



Negli scorsi mesi Coelum ha lanciato la campagna "COELVM PER IL MONDO ISPANOFONO". A distanza di poche settimane il progetto inizia a prendere forma grazie anche ad alcuni contatti importanti arrivati in redazione subito dopo l'annuncio. Fra i tanti abbiamo subito accolto con molto piacere la proposta di condivisione ad opera dell'Istituto de Astrofísica de Andalucía. Nei prossimi numeri cartacei quindi e successivamente online i lettori potranno accedere a contenuti provenienti dal mondo della ricerca ispanico. Gli articoli saranno pubblicati online nelle due lingue Italiano e Spagnolo.

Dalla polvere sulla Terra...

La polvere è onnipresente e può diventare un vero incubo. Sulla Terra, questo conglomerato di minuscole particelle, composte da acari, fibre, terra e polline, si trova su ogni tipo di superficie. Quando viene smossa, la polvere depositata può rimanere sospesa nell'aria: alcuni ne restano affascinati nel vederla illuminata dalla luce solare, tracciando traiettorie Browniane, mentre altri semplicemente starnutiscono. Fortunatamente, utilizzando uno strofinaccio o un aspirapolvere, ce ne possiamo facilmente liberare.

...alla polvere sulla Luna

Però la polvere può essere fastidiosa e sgradevole anche fuori dalla nostra Terra, più in là, nello spazio. Quando gli astronauti delle missioni Apollo tornarono a casa dal nostro satellite, si resero conto di avere della polvere, proveniente dalla superficie lunare, attaccata alle tute spaziali, la quale provocava irritazione alla gola e lacrimazione.

Sulla Luna la polvere è composta da minuscole particelle affilate e abrasive, generate da granelli di roccia frantumata dall'impatto di meteoriti e micrometeoriti sulla superficie lunare. Sono particelle, dotate di carica elettrostatica e si attaccano su tutte le superfici, dalle tute spaziali alle parti strumentali elettroniche ed ottiche dei moduli spaziali, e possono persino infiltrarsi nei polmoni degli astronauti. A differenza della Terra, sulla Luna non è così facile liberarsi da questi mi-

nuscoli detriti nonostante i tentativi degli equipaggi di spazzarli via dalle loro tute spaziali con spazzole o spesso con le mani, nessuno dei metodi è risultato efficace. La minore gravità lunare - un sesto di quella terrestre - inoltre fa sì che le minuscole particelle rimangano sospese per più tempo e possano quindi penetrare più profondamente nei polmoni.

Insomma saper controllare la presenza di polvere, che si trova anche sulla superficie di Marte, come su comete e asteroidi, rappresenta una vera sfida per le future missioni di esplorazione - sia con equipaggio umano che robotiche - su diversi corpi del Sistema Solare, incluso sul nostro satellite. Oltre a compromettere la salute degli astronauti per irritazione e inalazione, la polvere lunare ha molti altri effetti deleteri sulla strumentazione e l'equipaggiamento tecnico: tra i tanti il danneggiamento e la rottura delle tute spaziali, l'oscuramento della visione esterna, a causa del deposito sulle lenti delle telecamere e dei visori, false letture strumentali, perdita di adesione, intasamento delle meccaniche, abrasione, problemi di controllo termico (per esempio surriscaldamento dei radiatori), guasti nelle giunture sigillanti, l'elenco è decisamente lungo!

Differenze tra il suolo terrestre e lunare

Sebbene usiamo la stessa terminologia, esistono notevoli differenze tra il suolo terrestre e quello lunare. Sulla Terra, il suolo si forma tramite processi biologici, fisici (erosione causata da

acqua, vento ed altri agenti atmosferici) o chimici. D'altra parte il suolo lunare è privo di materia organica e si forma esclusivamente per frantumazione e rottura meccanica di meteoroidi e dall'interazione con il vento solare e altre particelle ad alta energia. A differenza della Terra, dove i ciottoli si erodono e arrotondano col passare del tempo a causa dell'esposizione agli elementi naturali, il suolo lunare non è soggetto a erosione significativa. Senza vento né acqua che consumino i loro bordi, i granelli di suolo lunare rimangono estremamente affilati e angolosi. Affilati come il vetro, ma sottili come la polvere terrestre, questi granelli possono avere una dimensione inferiore a 20 µm, il che li rende straordinariamente dannosi mediante dinamiche differenti rispetto a quelle osservate sulla Terra.

