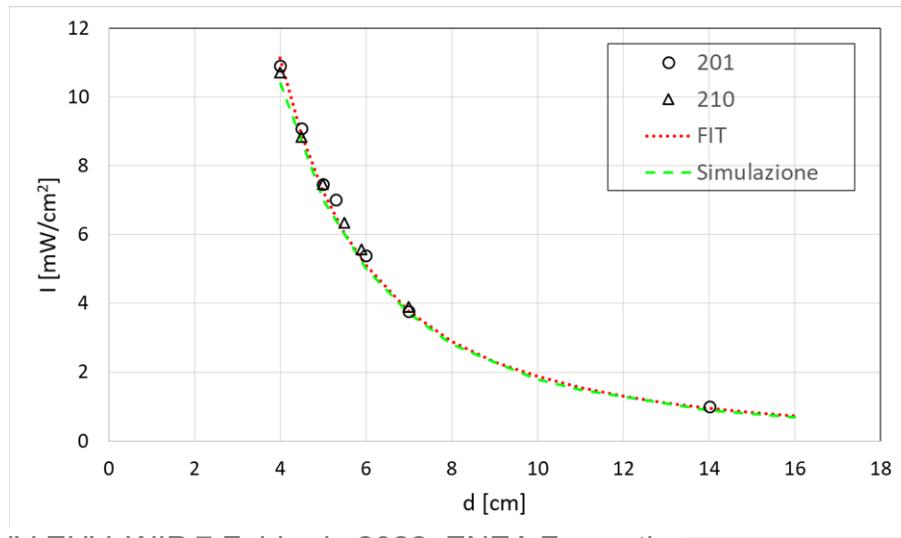
Distribuzione spaziale di intensità a diverse distanze



Matrice di 20 LED
Luminus XBT3535

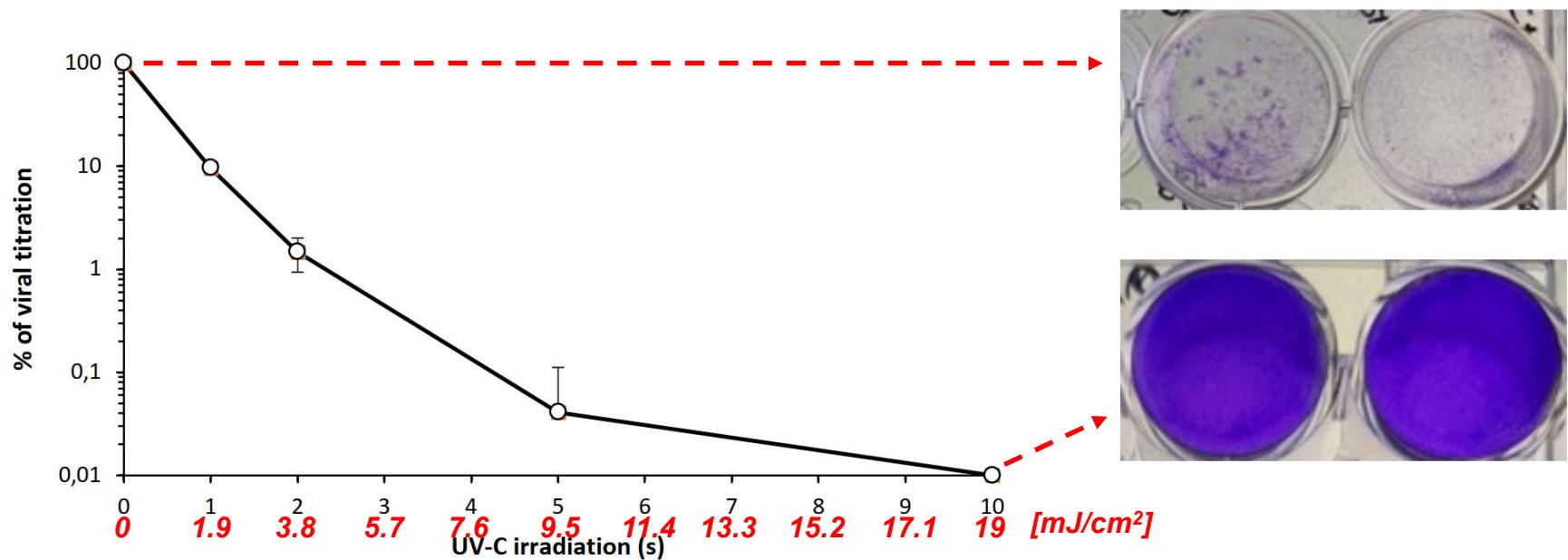


Andamento intensità massima a diverse distanze



Radiazione UV-C per la sanificazione Policlinico Militare «Celio» Roma

Inattivazione SARS-CoV-2 con matrice da 20 LED

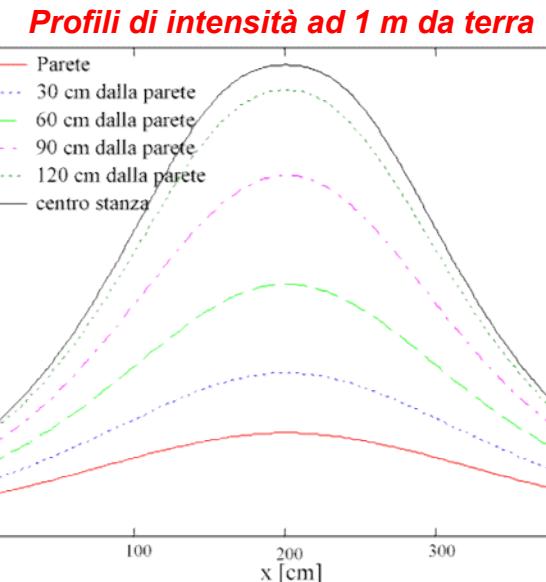
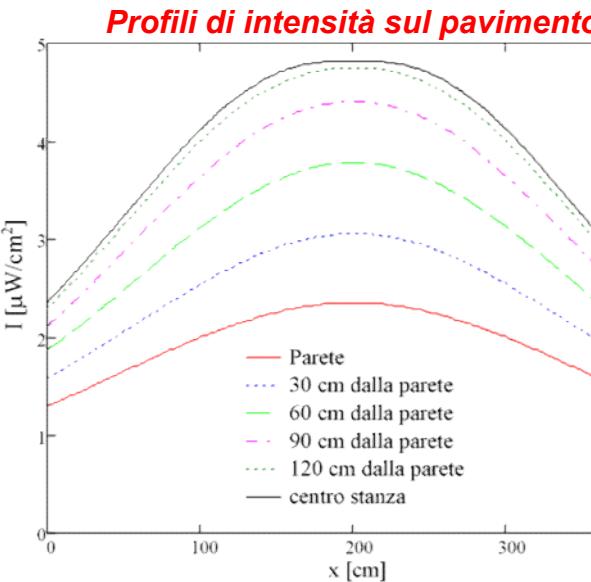
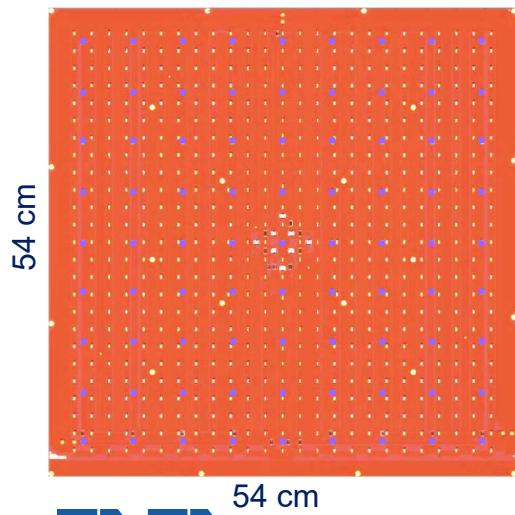


Radiazione UV-C per la sanificazione ENEA-FSN-PROIN Brasimone

Proposta progettuale FISR «SAVE», presentata al bando FISR del 5 Maggio 2020

Per la realizzazione di « ... lampada automatizzata ad UV-C ... che permetta la sanificazione automatizzata degli ambienti di lavoro...» - Il progetto è stato avviato il 22/10/2021, durata 6 mesi

