

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

**«*Parker Solar Probe: mission overview  
di un progetto rivoluzionario per lo  
studio del Sole e del vento solare*»**

Tutor universitario: Prof. Luca Malavolta

Laureanda: *Gaia Faleschini*

Padova, 13/03/2023

## PERCHÉ STUDIARE IL SOLE?

**IL SOLE è UNA STELLA VICINA  
in termini astronomici**

1 AU = 149597870707 m  
distanza media Terra-Sole

- studiare una stella attiva tramite osservazioni dirette che forniscono dati certi
- conoscere indirettamente anche il comportamento di stelle molto lontane simili al Sole per massa, composizione e stadio evolutivo

**IL SOLE rappresenta circa il 98% della  
MASSA DEL SISTEMA SOLARE**

↓  
la sua attività influenza tutto lo spazio  
e i corpi presenti nel nostro sistema  
planetario

↓  
**VENTO SOLARE**

## CHE COS'É IL VENTO SOLARE?

FLUSSO ELETTRICAMENTE CARICO CHE VIENE  
EMESSO IN MANIERA CONTINUA DAL SOLE A CAUSA  
DELL'ATTIVITÀ SOLARE MEDIA

- Composto principalmente da protoni ed elettroni, a cui si possono aggiungere atomi di elio in % ridotta
- Teorizzato da E.N. Parker secondo il quale la temperatura della corona solare è così elevata da permettere al materiale coronale di sfuggire alla gravità solare e di espandersi nello spazio interplanetario
- La teoria di Parker è stata confermata nel 1959 dal satellite Luna 1 che rilevò particelle ad alta energia al di fuori delle fasce di Van Allen

La sonda Mariner 2 ha individuato 2 tipologie di vento solare che si differenziano per velocità e

zona solare di provenienza

↓  
VENTO SOLARE LENTO

Ha velocità inferiore e si origina nelle zone vicine all'equatore solare, dove si concentrano gli anelli coronali

↓  
VENTO SOLARE VELOCE

Ha velocità maggiore ed è legato ai buchi coronali

Se consideriamo una distanza dal Sole pari ad 1 AU il vento solare ha una velocità media di  $300 \text{ km/s}$  ed una densità variabile tra alcune unità ed alcune decine di particelle per ogni  $\text{cm}^3$

## PERCHÉ STUDIARE IL VENTO SOLARE?

L'attività solare e di conseguenza il vento solare influenzano lo spazio interplanetario, la magnetosfera e le zone più alte della ionosfera



## SPACE WEATHER

- **EVENTO DI CARRINGTON** (1859): dovuta a dei brillamenti è la più recente tempesta geomagnetica. All'epoca mise fuori uso tutte le linee telegrafiche e può farci capire come potrebbe essere dannoso un fenomeno simile al giorno d'oggi in cui i danni interesserebbero tutti i sistemi di telecomunicazione, di navigazione satellitare e di logistica
- **LE RADIAZIONI SONO LA CAUSA PIÙ COMUNE DI Malfunzionamento e fallimento delle missioni spaziali** e possono essere divise in due categorie:
  - Radiazioni non ionizzanti → composte da particelle con  $en < 10 \text{ KeV}$  provocano danni alle superfici che si accumulano nel tempo
  - Radiazioni ionizzanti → composte da particelle con  $en > 10 \text{ KeV}$  provocano gravi danni locali improvvisi e *single event effect*
- **LE RADIAZIONI RAPPRESENTANO UN GRANDE RISCHIO PER EQUIPAGGIO UMANO A BORDO DI MISSIONI**

## OBIETTIVI DI MISSIONE

- Studiare il flusso di energia solare e capire le dinamiche che regolano il campo di calore della corona
  - Analizzare le particelle che compongono il vento solare e capire come vengono generate e accelerate
- Monitorare il campo magnetico solare e capire come questo influenza la sua attività