Un'altra differenza con la Terra è che la polvere lunare non è compatta. Qualsiasi minima attività sulla sua superficie ne può sollevare grandi quantità, anche senza astronauti che camminano o un modulo lunare che si posa sul suolo. Sono state osservate particelle e nuvole di polvere fluttuare da pochi centimetri fino ad alcuni metri al di sopra della superficie, nonostante l'assenza di vento o acqua che possa generare un simile comportamento

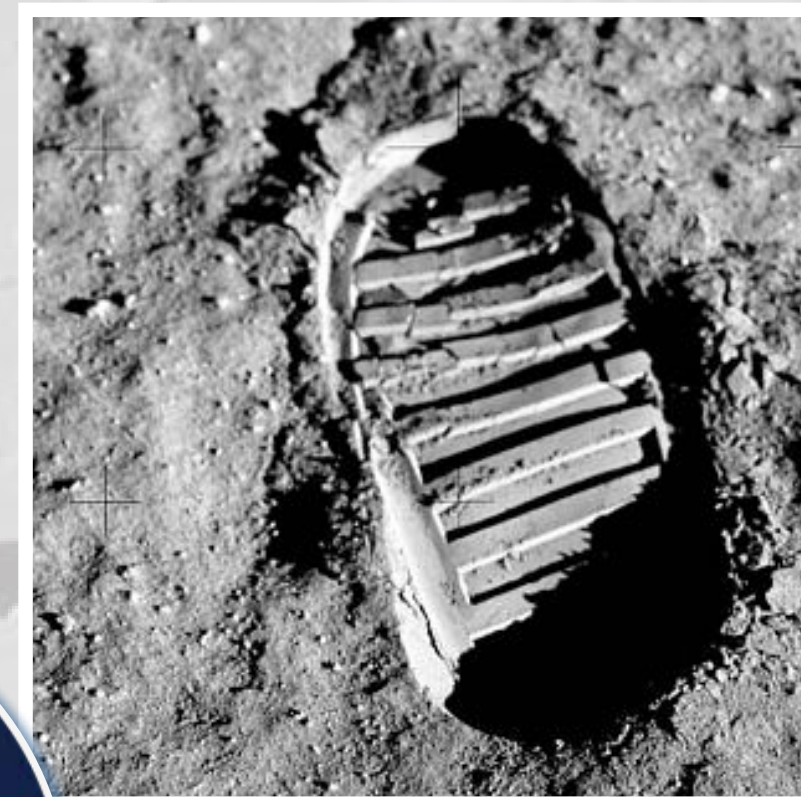
Nella pagina a destra: l'immagine più evocativa che abbiamo sulla conquista umana della Luna. Non è la prima impronta, e non è neppure quella del primo uomo che ha calpestato quel suolo lontano, Neil Armstrong. È una delle impronte di Buzz Aldrin, "solo" secondo sulla Luna. Credito: NASA.

DUSTER

POLVERE di LUNA



Mentre alcune agenzie spaziali si preparano per le prossime missioni di ritorno sulla Luna, scienza e ingegneria devono affrontare la sfida di misurare, controllare e mitigare un importante rischio ambientale associato: la polvere.



Articolo a cura di

Karolien Lefever direttrice del dipartimento di "Comunicazione e Documentazione" del Reale Istituto Belga di Aeronomia Spaziale (BIRA-IASB)

Sylvain Ranvier scienziato del gruppo di ricerca "Accoppiamento magnetosfera-ionosfera" del BIRA-IASB e coordinatore del progetto DUSTER

Rosario Sanz Mesa scientific manager e divulgatrice, e Julio Rodríguez Gómez PI presso l'unità di sviluppo di strumenta-

e allora da cosa dipende? Sulla Luna, persino minuscole particelle possono muoversi lungo grandi distanze. L'attività della polvere lunare è attribuita alle forze elettrostatiche e fenomeni simili potrebbero verificarsi anche su altri corpi celesti senza atmosfera, come comete o asteroidi.

