

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

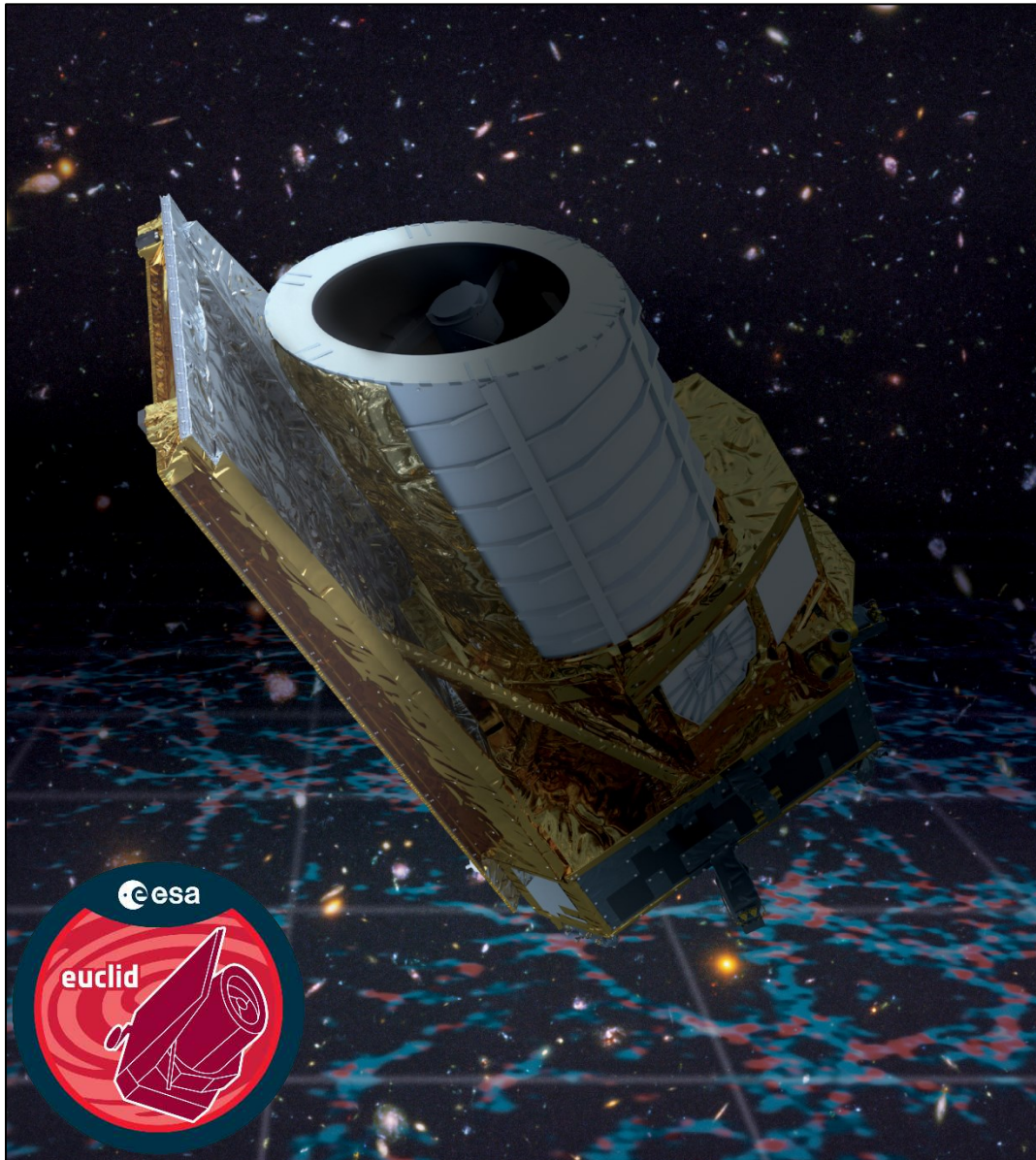
Relazione per la prova finale

***«La missione Euclid: soluzioni
tecnologiche per lo studio del lato oscuro
dell'Universo»***

Tutor universitario: Prof. Luca Malavolta

Laureando: *Diego Grendene*

Padova, 16/11/2023



La missione Euclid è la seconda missione di classe media del programma *Cosmic Vision* dell'ESA

Progettazione e realizzazione da parte di un gruppo internazionale diretto da *Airbus Defence and Space*, *Thales Alenia Space Italy* e dal *Consortio Euclid*.