CONOSCERE NATURA, CAUSE E  
COMPORTAMENTO  
DEL SOLE E DEL VENTO SOLARE PER  
GARANTIRE SICUREZZA DI FUTURE  
MISSIONI SPAZIALI E DI TUTTI I SISTEMI DI  
TELECOMUNICAZIONE

## PROBLEMATICHE STRUTTURALI/OPERATIVE

1. Creazione un'orbita di missione che permettesse di ottimizzare la richiesta di energia per lancio/messa in orbita e allo stesso tempo permettesse alla sonda di trascorre nelle regioni di interesse intervalli di tempo sufficientemente lunghi
2. Realizzazione di una struttura in grado di resistere alle condizioni operative estreme presenti in prossimità del Sole
3. Progettazione di una struttura autonoma sia dal punto di vista delle manovre di missione sia dal punto di vista delle telecomunicazioni



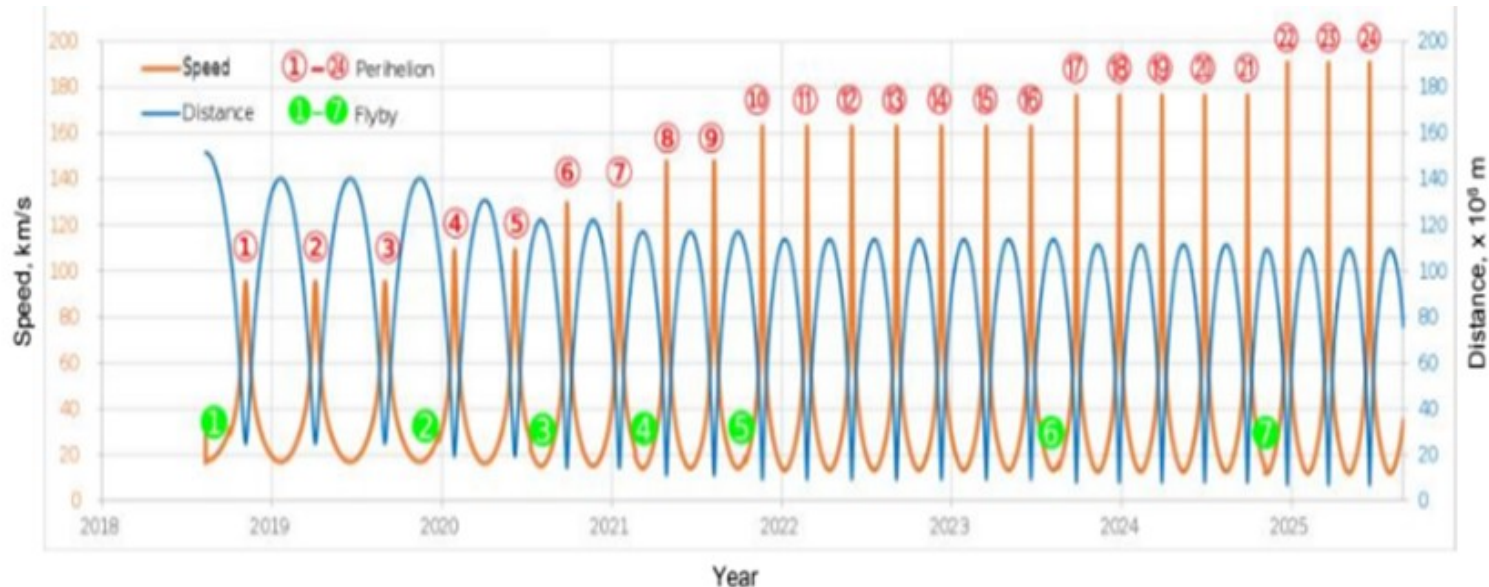
PROGETTO AMBIZIOSO E RIVOLUZIONARIO

## $V^7GA$ : VENUS GRAVITY ASSIST TRAJECTORY



MANOVRA CHE SFRUTTA LA SFERA DI INFLUENZA DI UN CORPO CELESTE (VENERE)  
PER MODIFICARE LA TRAIETTORIA E LA VELOCITÀ ASSOLUTA DI UN VEICOLO SPAZIALE