Caricate le polveri, la polvere è carica. La polvere lunare ha un'apparenza ed un comportamento diverso a seconda della sua localizzazione sulla superficie in relazione alla posizione del Sole, ovvero in funzione dell'angolo zenitale. Il lato diurno della Luna infatti è esposto alla radiazione solare, la quale, nella banda dell'ultravioletto (UV) e dei raggi X, provoca la fotoemissione di elettroni. Ciò genera una leggera carica elettrica positiva nella polvere di questa faccia della Luna, con un potenziale di circa 10V, che la fa aderire a ogni tipo di superficie, in modo simile a come avviene con l'elettricità statica sulla Terra.

Al contrario, sul lato notturno, la superficie lunare è influenzata solo dal plasma circostante, proveniente dal vento solare e la principale fonte della carica elettrica dei granelli di polvere è dovuta alla cattura di elettroni da parte del plasma, parzialmente mitigata dall'emissione di elettroni secondari dalla superficie. Si tratta di un potenziale negativo stimato tra -100V e -200V al di fuori della magnetosfera terrestre [1][2]. Vicino al terminatore, la regione che divide la zona illuminata dal sole da quella in ombra, si producono a questo punto, forti campi elettrici a causa della rapida transizione da potenziali positivi a negativi. Ci sono poi le strutture di media o piccola scala, come crateri o rocce, che possono contribuire ad amplificare il fenomeno. È proprio il campo elettrico generato il principale indiziato della levitazione elettrostatica e successivamente del trasporto orizzontale dei granelli di polvere lunare dall'emisfero oscuro a quello illuminato dal Sole, dovuto alla differenza della lunghezza di Debye¹ (vedi figura 1).