*Progetto lampada per
un locale di 4×4×3 m³*



Radiazione UV-C per la sanificazione ENEA-FSN-PROIN Brasimone

<i>Calcolo dosi orarie in varie posizioni</i>	Pavimento centro stanza	Pavimento centro lato stanza	Pavimento angoli	h = 1 m centro stanza	h = 1 m centro lato stanza	h = 1 m angoli
Intensità [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	4.82	2.36	1.30	11.6	2.56	1.0
Dose oraria [$(\text{mJ}/\text{cm}^2)/\text{h}$]	17.4	8.5	4.68	41.8	9.2	3.6

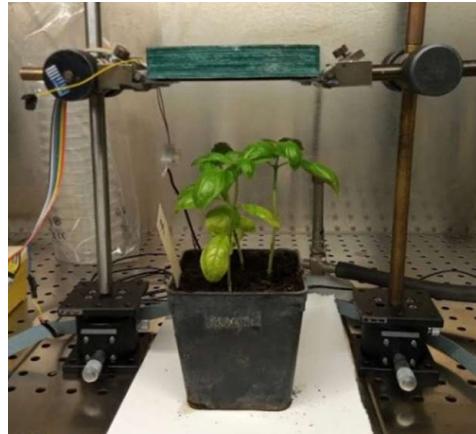
FISR2020IP_04150 Sistema di sanificazione automatico UV-C Safety integrato in lampada da soffitto – SAVE
Decreto Direttoriale n. 1049 del 30 aprile 2021

Radiazione UV-C per la sanificazione

SSPT-BIOAG-PROBIO, FSN-TECFIS-DIM, CREA-OFA

Effetto ormetico su specie vegetali: la radiazione UV-C a basse dosi stimola nelle piante la produzione di metaboliti in grado di aumentare le naturali difese immunitarie e quindi la resistenza ai patogeni.

Abbiamo fatto prove di irraggiamento su basilico, mele, limoni, fragole (ENEA) e kiwi (CREA). Per alcune specie, all'analisi visiva si è affiancata un'analisi in fluorescenza dei cambiamenti metabolici della pianta (p. es. flavonoli, clorofilla).

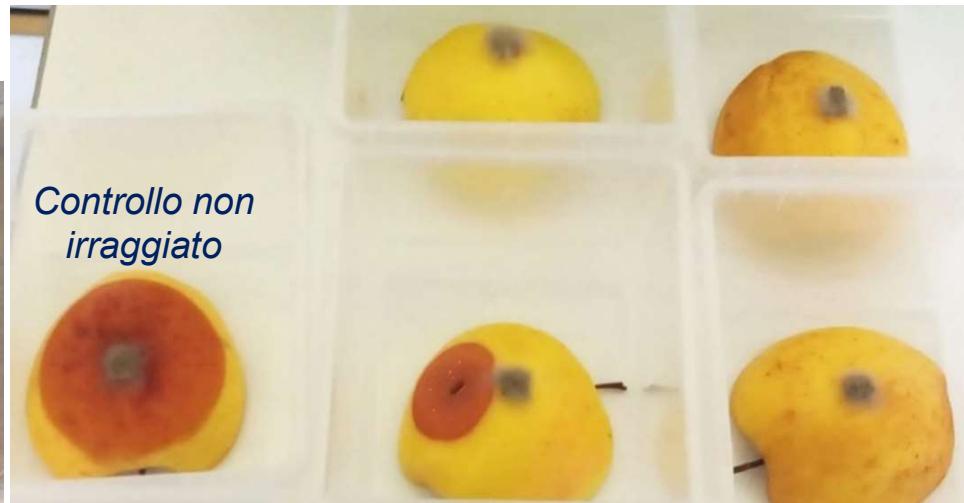


Radiazione UV-C per la sanificazione

SSPT-BIOAG-PROBIO, FSN-TECFIS-DIM, CREA-OFA



Limoni dopo 40 gg. dall'inserimento di un tassello di *Penicillium digitatum*



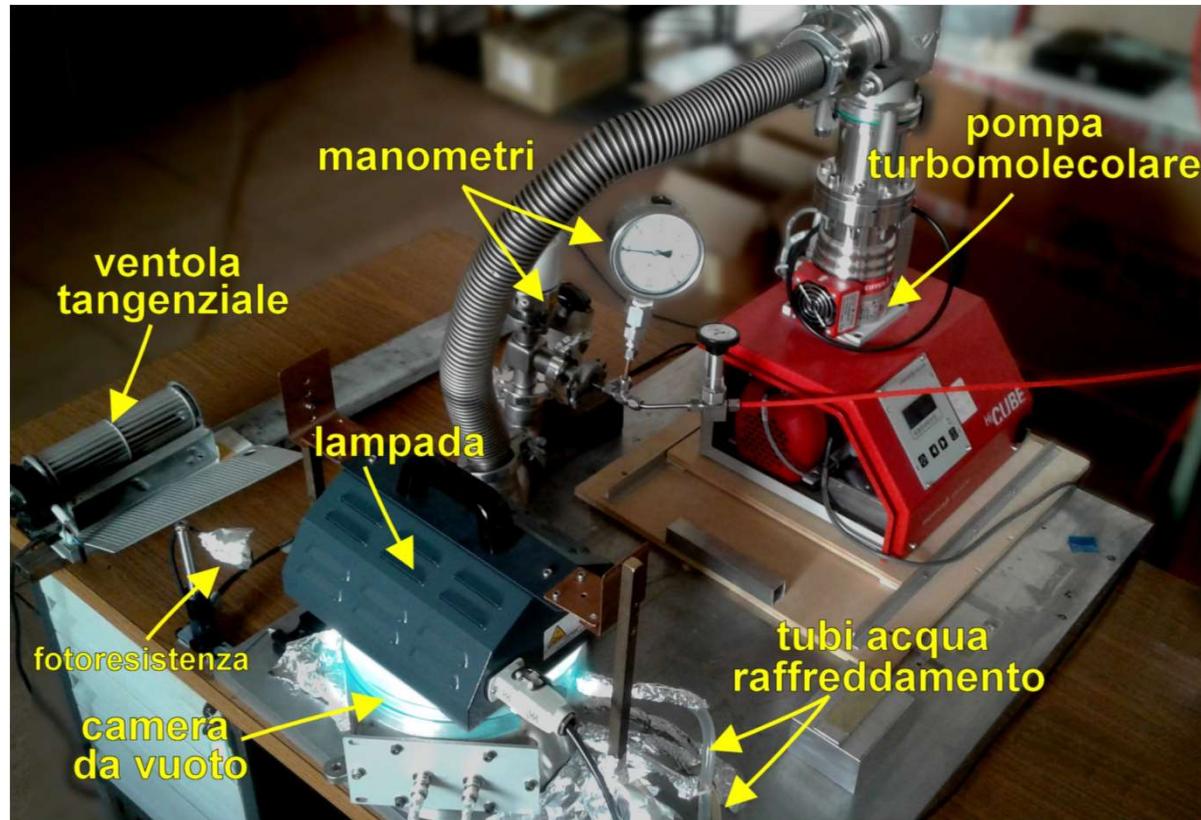
Mele dopo 15 gg. dall'inoculazione di *Botrytis cinerea*

L. Bacchetta et al.: "Risposta ormetica in diverse specie vegetali di interesse agronomico, stimolata da radiazione ultravioletta", RT/2021/11/ENEA

Apparato di irraggiamento UV per test di resistenza di materiali da usare in applicazioni di interesse aerospazio

Set up:

- Lampada UV,
- Camera da vuoto con camicia di raffreddamento,
- Pompa turbo,
- Sensori di temperatura,
- Rivelatori di intensità e distribuzione spaziale della luce UV,
- Sistema di controllo remoto 24/24, 7/7



Irraggiamenti UV per test di resistenza di materiali aerospaziali con MAPRad srl

Test di resistenza UV per selezionare il materiale più adatto per:

- 1) substrati dei *Second Surface Mirrors* nei telescopi spaziali
- 2) substrati per *Flexible Optical Solar Reflectors*

1) TEST DI SUBSTRATI PER TELESCOPI SPAZIALI

- ✓ Il progetto *Nano-Hybrid Transparent Materials* si propone di realizzare materiali poliimmide nano-ibridi adatti all'uso come substrati per i *second surface mirrors* nei telescopi spaziali, ovvero specchi in cui l'elemento riflettente è posto dietro il substrato trasparente che agisce da schermo protettivo. I substrati devono conservare la loro trasparenza quando esposti al vento solare e alla radiazione UV.
- ✓ Il Laboratorio Eccimeri ha irraggiato prototipi di films poliimmide nano-ibridi con radiazione UV tra 200 nm e 400 nm per verificare la resistenza meccanica e la trasparenza dei film dopo un irraggiamento che simula una dose di 3.000 esh fuori dall'atmosfera terrestre. Per discriminare gli effetti della radiazione UV da quelli termici, la temperatura dei campioni non deve superare i 40 °C.