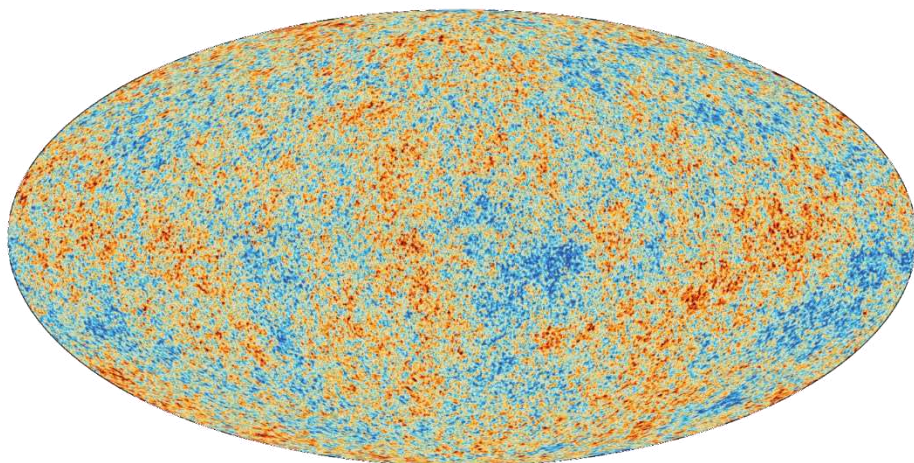
OBIETTIVI

Acquisizione di dati fotometrici e spettrometrici nello spettro del visibile e del vicino infrarosso per mappare la distribuzione della materia durante l'evoluzione dell'Universo

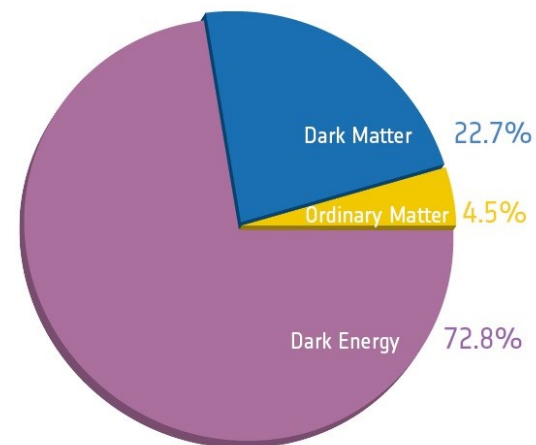


Studio delle componenti oscure dell'Universo

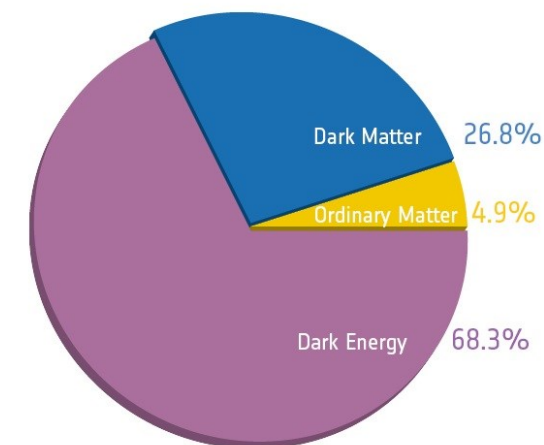
- 1917** Nascita della cosmologia scientifica moderna
- 1929** Le osservazioni di Hubble confermano l'espansione dell'Universo
- 1931** Lemaître formula la teoria del Big Bang
- 1966** Prime osservazioni della Cosmic Microwave Background radiation (CMB)
- 2015** Lo studio della CMB permette di ricavare una stima precisa della composizione dell'Universo



Fonte: ESA/Planck Collaboration



Before Planck



After Planck

Fonte: ESA/Planck Collaboration

Alcuni quesiti rimangono insoluti:

- Com'è distribuita la materia nell'Universo?
- Qual è la natura della materia oscura?
- Come varia la velocità di espansione dell'Universo?
- Qual è la natura dell'energia oscura?
- La nostra interpretazione della gravità è completa?

MATERIA OSCURA

Un'ipotetica componente massiva dell'Universo che non interagisce con il campo elettromagnetico ma solo con quello gravitazionale

Rilevata attraverso i suoi effetti gravitazionali sulla materia ordinaria e lo studio delle anisotropie della CMB

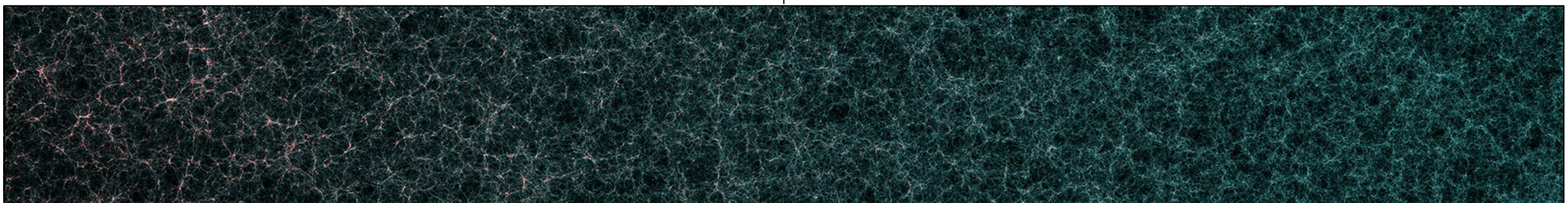
La CDM (Cold Dark Matter) potrebbe essere formata da WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles), tuttavia la sua natura rimane sconosciuta

ENERGIA OSCURA

Una presunta forma di energia che sembrerebbe permeare l'intero Universo, causandone l'espansione accelerata

Le prime evidenze sperimentali derivano dall'osservazione delle supernovae di tipo Ia