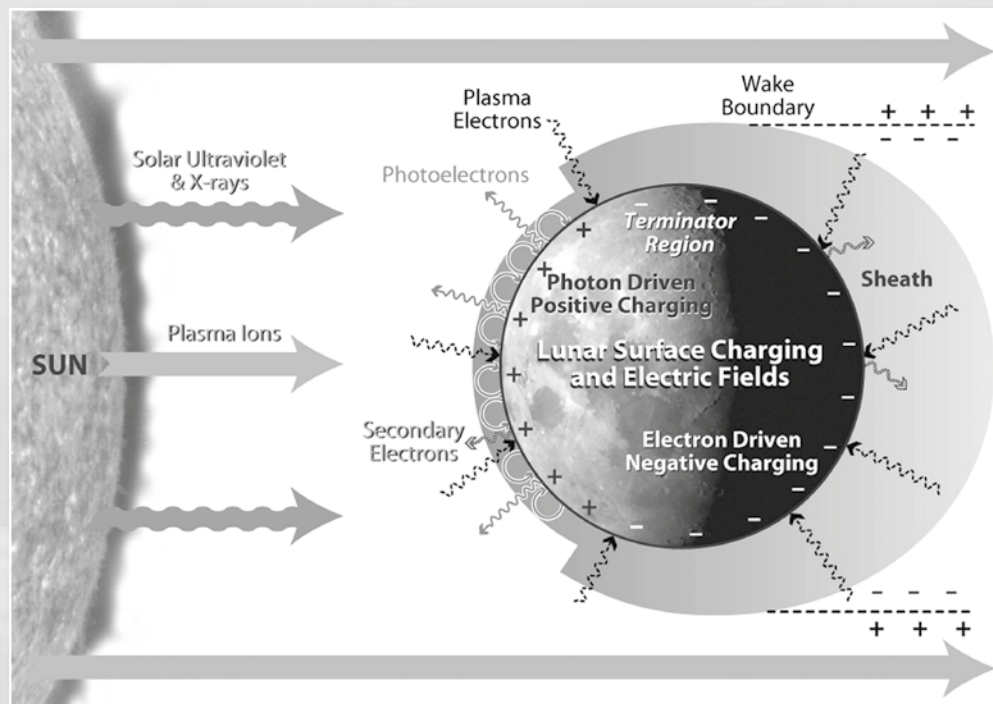


Fig.1: Rappresentazione (non in scala) del plasma circostante la luna che indica i vari processi di generazione di cariche che agiscono sulla superficie della Luna: fotoelettroni emessi dai raggi UV solari e raggi X a bassa energia, elettroni del plasma termico incidente e ioni del plasma in forma di fasci, nonché elettroni di emissione secondaria. Le frecce circolari sul lato diurno lunare indicano i fotoelettroni di "ritorno" che non sono in grado di sfuggire alla superficie caricata positivamente. La discontinuità nell'estensione dello strato di plasma, proprio sulla parte diurno terminale, indica la transizione da uno strato freddo e ricco di fotoelettroni sopra una superficie con carica netta positiva ($\lambda_D \sim 1m$) a uno strato di Debye più tenue e più caldo sopra una superficie carica netta negativa ($\lambda_D \sim 10m$). Credito: [2].

Il progetto DUSTER

Mentre agenzie spaziali come la NASA si preparano a tornare sulla Luna, alcuni gruppi internazionali di ricercatori in scienza ed ingegneria stanno studiando a fondo le proprietà fisiche della polvere superficiale lunare, con l'obiettivo di valutarne i rischi di contaminazione ed elaborare quindi le strategie per attenuare in maniera efficace i possibili danni, sia per la salute degli astronauti sia per gli strumenti spaziali.

Un team coordinato dal "Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique"

(BIRA-IASB, reale istituto belga di aeronomia spaziale belga), ha unito gli sforzi con l'"Office national d'études et de recherches aérospatiales" (ONERA, laboratorio nazionale aerospaziale francese), dell'"Institut de Astrofísica de Andalucía" (IAA-CSIC, istituto di astrofisica andaluso, spagnolo) e della società aereospaziale spagnola Thales Alenia Space-España (TAS-E) nel progetto "Horizon Europe DUSTER". DUSTER, acronimo di "Dust Study, Transport, and Electrostatic Removal for Exploration Missions" (Studio della polvere, del trasporto e della rimozione elettrostatica per le missioni di esplo-

¹. In fisica, la lunghezza di Debye è la distanza entro la quale si verifica separazione di carica in modo significativo all'interno di un plasma, ovvero è la distanza spaziale entro la quale le cariche elettriche mobili schermano il campo elettrico all'interno di un plasma o di altri insiemi di cariche.

razione spaziale), ha come obiettivo principale quello di studiare la carica elettrostatica e l'adesione dei granelli di polvere del regolite lunare, vale a dire del sottile strato incoerente di polvere, pulvisco e pietre che copre la superficie del nostro satellite. Uno studio che diviene cruciale per comprendere il trasporto dei granelli di polvere sulla superficie di corpi celesti privi di atmosfera. A partire da esperimenti di laboratorio, DUSTER ha l'obiettivo di sviluppare un modello tecnico-ingegneristico di uno strumento capace di realizzare le necessarie misure per osservare e valutare i fenomeni inerenti le polveri in situ, sulla superficie lunare. Inoltre, DUSTER è impegnato nella progettazione della tecnologia necessaria per spostare elettrostaticamente i granelli di polvere in modo controllato, implementando un primo passo verso un dispositivo per la pulizia delle superfici sensibili.

I test sulla polvere lunare artificiale in un ambiente spaziale simulato

Per comprendere meglio la carica del regolite nello spazio, il team di DUSTER sta analizzando come prima cosa la carica delle polveri ricreate in laboratorio, sfruttando un approccio sperimentale e di modellizzazione. L'installazione di DROP (Dust Regolith Or Particles) nell'istituto ONERA di Toulouse riproduce le condizioni dell'ambiente lunare nel modo più realistico possibile (vedi figura 2). Questa camera a vuoto è dotata di una pompa turbomolecolare che consente di effettuare dei test a una pressione di 10^{-6} mbar. Per simulare l'irradiazione solare del suolo, viene utilizzato un fascio di fotoni ultravioletti sottovuoto (VUV) pari al flusso solare per illuminare lo strato di polvere. Il potenziale medio della polvere dopo l'irradiazione VUV viene misurato con una sonda Kelvin² senza contatto. La polvere attratta dalla griglia e dagli elettrodi viene raccolta in un pozzo di Faraday³ (vedi figura 3).