P. Di Lazzaro, et al.: “*Test di substrati per telescopi spaziali: irraggiamenti nell’ultravioletto di film poliimmide in aria, vuoto e atmosfera controllata*” Rapporto Tecnico RT/2017/9/ENEA (2017).

Attività e collaborazioni Gruppo UV-EUV, WIP 7 Febbraio 2022, ENEA Frascati

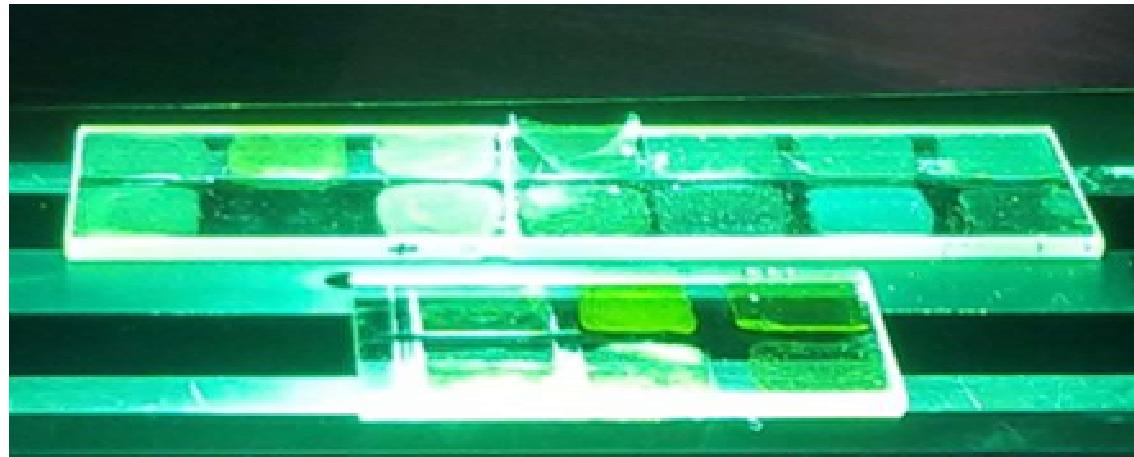
Irraggiamenti UV per test di resistenza di materiali aerospaziali con MAPRad srl

TEST DI SUBSTRATI PER TELESCOPI SPAZIALI - continua

Misura della mappa 2-D dell'intensità UV su fondo della camera, test del sistema di dissipazione calore in grado di mantenere la temperatura della camera < 40°C.

Dose rilasciata ai campioni: 3.000 esh con irraggiamento funzionante in continua per 31 giorni consecutivi.

Sistema di controllo e acquisizione dati in tempo reale di Pressione, Temperatura, Intensità radiazione, gestito da un datalogger Arduino collegato a notebook che salva i dati. **Controllato da remoto 24/24, 7/7 tramite Teamviewer.**



Irraggiamenti UV per test di resistenza di materiali aerospaziali con MAPRad srl

2) TEST DI SUBSTRATI PER RIFLETTORI SOLARI FLESSIBILI

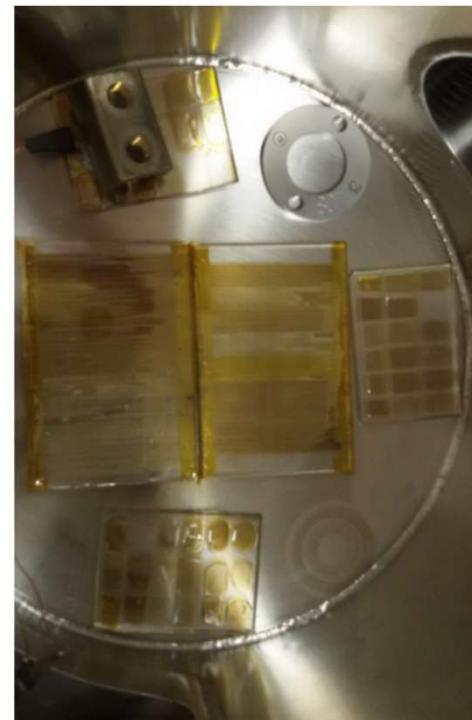
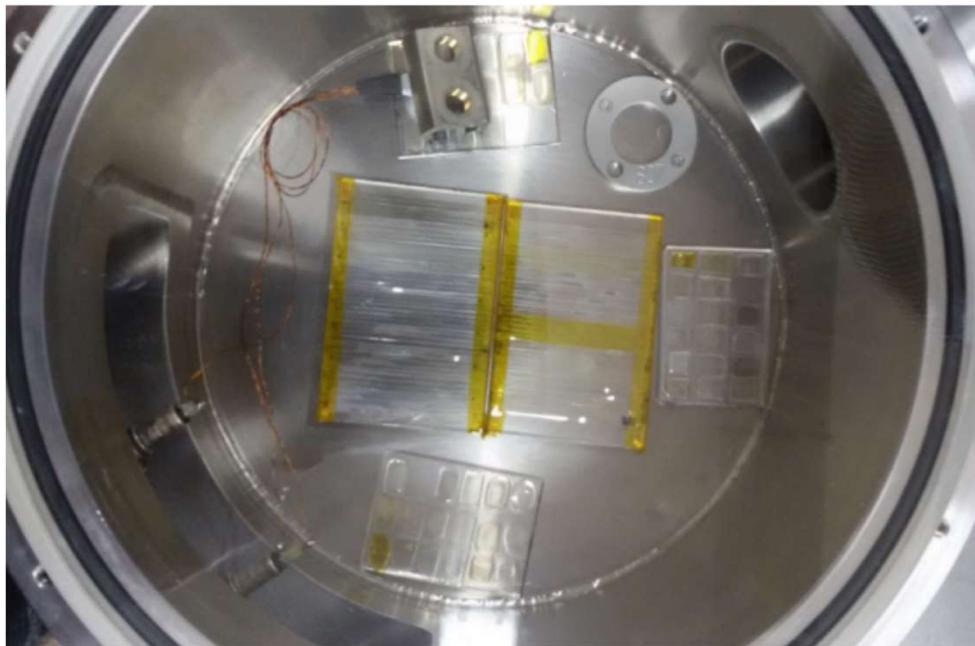
- ✓ Il progetto *First Flex* si propone di realizzare un nuovo tipo di *Flexible Optical Solar Reflectors*, elementi termici passivi che svolgono un ruolo cruciale nella progettazione termica di un veicolo spaziale. Gli OSR sono infatti usati per migliorare la capacità di smaltimento del calore dei radiatori esterni e per ridurre l'assorbimento del flusso solare.
- ✓ Il Laboratorio Eccimeri ha irraggiato prototipi di substrati (metallici e nanoibridi) con radiazione UV tra 200 nm e 400 nm per verificare la resistenza dei substrati dopo un irraggiamento che simula una dose di 300 esh fuori dall'atmosfera terrestre secondo gli standard ECSS / ESA pertinenti.

B. Alpat, et al.: “*Testing of substrates for flexible optical solar reflectors: irradiations of nano-hybrid coatings of polyimide films with 20 keV electrons and with 200-400 nm ultraviolet radiation*” *Journal of Instrumentation*, vol. 14, T06003 (2019).