Le ipotesi più accreditate la identificano con la costante cosmologica proposta da Einstein o con una forza fondamentale non ancora scoperta

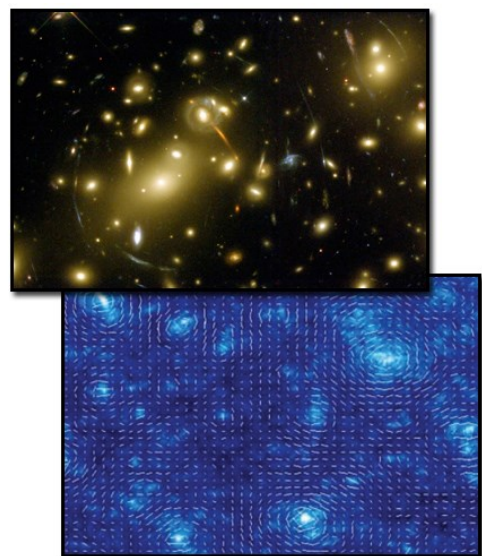


WEAK GRAVITATIONAL LENSING (WL)

Il *gravitational lensing* consiste nella distorsione della radiazione emessa da galassie lontane a causa della curvatura dello spazio-tempo. Si divide in:

- Strong gravitational lensing
- Weak gravitational lensing (WL)
- Microlensing

Studiando il WL e l'insieme delle distorsioni nelle immagini si può ricostruire lo *shear* cosmico di una sezione della volta celeste e mappare la distribuzione della materia nella rispettiva porzione di Universo

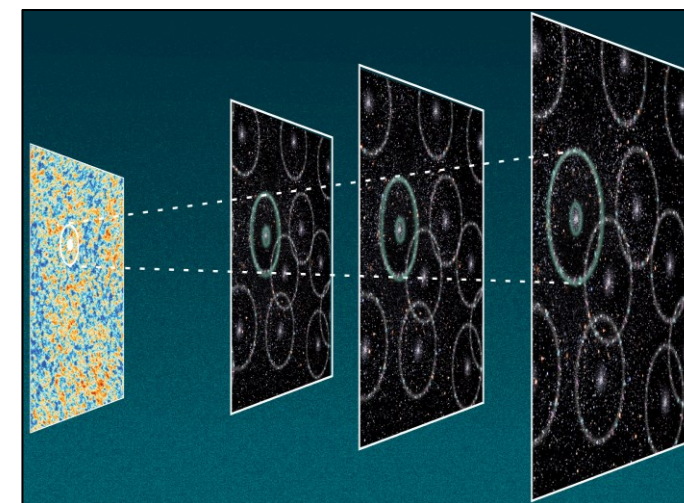


BARYONIC ACOUSTIC OSCILLATIONS (BAO)

Le *Baryonic Acoustic Oscillations* (BAO) sono delle fluttuazioni nella distribuzione della materia ordinaria nell'Universo

Esse sono state causate da onde acustiche di densità che si sono propagate durante le prime fasi dell'espansione del cosmo, a seguito dei processi di aggregazione ed espansione del plasma primordiale

Attraverso lo studio delle BAO è possibile ricavare importanti informazioni riguardo la velocità di espansione dell'Universo nelle sue fasi iniziali