². https://it.frwiki.wiki/wiki/Sonde_de_Kelvin
³. https://it.wikipedia.org/wiki/Coppa_di_Faraday



Fig.2: La camera Dust Regolith Or Particles (DROP) sviluppata dall'istituto ONERA, Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales, di Toulouse, utilizzata per effettuare esperimenti di laboratorio. Credito: ONERA.

Grazie ad un simile apparato, gli scienziati hanno la possibilità di misurare diverse grandezze fisiche, tra cui il campo elettrico necessario per generare un flusso di granelli carichi, la carica elettrica trasportata dagli stessi, i parametri di carica e il campo elettrico sulla superficie dello strato di polvere. L'accesso diretto al suolo lunare è complicato, è ovvio, e perciò gli scienziati e ingegneri si avvalgono di polveri lunari artificiali, progettate per riprodurre quanto più fedelmente quelle che si trovano realmente sulla superficie della Luna e utilizzate per simulare il comportamento della polvere lunare nei rispettivi laboratori. Sono disponibili diversi tipi di prototipi di polvere lunare, conosciuti in gergo tecnico con le sigle di JSC-1A, LHS-1 e LMS-1. Per i suoi test, l'ONERA ha scelto il JSC-1A (Johnson Space Center-One A), ottenuto dalla frantumazione di rocce basaltiche.

I primi risultati sono molto incoraggianti: essi suggeriscono come in laboratorio sia possibile attirare i granelli di polvere mediante forze

elettrostatiche, misurare una relativa corrente quando essi entrano ed escono dal pozzo di Faraday e dedurre infine la quantità di carica elettrica che sono in grado di trasportare. Si tratta di un passo importante per il progetto.

Un prototipo di strumento per le misure in situ

Basandosi sui risultati ottenuti in laboratorio, si procederà alla progettazione, alla fabbricazione e alla prova in un ambiente controllato di un prototipo di strumento specifico per operare in situ. Lo strumento, il compatto DUSTER, una volta installato in un piccolo modulo di atterraggio lunare, potrà analizzare le proprietà meccaniche ed elettriche della polvere, nonché il trasporto elettrostatico. Inoltre, dovrà avere la capacità di estrarre in modo controllato i granelli di polvere che compongono il regolite naturale esposto in un ambiente naturale, ovvero non controllato. A tale