Irraggiamenti UV per test di resistenza di materiali aerospaziali con MAPRad srl

Films di kapton e di poliimmide nano-ibridi prima... e dopo irraggiamento da 300 esh



Apparato di irraggiamento UV per test di resistenza di materiali da usare in applicazioni di interesse aerospazio

Cosa possiamo fare e come possiamo migliorare

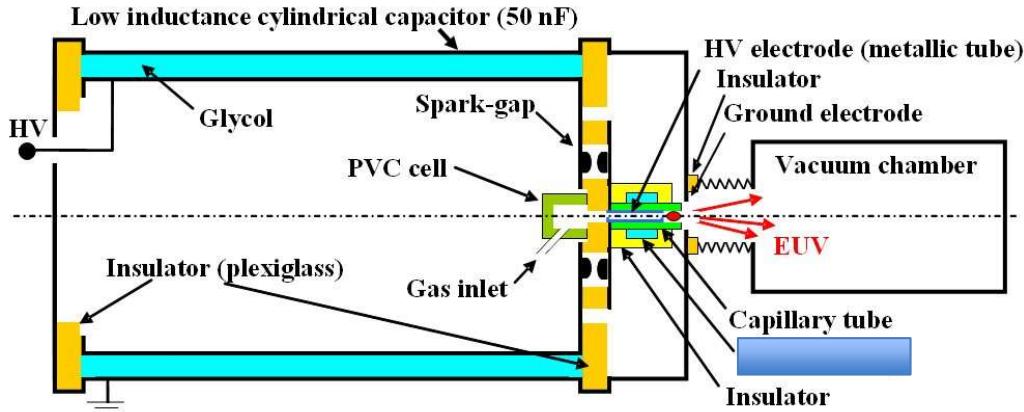
- Riassumendo, l'impianto di irraggiamento UV sviluppato presso il laboratorio Eccimeri del Centro ENEA di Frascati può sperimentare su qualsiasi materiale e in condizioni controllate gli effetti dell'irraggiamento UV che il Sole rilascia, fuori dall'atmosfera terrestre, in un periodo di tempo cinque volte maggiore rispetto al test. L'impianto è già stato sperimentato con successo su vari campioni secondo gli stringenti standard ESA.
- **Upgrading: matrici di LED UV al posto della lampada al mercurio a media pressione**  Spettro più simile all'emissione solare tra 200 e 400 nm.
Minore riscaldamento della camera da dissipare  possibilità di lavorare sotto vuoto.

Sorgente EUV Discharge Produced Plasma (DPP) Collaborazione ENEA-Tor Vergata

Collaborazione scientifica con il Gruppo rivelatori a diamante del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

- Alcuni rivelatori a diamante sviluppati e realizzati a Tor Vergata di tipo Interdigitated Electrode Configuration (IEC), particolarmente indicati per misure veloci, sono stati testati con la radiazione EUV ($\lambda = 10-18$ nm) generata dalla sorgente DPP dell'ENEA.
- Grazie al tempo di salita (< 1 ns) di questi rivelatori, è stato possibile studiare più approfonditamente la dinamica di compressione della colonna di plasma della DPP.

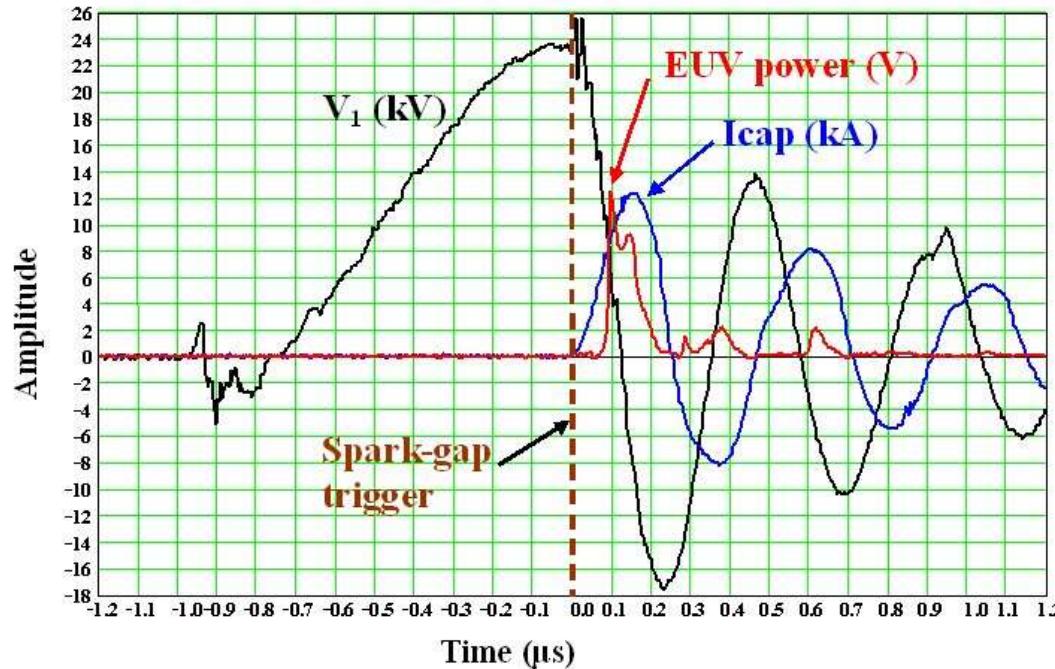
Schema e principio di funzionamento della DPP



Parameter	Value
EUV band	$\left\{ \begin{array}{l} h\nu \simeq 69 - 124 \text{ eV} \\ \lambda \simeq 10 - 18 \text{ nm} \end{array} \right.$
in band energy/pulse	30 mJ/sr
EUV pulse duration	100 ns FWHM
source transv. dim.	300 μm
rep. rate	10 Hz
pulse to pulse stability	3% r.m.s.
emission usable cone	$\simeq 0.9 \text{ sr}$

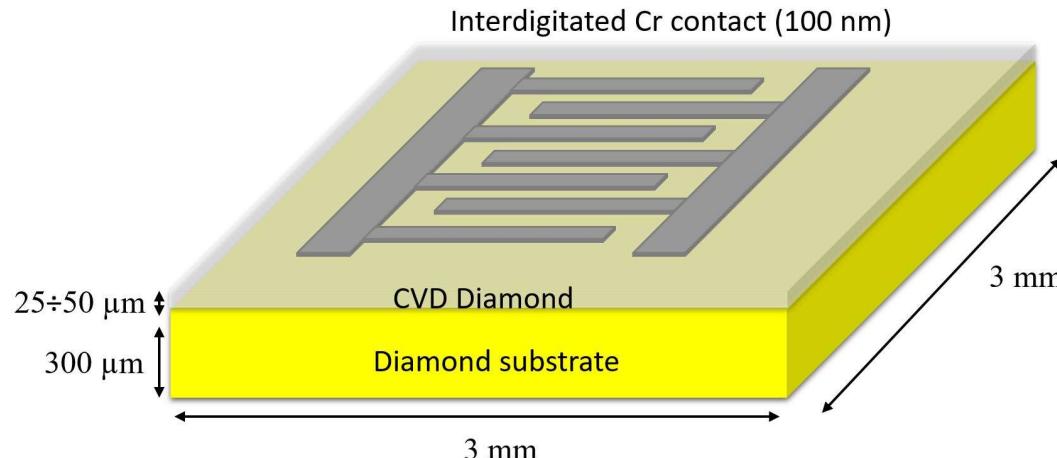
- The low-inductance 50 nF glycol capacitor charged up to 25 kV produces, through a controlled spark-gap, a discharge (12–13 kA peak, 240 ns) in a pre-ionized low pressure Xe gas in a short capillary.
- The resulting magnetic field ($> 1 \text{ T}$) pinches the plasma towards the capillary axis.
- The plasma resistance rises, thus the plasma temperature can increase up to 30 – 40 eV.
- The hot plasma emits radiation before relaxing.

Evoluzione temporale delle forme d'onda della DPP



Temporal evolution of the voltage on the glycol capacitor (V_1), of the main discharge current (I_{cap}) and of the EUV emission detected by a 150 nm–Zr–filtered PIN diode.