- Per la sonda Parker sono previsti 7 VGA, distribuiti su un totale di 24 orbite
- 3/10/18 primo VGA che ha immesso la sonda in un'orbita con perielio a  $35 R_s \cong 0.16 AU$
- Tramite i VGA il valore del perielio dell'orbita della PSP diminuirà gradualmente fino a raggiungere il suo minimo  $9.86 R_s \cong 0.0459 AU$  durante le ultime tre orbite di missione
- Previsti 24 *solar encounters* → passaggi ravvicinati al Sole con *dist* <  $0.25 AU$  e durata di 10 – 15 *gg*



## PARKER SOLAR PROBE STRUCTURAL ANALYSIS

bus (corpo cilindrico con  $\varnothing 1 m$ ) collegato allo scudo termico tramite una travatura metallica (TSA)  
per un peso totale al lancio di  $685 kg$  e una lunghezza totale di  $8 m$

### SISTEMA DI CONTROLLO TERMICO

Thermal Protective Shield  
+  
Solar Array Cooling System

### STRUMENTAZIONE DI BORDO

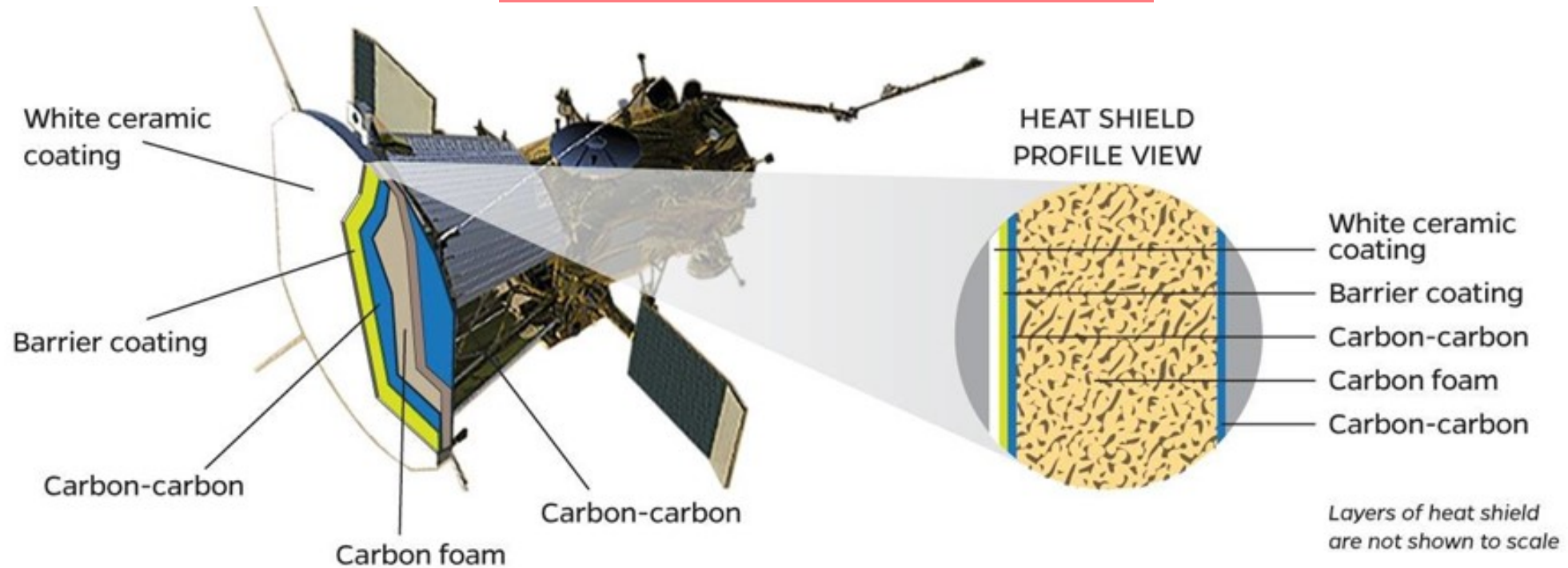
FIELDS  
WISPR  
SWAEP  
ISOS

raccolgono *high-cadence*  
*data in-situ* durante i solar  
encounters