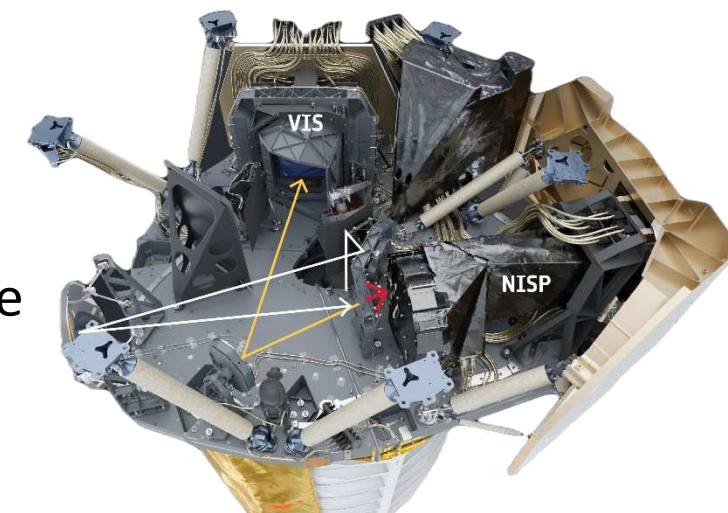
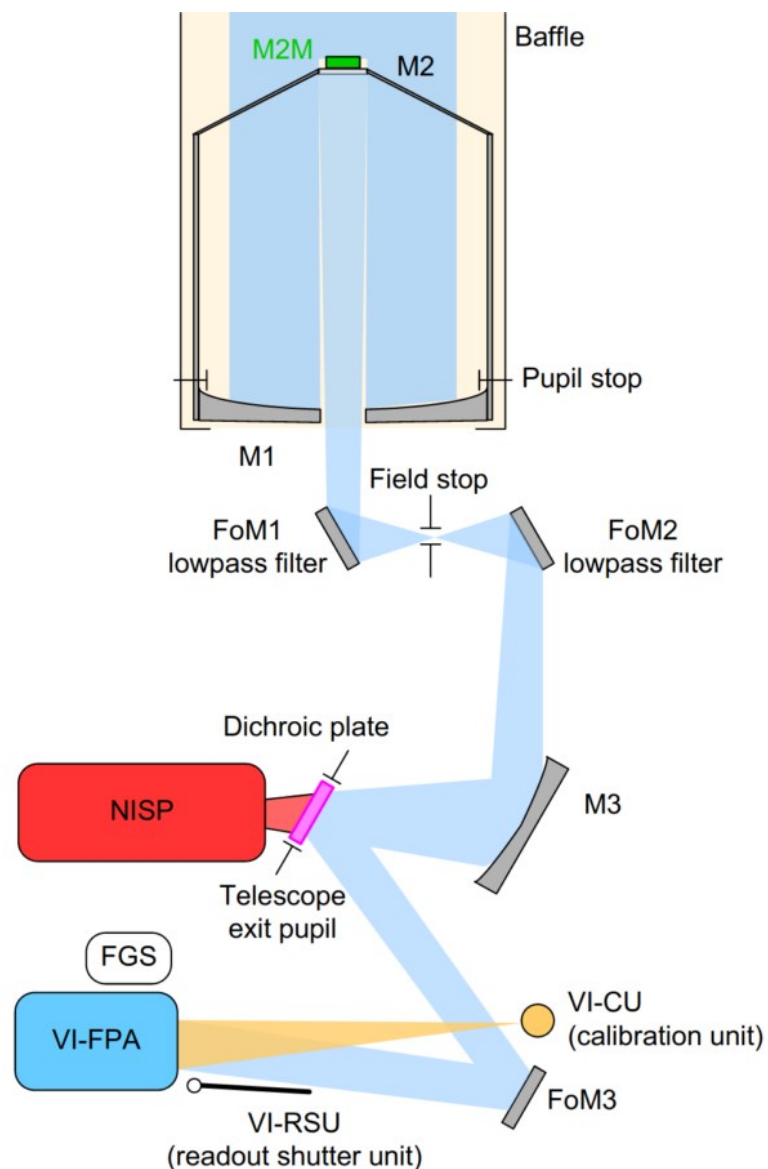


Il Payload Module (PLM) è progettato per fornire agli strumenti scientifici stabilità termica e meccanica

Realizzato da Airbus Defence and Space nei suoi stabilimenti di Tolosa, il PLM ospita il telescopio, il Fine Guidance Sensor (FGS), il Visible Instrument (VIS), il Near Infrared Spectrometer and Photometer (NISP) ed i sensori ad essi associati

L'approccio per il controllo termico dei componenti del PLM è stato adattato da quello progettato per il payload module del satellite Gaia

Il telescopio è un anastigmatico a tre specchi in configurazione Korsch e dispone di una lunghezza focale pari a 24,5 m e di un campo visivo di $1,25 \times 0,727 \text{ deg}^2$

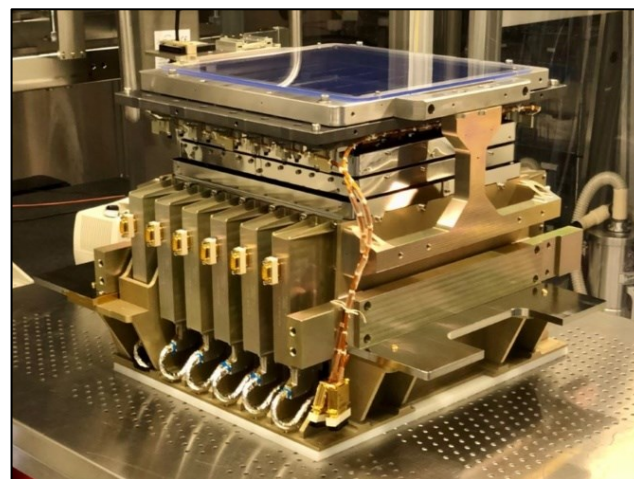
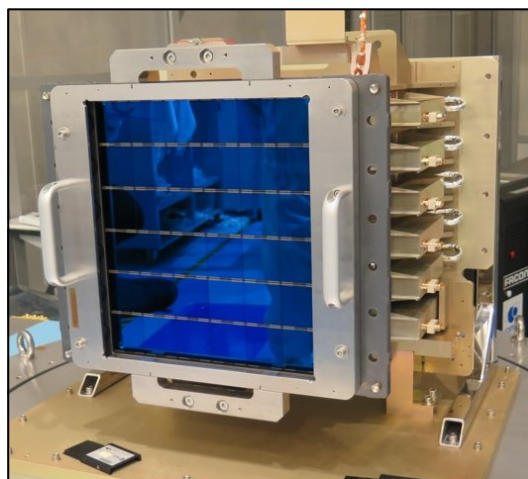


Visible instrument (VIS)