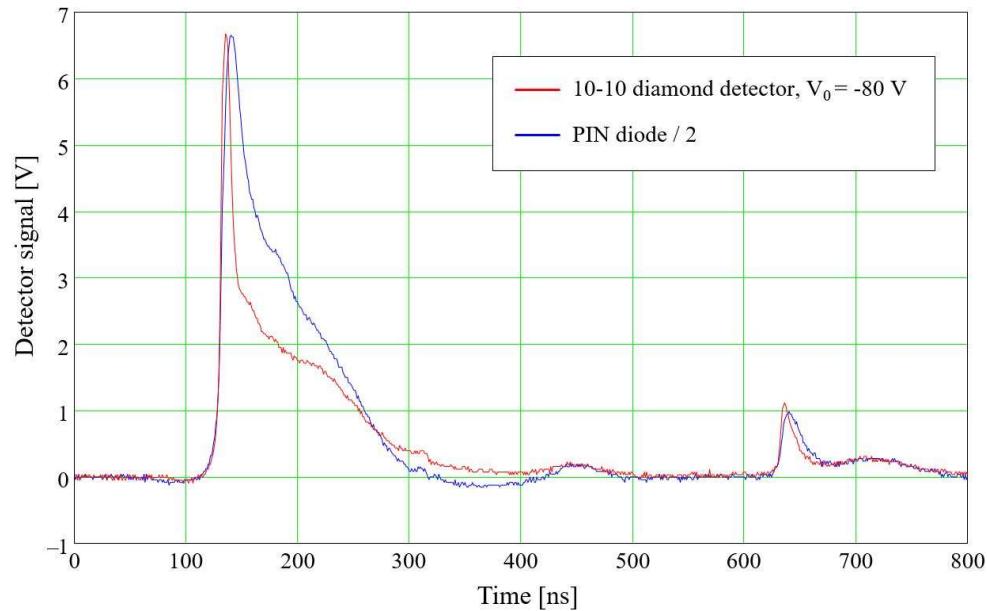
Schema di un rivelatore a diamante interdigitato (IEC)



- When a photon ($h\nu > 5.5$ eV) reaches the CVD diamond film, a couple (h^+,e^-) can be moved to the conduction band.
- The electric field, generated by a bias voltage applied to the electrodes, can drive the charges, forming a signal.

Confronto tra segnale del PIN diode e quello del rivelatore a diamante

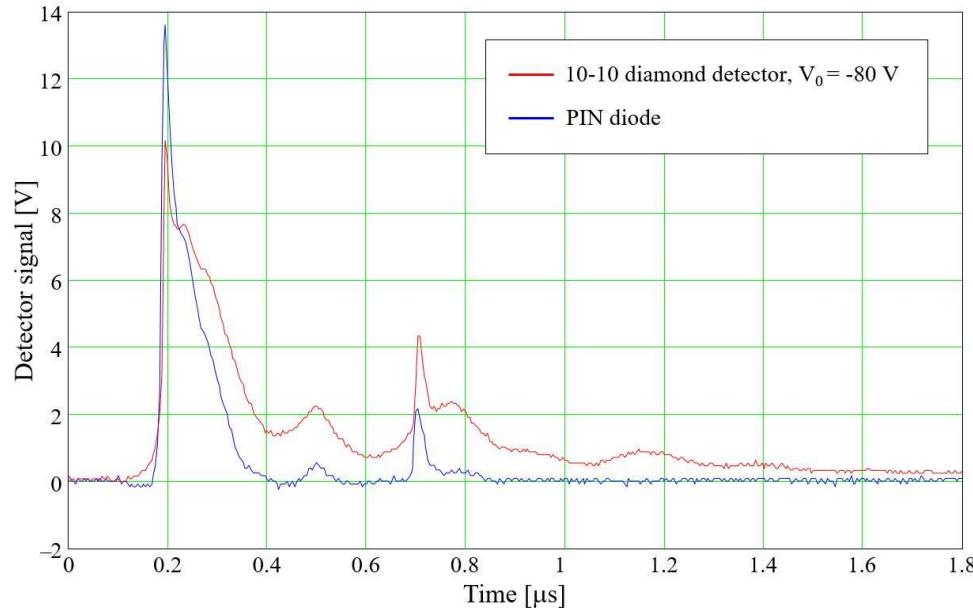
*Diamond detector
with 150-nm thickness
Zr filter, at 30.5 cm
from plasma.*



The fast response of the diamond detector allows to better characterize the EUV emission of the DPP source. The EUV peak (≈ 8 ns FWHM), corresponding to the plasma transverse collapse, is now evident.

Emissione della DPP nell'EUV e UV

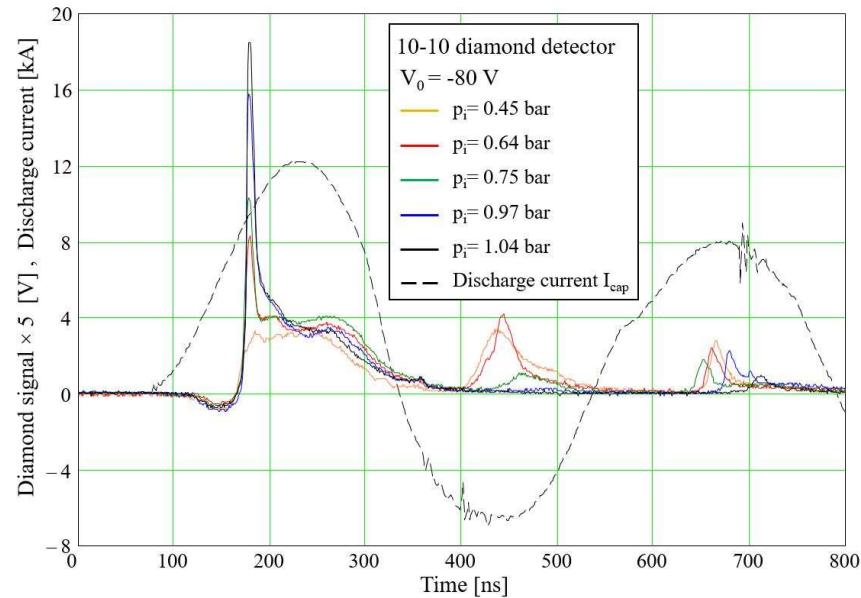
Diamond detector without Zr filter, at 30.5 cm from plasma.



The plasma UV emission is longer than the EUV one and it does not vanish when the discharge current inverts its direction.

Influenza della pressione iniziale di xenon nel capillare sull'emissione EUV

*Diamond detector with 150-nm thickness
Zr filter, at 43 cm from plasma.*



Plasma dynamics depends also on the Xe initial average pressure p_i in the capillary. To obtain the plasma fast transverse collapse, that produces the fast EUV peak, the initial Xe density must be high enough.

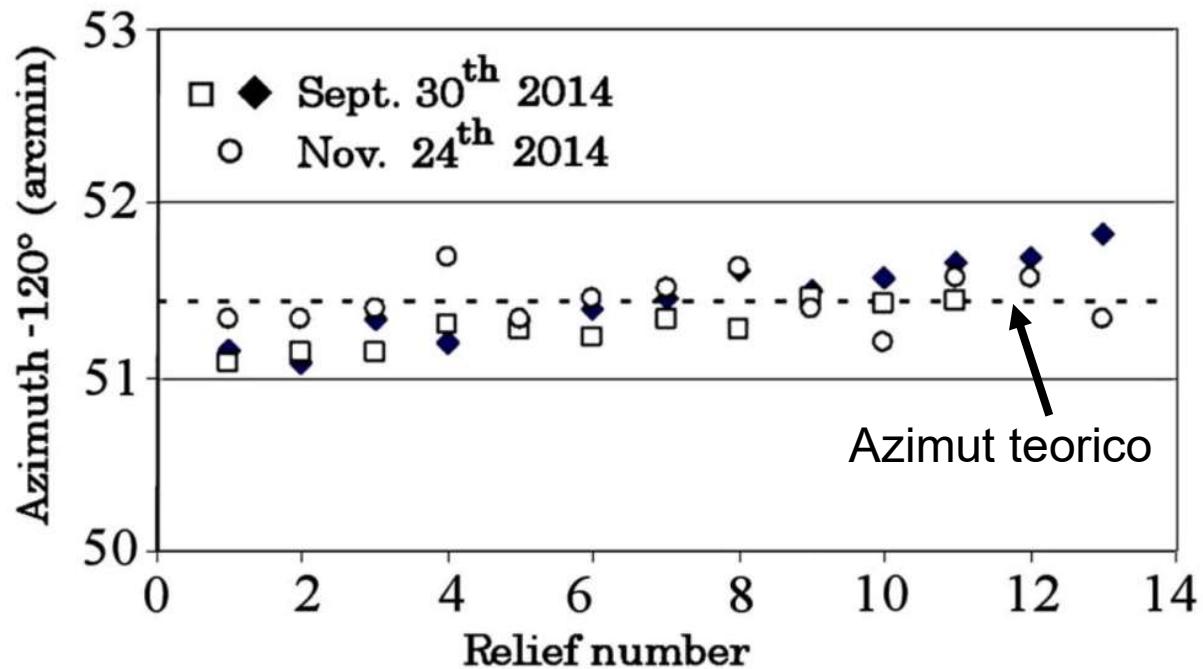
Bussola solare Accordo di collaborazione ENEA-INGV

L'accordo, siglato nel 2018 riguarda, nello specifico di nostro interesse, la **“messaggio a punto di nuove tecnologie per il corretto orientamento degli apparati di misura in ambito geofisico riguardo alla sismologia e al geomagnetismo anche con applicazioni in aree polari del nostro pianeta”**

Il reciproco interesse a collaborare nasce nel 2016, in occasione di una presentazione di D. Murra al congresso della SIF di Padova. La presentazione riguardava la Bussola Solare ENEA*, uno strumento brevettato nel 2012 in grado di fornire la direzione del Nord geografico con un'accuratezza fino ad 1/100 di grado. Spettatore interessato era il collega dell'INGV Domenico Di Mauro, con cui è stata avviata la collaborazione.