### CONTROLLO DI ASSETTO E SISTEMA DI TELECOMUNICAZIONE



## TPS: THERMAL PROTECTIVE SHIELD



- Protegge la PSP dalle radiazioni e dalle elevate temperature e la ripara dagli impatti delle microparticelle iperveloci
  - Forma esagonale, diametro di  $2.3\text{ m}$  e spessore di  $11.43\text{ cm}$  per un peso totale di  $72.57\text{ kg}$
- **Struttura a sandwich**: due strati di composito carbonio-carbonio + strato di schiuma di carbonio (97% aria)
  - Strato superficiale di ossido di alluminio bianco con finitura porosa ed aggiunta di nanodopanti
  - Strato di tungsteno tra ossido di alluminio superficiale e composito carbonio-carbonio



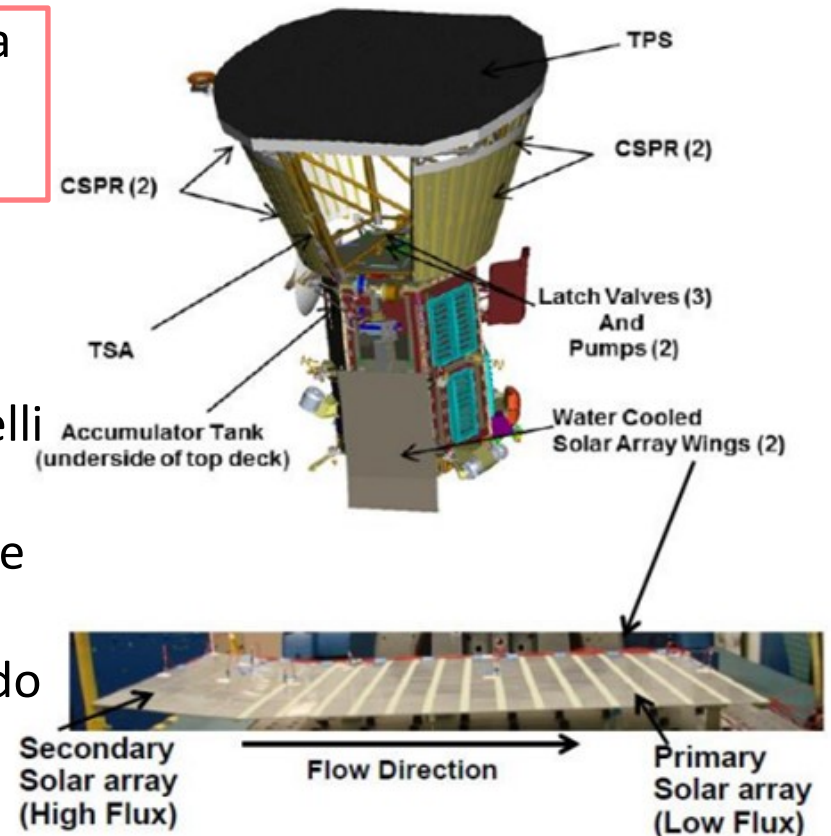
## SACS: SOLAR ARRAY COOLING SYSTEM

INTERESSA SOLAMENTE IL PSP SOLAR ARRAY

composto da due ali ( $0.33 \times 1m$ ) costituite da due sezioni la cui posizione ed inclinazione sono regolate automaticamente in base a dei parametri di temperatura ed illuminazione registrati da vari sensori