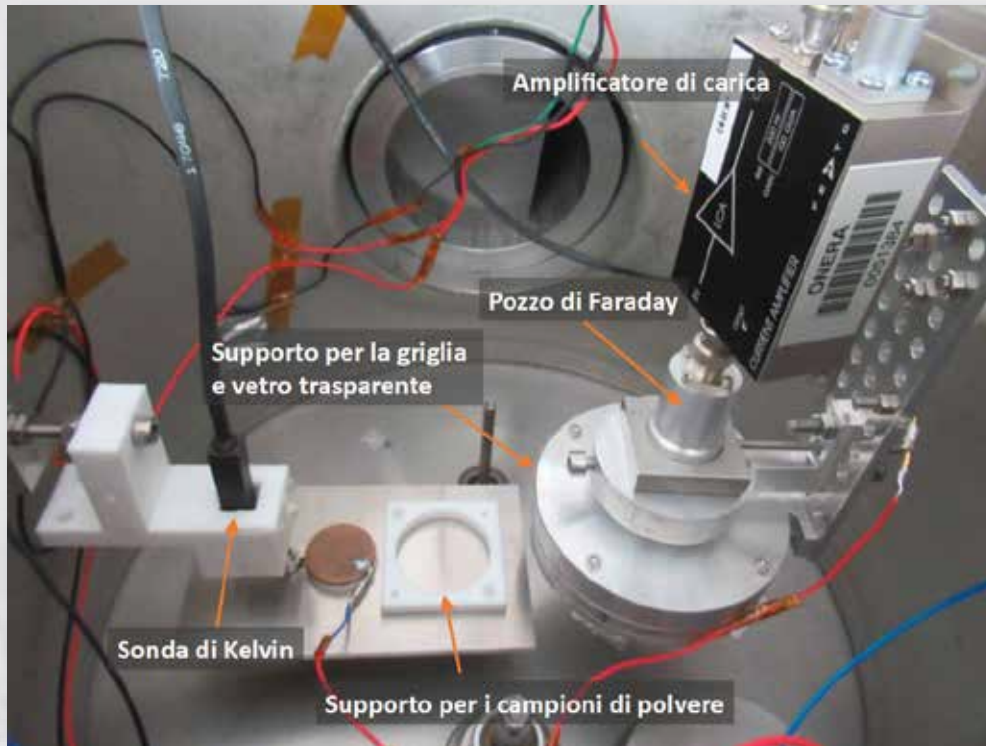


Fig.3: Configurazione del rilevatore di polveri per il progetto DUSTER: uno sguardo all'interno della camera DROP. Il supporto per la polvere lunare misura 5x5 cm², e dispone di un foro centrale per collocare i campioni. La griglia utilizzata per attirare le particelle di polvere è unita al suo supporto. Il vetro trasparente serve per osservare la deposizione della polvere. Il pozzo di Faraday misura la corrente, che viene successivamente amplificata. A sinistra è possibile osservare la sonda Kelvin, utilizzata per misurare il potenziale delle polveri. Credito: figura adattata da ONERA.

Fig.4 (in basso): Modello in rendering 3D del case (o dello chassis) di DUSTER: Credito: Istituto de Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC.



Thales Alenia Space - España. Inoltre si incaricherà di effettuare una verifica funzionale del software e dell'hardware in laboratorio.

L'IAA-CSIC progetterà anche l'hardware, il firmware e il software della scheda di controllo ed elaborazione dello strumento, nonché un simulatore di comunicazione della navicella spaziale e del lander con lo strumento DUSTER, responsabile di trasmettere i comandi a distanza e ricevere le misure telemetriche (figura 5).

Bibliografía

[1] "Space plasma physics science opportunities for the lunar orbital platform - Gateway", Iannis Dandouras et al., Front. Astron. Space Sci., 20 March 2023, Sec. Space Physics, Volume 10-2023, <https://www.frontiersin.org/journals/astronomy-and-space-sciences/articles/10.3389/fspas.2023.1120302/full>
 "The exposure of the lunar surface to the solar radiation and to the flux of charged particles also results in an electrostatic surface charging. An electric potential thus develops between the lunar surface and the ambient plasma, which manifests itself in a near-sur-

face plasma sheath with a scale height of the order of the Debye length. This nearsurface electric field becomes very complex and highly variable in the vicinity of the terminator, with the surface polarity changing from mostly positive (few 10s V) on the dayside, due to photoelectron emission, to highly negative (of the order of the ambient electron temperature, i.e., up to several -100s V) on the nightside, and in the trailing lunar wake region. Local surface topography is also a factor contributing to a complex near-surface electrostatic and plasma environment, particularly in the vicinity of permanently-shadowed craters."

[2] "Dependence of lunar surface charging on solar wind plasma conditions and solar irradiation".
 T.J. Stubbs et al., Planetary and Space Science, Volume 90, 2014, Pages 10-27.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032063313001876?via=ihub#eq0110>
 "It is also important to note that the negative charging of the lunar surface in shadow is a result of the plasma electrons moving much faster than the plasma ions, such that the flux of electrons moving toward the lunar surface is much greater than the flux of ions. The resulting negative potential between the surface and ambient plasma acts to repel a sufficient fraction of the incoming plasma electrons in order to achieve current balance with the incoming plasma ions."



Fig.5: Sviluppo del software di controllo e del simulatore della navicella spaziale per l'invio dei telecomandi e la ricezione delle telemetrie. Credito: IAA-CSIC.

scopo, l'apparato alloggerà tre sensori: una sonda Langmuir⁴, una sonda di campo elettrico e un collettore di polvere che consiste in un elettrodo ad alta tensione accoppiato a un elettrometro (un misuratore di cariche).