*S. Bollanti et al. “Electro-optical sun compass with a very high degree of accuracy,” Optics Letters 40, 3619–3622 (2015)

Bussola solare Accordo di collaborazione ENEA-INGV



Bussola solare Accordo di collaborazione ENEA-INGV

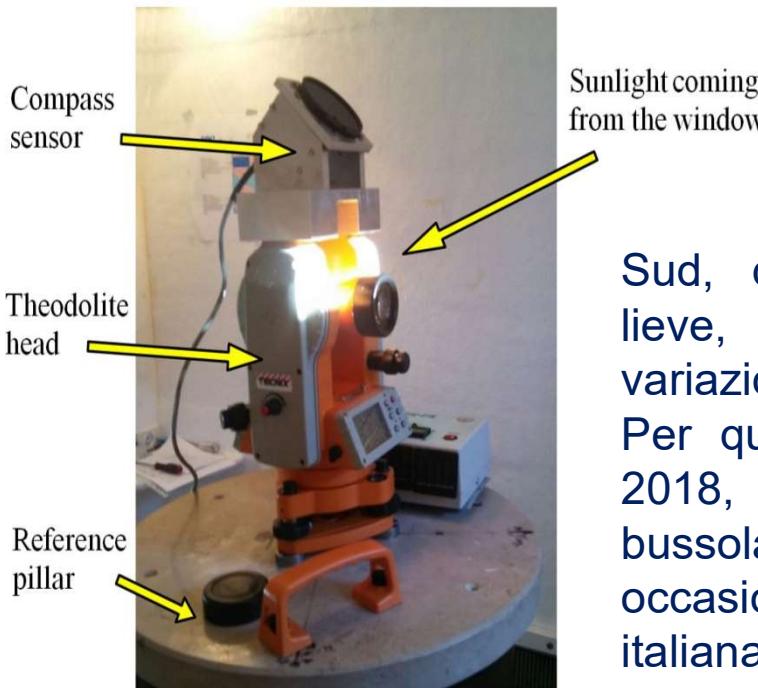
Perché l'Istituto di Geofisica e Vulcanologia è interessato alla nostra bussola?

Tra i compiti dell'INGV c'è quello di monitorare il campo magnetico terrestre, sia per quanto concerne l'intensità che per la posizione dei Poli terrestri.

Negli ultimi decenni, infatti, stiamo assistendo ad uno spostamento del Polo Nord magnetico a velocità molto elevate (circa 50 km/anno) e, contemporaneamente, ad una diminuzione dell'intensità del campo.

Tra le operazioni ricorrenti che coinvolgono i ricercatori dell'INGV, c'è dunque quella di verificare la declinazione magnetica in alcuni punti di osservazione sparsi per l'Italia.

Bussola solare Accordo di collaborazione ENEA-INGV

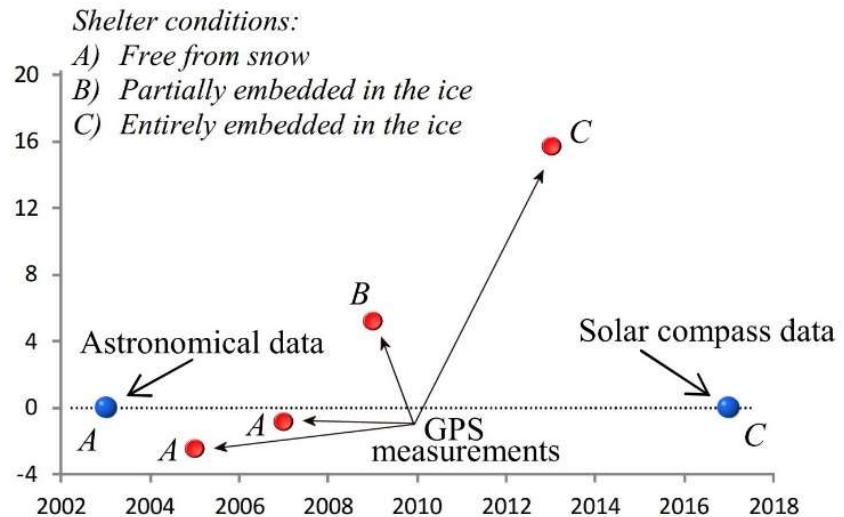


Una delle misure più affascinanti è quella della declinazione magnetica al Polo Sud, dove uno spostamento, anche lieve, del Polo comporta una forte variazione della declinazione magnetica. Per questo, nell'estate australe 2017-2018, Di Mauro ha portato la nostra bussola presso la base Concordia, in occasione della spedizione antartica italiana.



Bussola solare Accordo di collaborazione ENEA-INGV

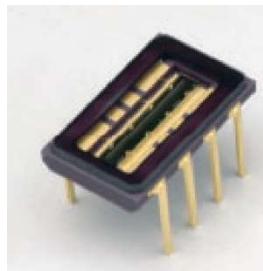
Il risultato delle misure antartiche, tese a verificare una particolare direzione di riferimento ed eseguite con la nostra bussola, ha confermato in pieno i dati astronomici presi nel 2003, smentendo i valori forniti da misure di azimut ottenute con sistemi a GPS.



A valle del successo ottenuto con le misure in Antartide, è stato siglato l'accordo di collaborazione e il laboratorio SDL (all'epoca SAD) ha realizzato un prototipo di bussola solare da consegnare ai colleghi dell'INGV (l'accordo prevedeva che tutte le spese vive fossero sostenute dall'INGV stesso).

Bussola solare Accordo di collaborazione ENEA-INGV

Per motivi di obsolescenza dei componenti elettronici della bussola ‘prestata’ a Di Mauro (la bussola ancora funziona ma non è replicabile identicamente) si è deciso di modificare il sistema di misurazione della direzione di arrivo dei raggi solari, passando da una matrice bidimensionale ad un array di fotodiodi.

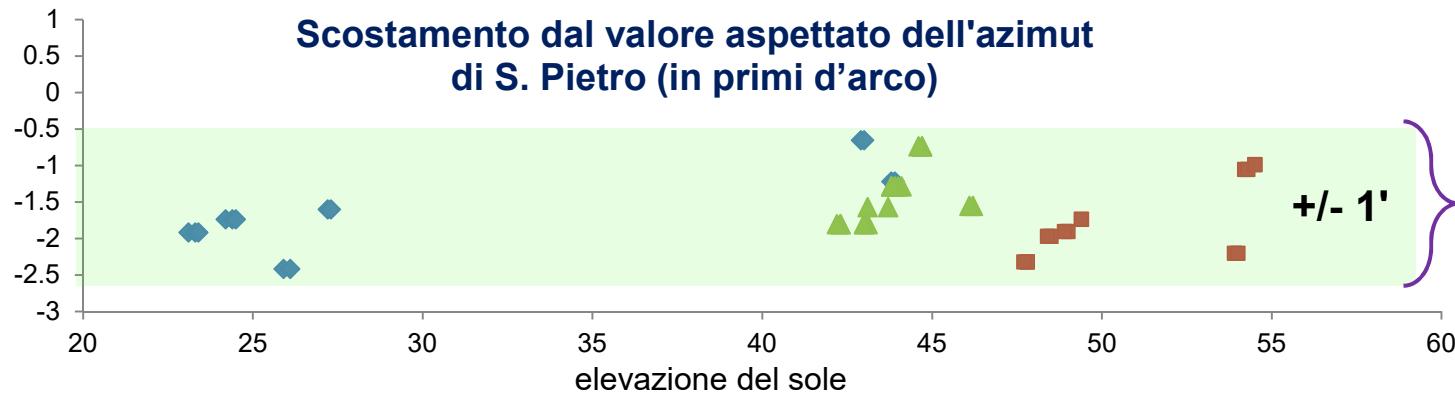


Pixel pitch: 7.8 µm
Pixel height: 125 µm
1024 pixels
Video data rate: 200 kHz max.
Spectral response range: 400 to 1000 nm

Scheda Arduino DUE
Micro Atmel SAM3X8E
Clock 84 MHz
66 pin I/O
Flash memory 512 kB
SRAM 96 kB



Bussola solare Accordo di collaborazione ENEA-INGV



Dopo le misure di taratura della bussola, verificato che l'errore sul singolo dato è inferiore a 2' e che, su molte misure, l'RMS è simile a quello della bussola con matrice bidimensionale, ad ottobre 2019 la bussola è stata consegnata all'INGV.