L'ombra del TPS non basta per garantire la corretta temperatura operativa dei pannelli quindi è stato introdotto il SACS

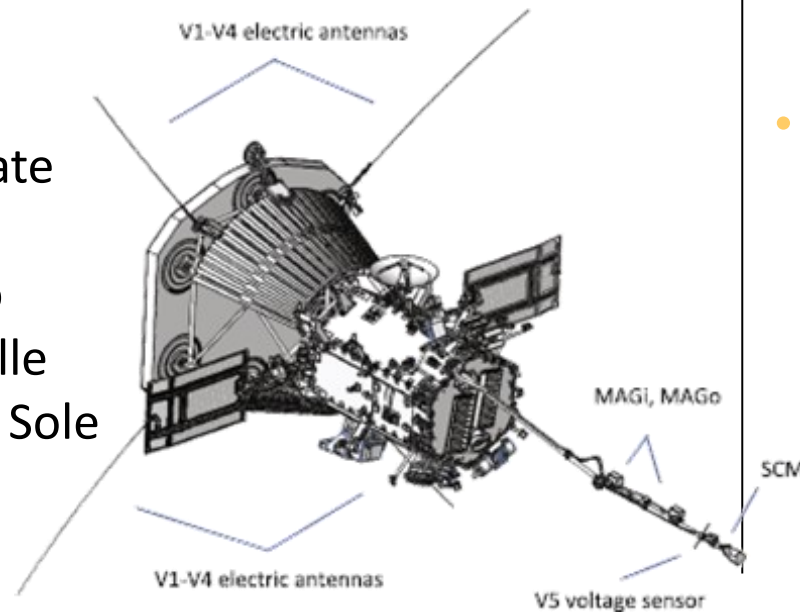
- 1 accumulatore, 2 pompe e relativi motori di controllo, 3 valvole, 4 radiatori CSPRs e 2 piastre SAPs
  - 86 kg (compresi 4,5456 l di acqua)
- L'acqua scorre in micro-canali nelle piastre di titanio alla base dei pannelli accumulando il calore degli array che viene poi espulso nei radiatori
- L'acqua è mantenuta in pressione dalle pompe per evitarne l'ebollizione ai solar encounters
- mantiene le celle fotovoltaiche degli array ad una  $T \leq 120^{\circ}C$ , dissipando fino a 6500 W al perielio
  - 49 KW max di energia richiesta per il funzionamento



## FIELDS: ELECTROMAGNETIC FIELDS INVESTIGATION

analizza forma e intensità dei campi elettrici e magnetici dell'atmosfera solare

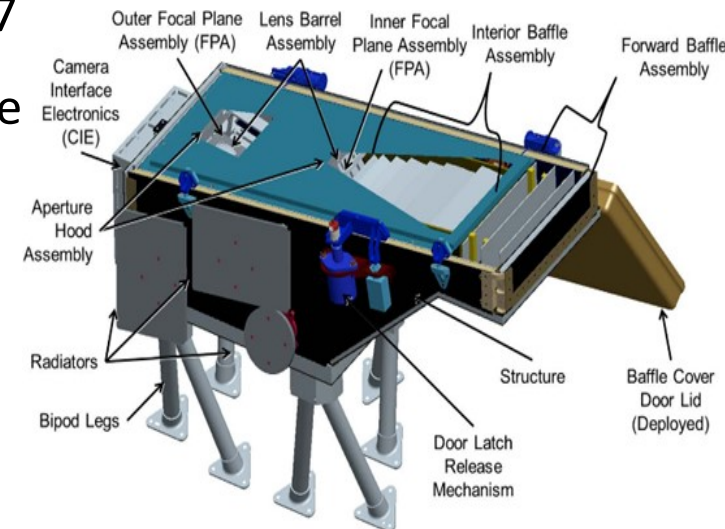
- 5 antenne di  $l = 2\text{ m}$  in lega di niobio che misurano i campi elettrici
- Search Coil Magnetometer SCM che monitora le variazioni del campo magnetico solare nelle zone più vicine alla stella tramite il voltaggio di una spira
- MAGi e MAGo, magnetometri fluxgate che monitorano le variazioni del campo magnetico solare nelle zone più lontane dal Sole