Le sonde di Langmuir e di campo elettrico misureranno rispettivamente il plasma dell'ambiente e il campo elettrico vicino alla superficie, mentre il collettore di polvere applicherà una forza controllata sulla polvere carica per attrarla e misurare la corrente risultante dal movimento delle particelle di polvere cariche nel pozzo di Faraday.

I parametri risultanti determineranno il campo elettrico necessario per attrarre e raccogliere la polvere in funzione delle condizioni ambientali (illuminazione, densità del plasma e temperatura), il che permetterà di progettare dispositivi di mitigazione della polvere elettrostatica e collettori di campioni di polvere per una vasta gamma di ambienti, sia per il nostro satellite, sia per altri corpi del Sistema Solare come Marte, comete o asteroidi.

Il ruolo dell'Istituto di Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC, nel progetto DUSTER

L'IAA è responsabile del computer di bordo, del software di controllo e della meccanica dello strumento DUSTER. All'interno del progetto DUSTER, si occupa della progettazione del case dove saranno alloggiate le schede elettroniche per l'elaborazione e il controllo dello strumento, anch'esse realizzate dallo stesso istituto, l'elettronica di adattamento dei tre sensori, ad opera di BIRA-IASB, e le fonti di alimentazione ad alta, media e bassa tensione, progettate da TAS-E.

Lo chassis ha tra le sue funzioni quella di proteggere le schede elettroniche da interferenze elettromagnetiche da parte di altri dispositivi elettronici o di fattori esterni (figura 4), per questo motivo, l'IAA-CSIC è responsabile dell'integrazione dell'elettronica con le schede di BIRA-IASB e TAS-E, e offrirà supporto nei test di compatibilità elettromagnetica e interferenza elettromagnetica che saranno effettuati presso

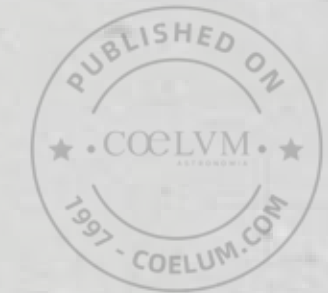
⁴. https://en.wikipedia.org/wiki/Langmuir_probe

Instituto de Astrofísica de Andalucía. (IAA)

L'Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) è uno dei centri di ricerca spagnolo appartenente al Consejo Super de Investigación Científica (CSIC). La sua missione è approfondire la conoscenza del cosmo e renderlo fruibile dalla società tutta, mediante ricerche all'avanguardia nel campo dell'Astrofísica e delle Scienze dello spazio, la promozione dello sviluppo tecnologico, con la costruzione di nuovi strumenti, e la diffusione dei risultati scientifici presso la comunità scientifica ed il grande pubblico, con attività di comunicazione e divulgazione.

L'IAA-CSIC, fondato nel 1975, si è affermato come centro di riferimento nazionale e internazionale per la ricerca in Astrofísica, essendo oggi uno dei più grandi centri di ricerca del CSIC con più di 250 membri. Per la sua produzione scientifica, è il secondo centro spagnolo nel campo dell'Astrofísica e il settimo tra i centri CSIC di tutte le aree di ricerca.

Le linee di ricerca dell'IAA coprono tutti i principali ambiti dell'astrofísica moderna, dalla gravità quantistica al sistema solare, passando per l'evoluzione delle galassie, la cosmologia, le componenti della nostra Galassia ed i pianeti extrasolari. L'attività dell'IAA si basa sui tre pilastri fondamentali dell'Astrofísica moderna: l'osservazione dei fenomeni celesti con i mezzi più sofisticati, lo sviluppo di nuova strumentazione, lo studio teorico e l'implementazione di simulazioni numeriche.



Quando la missione Apollo orbitò attorno al lato nascosto della Luna, gli astronauti videro un arco di luce incredibilmente luminoso brillare all'orizzonte subito dopo il tramonto. Il punto luminoso in alto è il pianeta Venere. Credito: NASA.