Bussola solare Accordo di collaborazione ENEA-INGV

Purtroppo, lo scoppio della pandemia ha inizialmente impedito ai ricercatori dell'INGV di fare misure con la bussola ENEA. La bussola è stata comunque da loro testata in almeno 3 occasioni ma, stranamente, il valore fornito si discostava più di 10' da quello misurato con una loro bussola giroscopica. Verifiche fatte da noi in un paio di occasioni hanno evidenziato il corretto comportamento della bussola ENEA. Sembra, pertanto, che le misure ottenute dai colleghi dell'INGV soffrano di qualche errore sistematico dell'operatore.



Applicazioni della bussola solare alla gnomonica ed all'archeoastronomia

Queste nuove applicazioni sono nate con lo sviluppo di una App “SUNPASS” che consente a tutti di poter trasformare il proprio smartphone in una bussola solare.

L'idea è di voler fornire anche agli studenti ed ai giovani professionisti ingegneri / geometri / geotecnici, indipendentemente dal fatto che si trovino in paesi sviluppati o in via di sviluppo, la possibilità di usufruire di uno strumento economico, ma di livello medio-alto.

Applicazioni della bussola solare alla gnomonica ed all'archeoastronomia



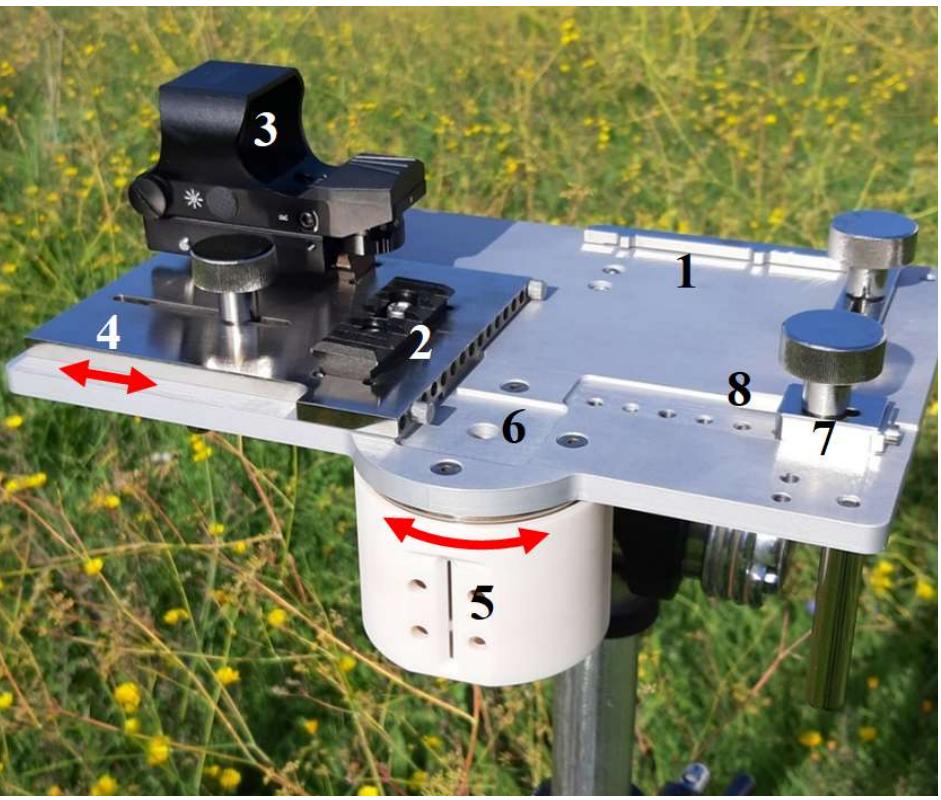
**SUNPASS nella funzione
“Orientamento”**

↔
**Analogo alle bussole
magnetiche di rilevamento**



- **Più preciso di qualsiasi bussola magnetica**
- **Utilizzabile senza connessione internet**
- **Insensibile alle masse ferromagnetiche**
- **Funzionante a qualsiasi latitudine**

Applicazioni della bussola solare alla gnomonica ed all'archeoastronomia



The Survey-KIT prototype. (1) support sliding bar for smartphone repositioning. (2) Picatinny rails for the viewfinder, arranged at $90^\circ \pm 0.01^\circ$ to each other, and fixed to a sliding plate. (3) Dioptric viewfinder which can be aligned along with the 4 main directions, two for each rail. (4) Sliding plate with adjustable spacers, which allows positioning the smartphone with its sides parallel to the rails and centering the camera above the cylinder. (5) Rotating cylinder with a slit. (6) Hole to frame the bottom of the cylinder with the smartphone camera. (7) Alignment bar, which can be screwed into different positions, against which the left side of the smartphone is placed. (8) Spring button, to hold the smartphone steady.

Applicazioni della bussola solare alla gnomonica ed all'archeoastronomia

L'avvio di queste utilizzazioni nasce quasi per caso

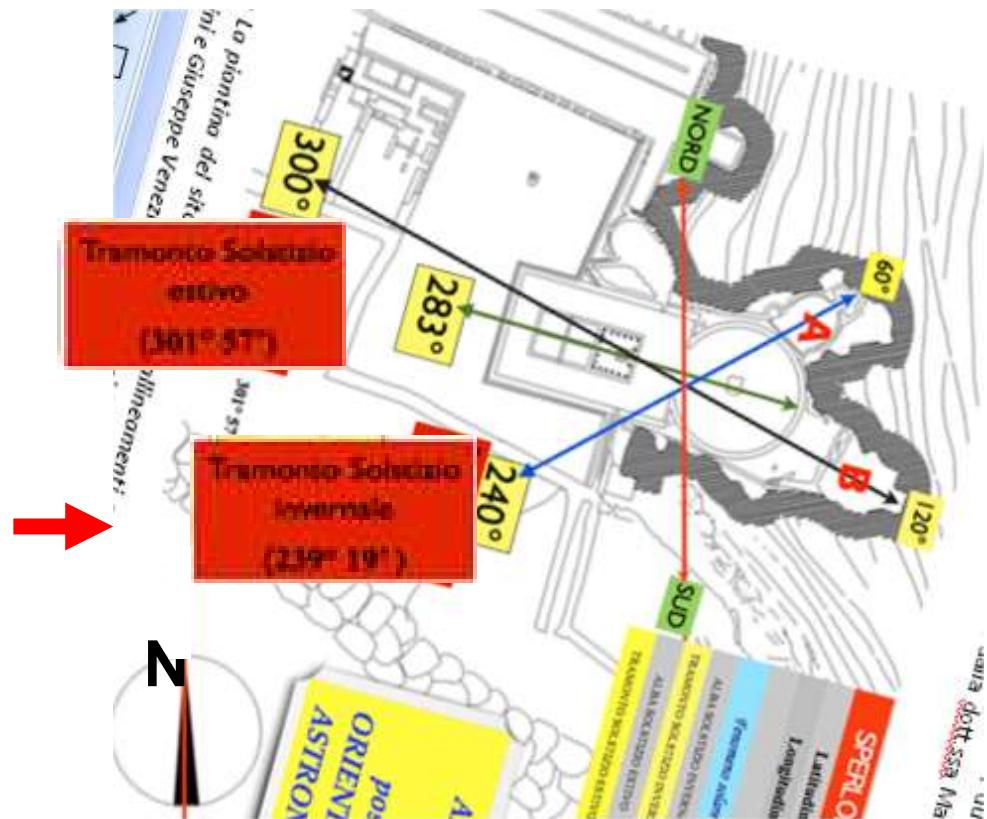
- **Marzo 2018:** **SUNPASS** viene presentato al **XXI Seminario di Gnomonica** a Valdobbiadene: è uno strumento utile ai costruttori di meridiane per poter rilevare l'orientamento di una parete su cui voler realizzare una meridiana. Uno dei partecipanti è un archeoastronomo ligure....
- **Marzo 2019:** L'archeoastronomo ligure (L. Torlai) ci invita a presentare **SUNPASS** al **XXI Seminario Regionale Ligure di Archeoastronomia**: incredibile entusiasmo dei partecipanti. Nasce la collaborazione con l'Osservatorio Astronomico di Genova per eseguire rilievi sui siti archeologici di Villa Adriana a Tivoli e nella Grotta di Tiberio a Sperlonga.
- **Dicembre 2019:** Primi rilievi nella Grotta di Tiberio a Sperlonga.