## WISPR: WIDE FIELD IMAGER for Solar Probe

unico registratore di immagini della PSP che cattura immagini di eiezioni di massa coronale ed altri fenomeni analoghi

- Sfrutta l'ombra del TPS per bloccare l'intensa luce solare che renderebbe impossibile osservare la debole luce della corona
- 2 telecamere con rilevatori CMOS a sensori Rhap con lenti in vetro BK7
- Permette di collegare fenomeni in larga scala a misurazioni fisiche di campi elettrici e magnetici

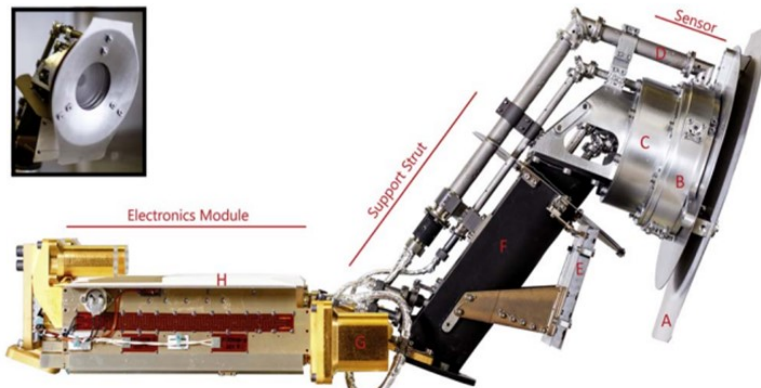


## SWEAP: SOLAR WIND ELECTRON ALPHAS and PROTON INVESTIGATION



analizza protoni, elettroni e ioni di elio conteggiandoli e misurandone velocità, densità e temperatura

- 1 Solar Probe Cup, punta sempre verso il Sole e quindi non è protetta dal TPS. Analizza flussi e angoli di flusso con funzioni dell'energia in un range di  $50 \frac{eV}{q} \div 8 \frac{KeV}{q}$  per gli ioni e  $50 eV \div 2 KeV$  per gli elettroni
- 3 Solar Probe Analyzers, analizzatori elettrostatici che misurano la distribuzione di velocità di ioni ed elettroni nelle zone di *umbra* del TPS

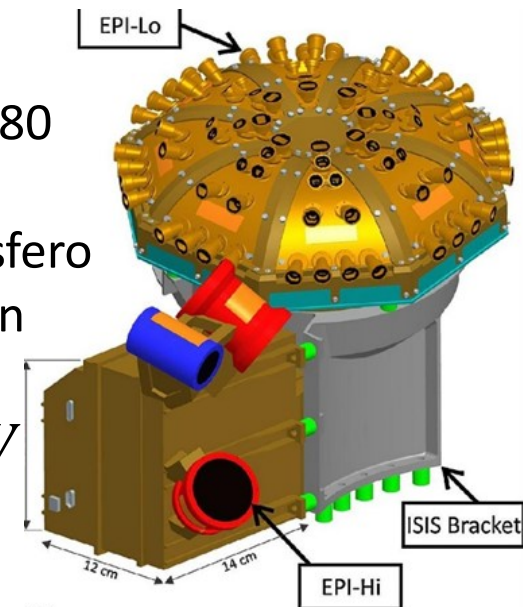


## ISOIS: INTEGRATED SCIENCE INVESTIGATION of the Sun



analizza particelle che compongono vento solare e atmosfera solare in un range di energia molto ampio