Produce immagini nello spettro del visibile (550 – 900 nm) con una risoluzione grafica di 609 milioni di pixel ed una risoluzione angolare di 0,1 arcosecondi, coprendo un campo d'osservazione di $0,57 \text{ deg}^2$ grazie al suo campo focale composto da 36 CCD273-84 da 4kx4k pixel ciascuno, progettati e realizzati ad hoc per il VIS dall'azienda e2v (oggi Teledyne e2v)

Le dimensioni e la risoluzione delle immagini prodotte permetteranno di misurare con precisione lo shear cosmico causato dal WL

Particolare attenzione è stata prestata allo studio dei bias dello strumento, nonché alla programmazione dei sistemi di calibrazione dei sensori



Composto da:

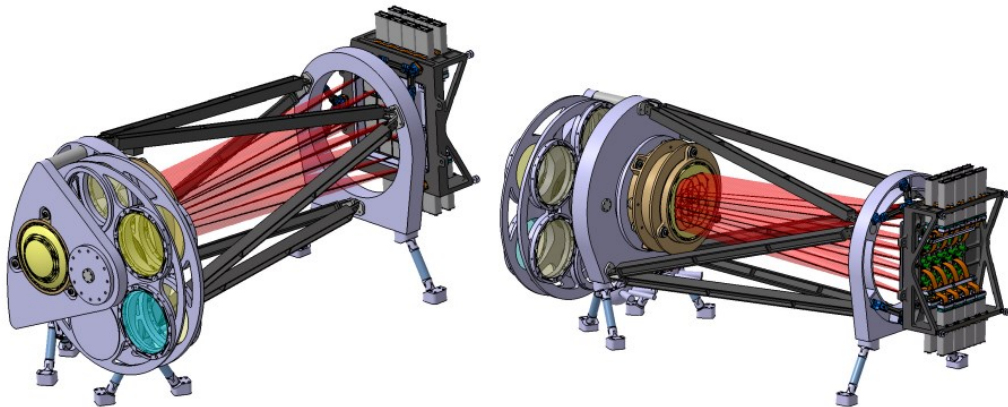
- VI-FPA *Piano Focale*
- VI-RSU *Otturatore*
- VI-CU *Unità di calibrazione*
- VI-CDPU *Control and Data Processing Unit*
- VI-PMCU *Power and Mechanism Control Unit*

Near Infrared Spectrometer and Photometer (NISP)

Progettato per condurre indagini spettrometriche slitless e fotometriche nel vicino infrarosso per lunghezze d'onda tra 900 nm e 2020 nm attraverso 16 rilevatori Teledyne "H2RG" in tellururo di mercurio e cadmio (HgCdTe) da 2kx2k pixel ciascuno per un totale di 64 milioni di pixel circa, con una risoluzione angolare di 0,3 arcosecondi per pixel

Opera in due modalità:

- la modalità fotometrica produce immagini attraverso filtri broad-band per le bande Y_E , J_E ed H_E , utilizzate per calcolare il redshift fotometrico e la distanza approssimata di più di un miliardo di galassie
- la modalità spettrometrica raccoglie dati sullo spettro di emissione nel vicino infrarosso grazie a quattro grism, fornendo una misura estremamente precisa della distanza di circa 50 milioni di galassie



Prima di raggiungere il piano focale, la radiazione attraversa due elementi ottici indipendenti discoidali, uno per i filtri ed uno per i grism, che permettono l'intercambiabilità delle modalità di acquisizione dati