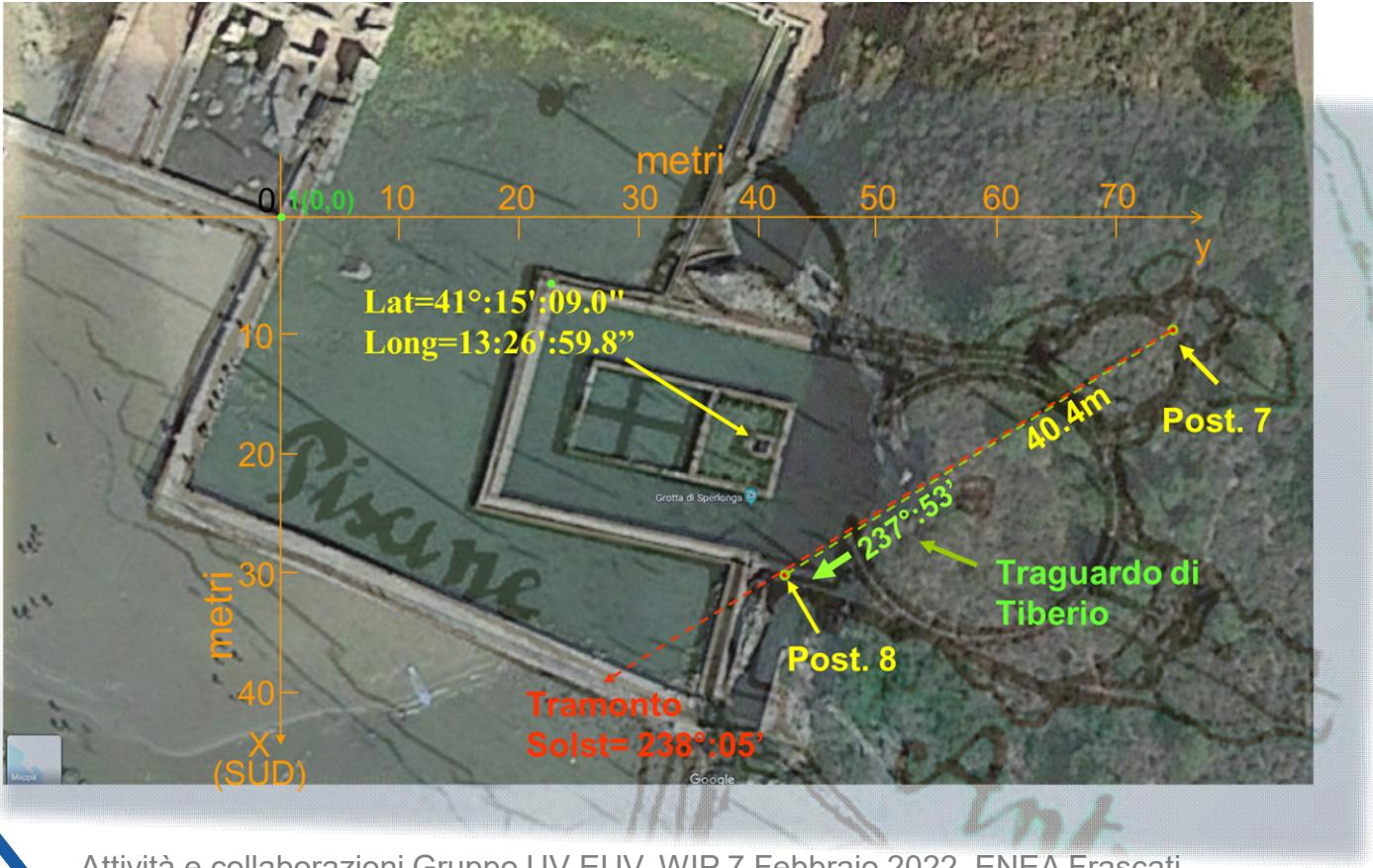
Applicazioni della bussola solare alla gnomonica ed all'archeoastronomia

Si inizia benissimo: non solo la bussola conferma che le due nicchie (A e B) interne alla grotta sono orientate nella direzione del tramonto ai solstizi, ma anche si scopre un allineamento di alta precisione per celebrare il solstizio invernale:

Il “Traguardo di Tiberio”



Applicazioni della bussola solare alla gnomonica ed all'archeoastronomia

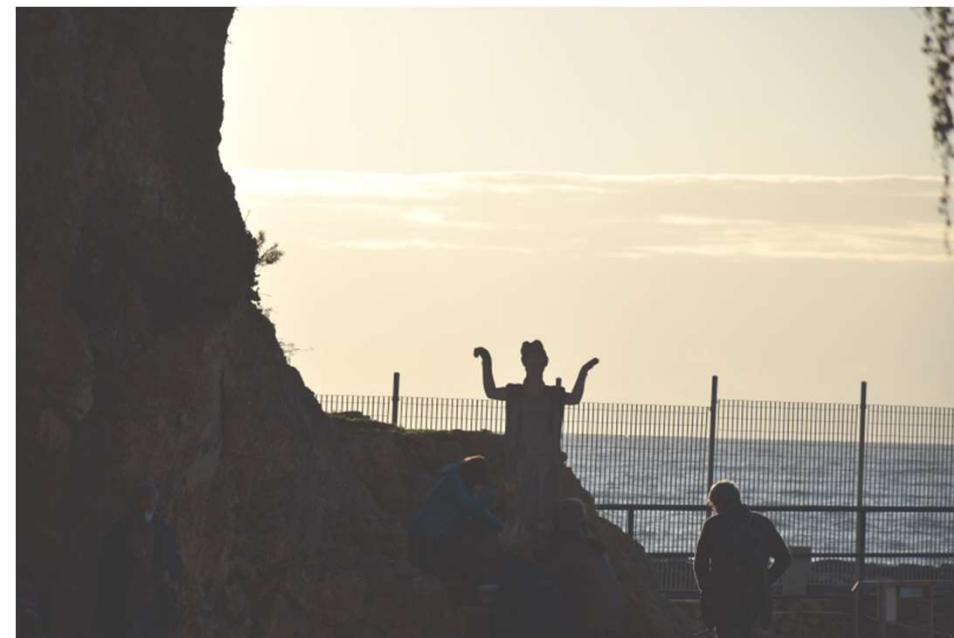


Applicazioni della bussola solare alla gnomonica ed all'archeoastronomia

Solstizio 2021: decidiamo di verificare il funzionamento del Traguardo di Tiberio. Cosa mettere nella nicchia a semiluna esterna?La statua di Andromeda ritrovata là nel mare!



Stampata la foto in scala 1:1, la incolliamo su legno, la ritagliamo e la piazziamo nella nicchia esterna



Applicazioni della bussola solare alla gnomonica ed all'archeoastronomia



Applicazioni della bussola solare alla gnomonica ed all'archeoastronomia

Ci riproveremo...ma forse prima del 21 dicembre 2022

- La nuova Direttrice del Museo (Dr.ssa Cristiana Ruggini) vuole organizzare un evento per il solstizio estivo aperto al pubblico. Ci ha coinvolti nell'organizzazione.
- Una giovane nuova associata volontaria (Arch. Anayansi Forlini) ha subito proposto un'idea innovativa per poter osservare (almeno in parte) al 21 giugno ciò che accade al 21 dicembre: un grande specchio parallelo all'Equatore, il “Convertitore dei Solstizi – Figlia del Sole”, potrebbe proiettare l'ombra di Andromeda nello stesso percorso che essa compie al 21 dicembre.
- **Siamo tutti invitati a Sperlonga !!!**