- EPI-Hi, composto da 3 telescopi che forniscono 5 large-FOV che studiano particelle ad alta energia ossia ioni H e ioni He con  $E \in [1,50] MeV/nuc$ , ioni pesanti con  $E \in [2,100] MeV/nuc$  ed elettroni con  $E \in [0.5,6] MeV$
- Epi-Lo, cupola ottagonale con 80 antenne *viewfinders* di  $l = 1.5 cm$  che osservano un emisfero di spazio ed analizzano ioni con  $E \in [20 KeV, 15 MeV]/nuc$  ed elettroni con  $E \in [25,1000] KeV$



## CONTROLLO DI ASSETTO



PSP è un sistema a tre assi il cui assetto è mantenuto *sun-pointing* dal sistema Guidance&Control

- G&C controlla anche l'angolazione delle sezioni delle ali del solar array, l'orientamento della HGA e l'esecuzione delle manovre propulsive
- Per eseguire le manovre di correzione di assetto il sistema sfrutta 4 tipologie di sensori:
  - star tracker ridondante
  - unità di misura ridondante e inerziale
  - 3 Digital Sun Sensors nel lato *anti-ram* della PSP
  - 7 Solar Limb Sensors
- L'affidabilità del sistema G&C è garantita dalla presenza di un processore ridondante RMP dotato di 3 computer indipendenti ed un controllore avionico ridondante

## SISTEMA DI TELECOMUNICAZIONE



sfrutta il Deep Space Network della Nasa per tutte le operazioni di uplink, downlink e navigazione

- HGA antenna principale di  $l = 0.6 m$  per il downlink degli *high-rate data* nella banda Ka
- Antenne fanbeam per uplink di dati nella banda X e downlink di dati *lower-rate*
- 2 Low Gain Antennas che forniscono copertura unidirezionale e sono usate nelle fasi iniziali della missione, per comunicazioni di emergenza e durante manovre di correzione di traiettoria
- Le telecomunicazioni con le stazioni di terra vengono effettuate durante le fasi di crociera e non durante i solar encounters



## 31/05/2022 : PSP 12esimo SOLAR ENCOUNTER



durante il sesto solar encounter (27/9/20) ha registrato dei dati che hanno rivelato un legame tra gli switchback (rapide inversioni del campo magnetico solare) e i funnels (regioni convettive del Sole)



entrando in uno pseudostreamer ha registrato condizioni energetiche più tranquille rispetto a quelle presenti all'esterno della corona, permettendo di posizionare la superficie critica di Alfvén (zona in cui l'atmosfera solare diventa vento) ad una distanza media di 18.8  $R_s$



durante il sesto solar encounter ha registrato immagini con debolissima luce riflessa da particelle di polvere provando l'esistenza della dust-free zone ipotizzata negli anni '40 da Henry Norris Russell



durante i solar encounter ha collezionato un range di particelle molto più vasto rispetto a quelle rilevate nelle vicinanze della Terra, con andamento e propagazione non omogenei perché influenzati da fenomeni solari di tipo magnetico ed esplosivo

LA MISSIONE PARKER RAPPRESENTA UNA PIETRA MILIARE NELL'ESPLORAZIONE SPAZIALE E NELLO STUDIO DEL SOLE E DEL VENTO SOLARE



- SFIDA TECNICA PER INGEGNERI E SCIENZIATI
- UTILIZZO DI TECNOLOGIE ALL'AVANGUARDIA E SOLUZIONI INNOVATIVE
- PRIMA SONDA AD ENTRARE ALL'INTERNO DELLA CORONA SOLARE



Entrata nella seconda metà della missione la sonda si avvicina sempre di più al Sole e più la distanza diminuisce, più crescono le aspettative verso le nuove risposte che otterremo tramite i dati e le immagini che i suoi strumenti raccoglieranno

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