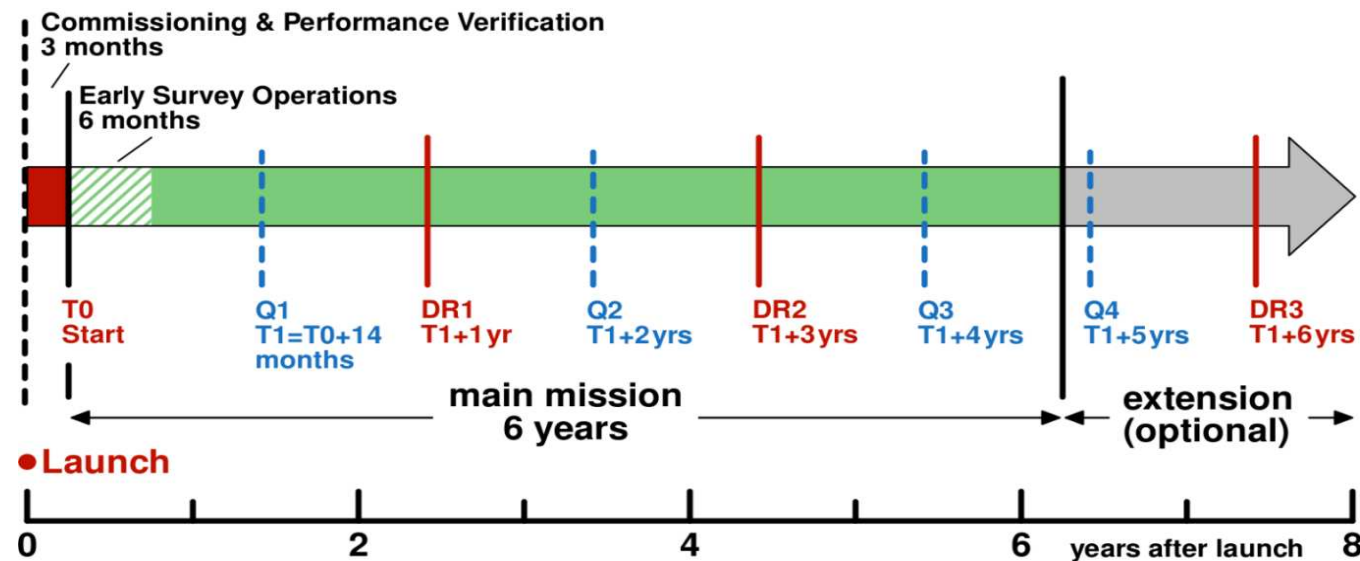
Operazioni di missione

In seguito al lancio (L), effettuato il 1° luglio 2023 dal Centro spaziale di Cape Canaveral in Florida, Euclid ha svolto varie operazioni per prepararsi allo svolgimento della missione:

- **L+2d** Lieve manovra di correzione
- **L+3d** Euclid inizia le manovre di de-icing
- **L+5d** Primi test sui dischi del NISP
- **L+8d** Viene estesa l'antenna ad high-gain
- **L+10d** Iniziano i test del VIS e dell'AOCs
- **L+14d** Primi utilizzi del VIS e del NISP
- **L+27d** Il satellite ha raggiunto il punto L2
- **L+30d** Vengono rilasciate le prime immagini
- **L+44d** Sorgono problemi riguardo l'FGS
- **L+96d** Fine del commissioning



Fonte: ESA/Space X



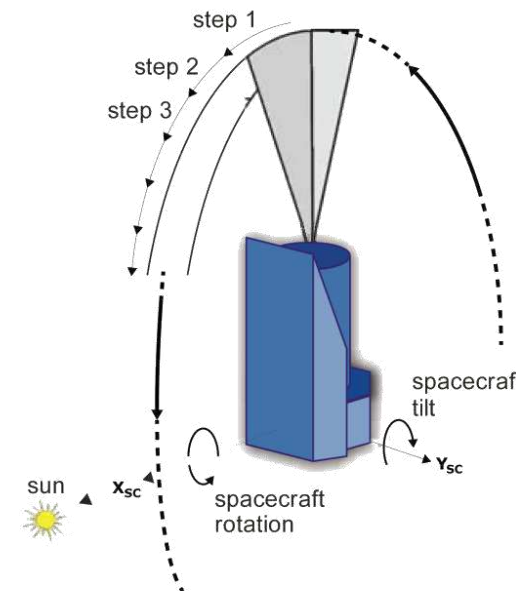
Fonte: Euclid Consortium

Survey strategy

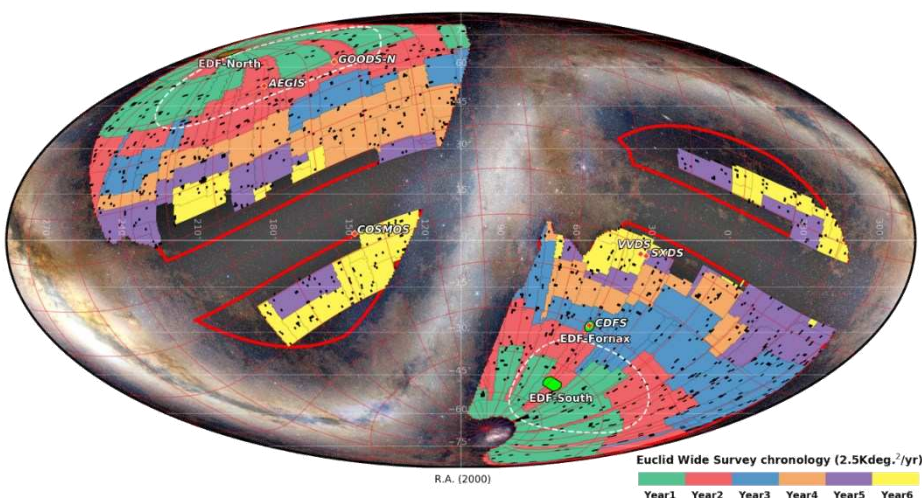
La soluzione ottimale per raggiungere gli obiettivi della missione in quanto a velocità e profondità d'osservazione, precisione del puntamento e qualità delle immagini prodotte, rispettando comunque il vincolo della durata della vita operativa, è stata trovata dal Consorzio Euclid utilizzando ECTile, un software sviluppato di recente appositamente per questo scopo.

La missione Euclid condurrà due tipi di sky survey:

- Wide survey: riguarderà circa 15.000 deg^2 , pari a più di un terzo della volta celeste
- Deep survey: riguarderà tre zone specifiche con un'area complessiva di 53 deg^2 , con tempi d'osservazione 50 volte più lunghi della wide survey



Fonte: R. Laureijs et al.: *Euclid Definition Study Report*, 2011



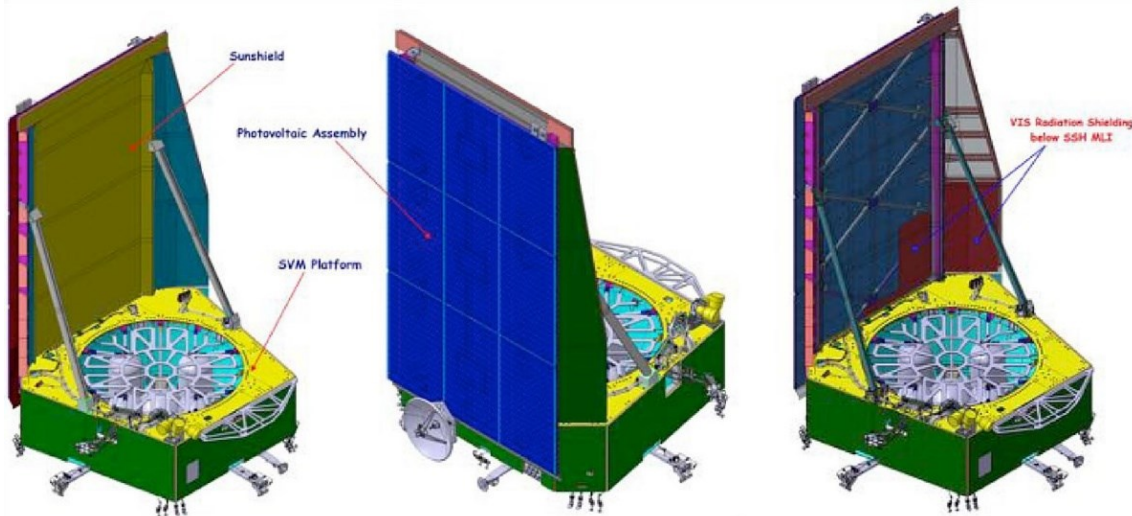
Fonte: R. Scaramella et al.: *The Euclid Wide Survey*, 2022

Euclid opererà in modalità “step-and-stare”: il telescopio viene puntato di volta in volta verso una specifica posizione del campo d'osservazione; successivamente, vengono effettuate le misurazioni fotometriche e spettrometriche su un'area pari a circa $0,5 \text{ deg}^2$ attorno a questa posizione, prima che il telescopio venga riposizionato in un'altra direzione

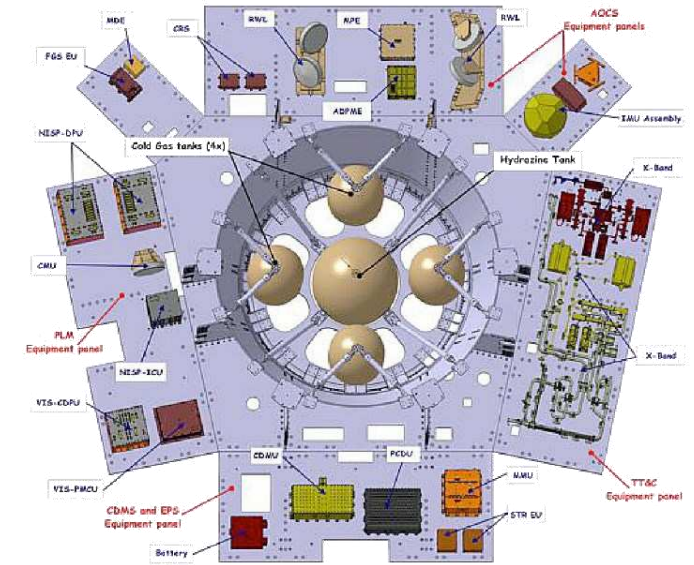
Service Module (SVM)

È composto da una struttura ad esagono irregolare, costruita attorno ad una cavità a tronco di cono che ospita i serbatoi di propellente ed offre il supporto meccanico per il fissaggio del PLM e dell'adattatore SVM-lanciatore. All'esterno di questa struttura sono fissati i propulsori ad idrazina ed azoto, una antenna ad high-gain, tre antenne low-gain ed i sensori solari.

Il sun shield (SSH) è formato da una struttura interna realizzata in carbon-fibre-reinforced polymers rivestita da un lato da uno strato di Multilayer Insulation (MLI) realizzato in Kapton, mentre il lato rivolto verso il Sole è ricoperto da tre pannelli fotovoltaici



Fonte: G. D. Racca et al.: *The Euclid mission design*, 2016



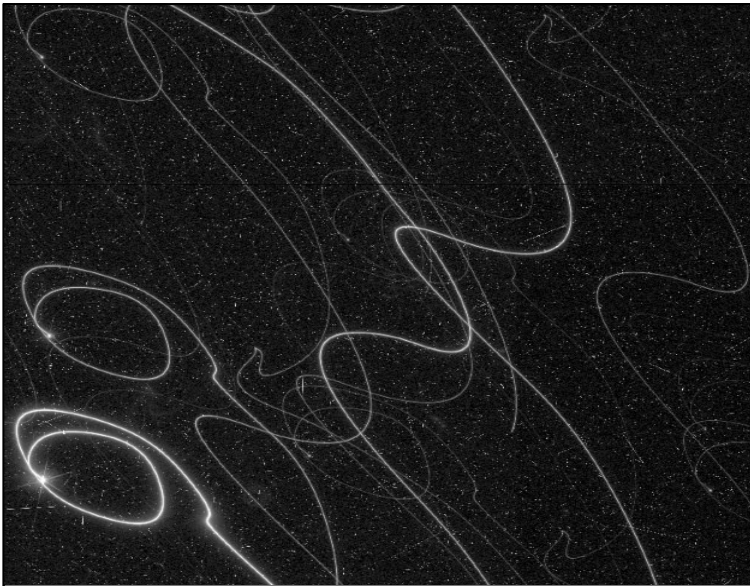
G. D. Racca et al.: *The Euclid mission design*, 2016

All'interno invece, l'SVM ospita la strumentazione di bordo in sei pannelli laterali a seconda delle loro funzioni: Telemetry and Telecommand (TT&C), Attitude and Orbit Control System (AOCS), Central Data Management System (CDMS), Electric Power System (EPS); due pannelli sono inoltre riservati agli warm electronics degli strumenti VIS, NISP ed FGS

Attitude and Orbit Control System (AOCS)

Il sistema di controllo orbitale e d'assetto è progettato per assicurare un Relative Pointing Error (RPE) pari a 0,075 arcsec per un tempo d'esposizione di 700 secondi ed un Absolute Pointing Error (APE) pari a 7,5 arcsec. Esso è composto da:

- Fine Guidance Sensor (FGS)
- Momentum wheel
- 12 micro-propulsori a gas freddo
- 4 reaction wheels
- 2 gruppi ridondanti di 10 propulsori ad idrazina
- 3 sensori Star Tracker (STR)



Durante la fase di commissioning si sono presentati dei problemi con il funzionamento dell'FGS, poiché le condizioni ambientali del punto L2 sono risultate diverse da quelle previste, in particolare per quanto riguarda il radiation environment

Il numero inaspettato di raggi cosmici che colpisce Euclid durante la sua orbita halo causava nei sensori dell'FGS l'insorgenza di "falsi" segnali simili a stelle che impedivano il corretto funzionamento dello strumento. Il problema è stato prontamente risolto grazie all'installazione di una software patch

Electric Power System (EPS) e Central Data Management System (CDMS)

Gli strumenti ed i componenti del satellite sono alimentati in corrente continua a 28 V dalla Power Conditioning and Distribution Unit (PCDU), attraverso linee elettriche schermate. La PCDU alimenta anche le unità termiche e gli attuatori pirotecnici, oltre a controllare il regime di carica e di scarica dell'accumulatore agli ioni di litio (Li-ion), progettato per fornire una potenza massima di 419 W. I tre pannelli fotovoltaici che ricoprono il sun shield forniscono una potenza che oscilla tra 1780 W e 2430 W

La Command and Data Management Unit (CDMU) garantisce le funzioni di comando, controllo e data processing. Il modulo processore è basato su un microprocessore general-purpose space qualified (LEON-FT) con un potere computazionale minimo di 40 MIPS e 5 MFLOPS. Due moduli processori sono integrati in un'unica unità single-failure tolerant

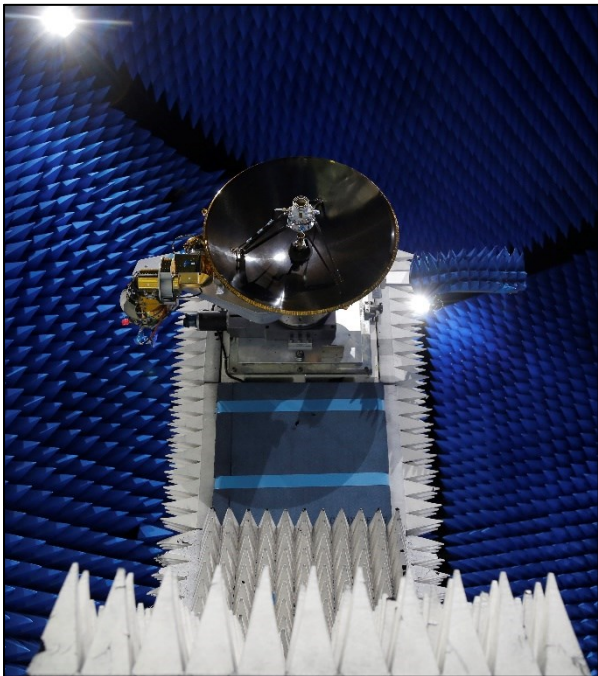
La Mass Memory Unit (MMU) di bordo possiede una capacità pari a 4 Tbit in condizioni EoL (End of Life), sufficiente ad immagazzinare i dati prodotti in 72 ore di osservazioni scientifiche e le informazioni telemetriche relative a 20 giorni di operazioni satellitari. I comandi ed i dati telemetrici vengono raccolti e distribuiti attraverso due bus MIL-STD-1553 standard e da collegamenti SpaceWire seguendo il CCSDS File Delivery Protocol (CFDP)



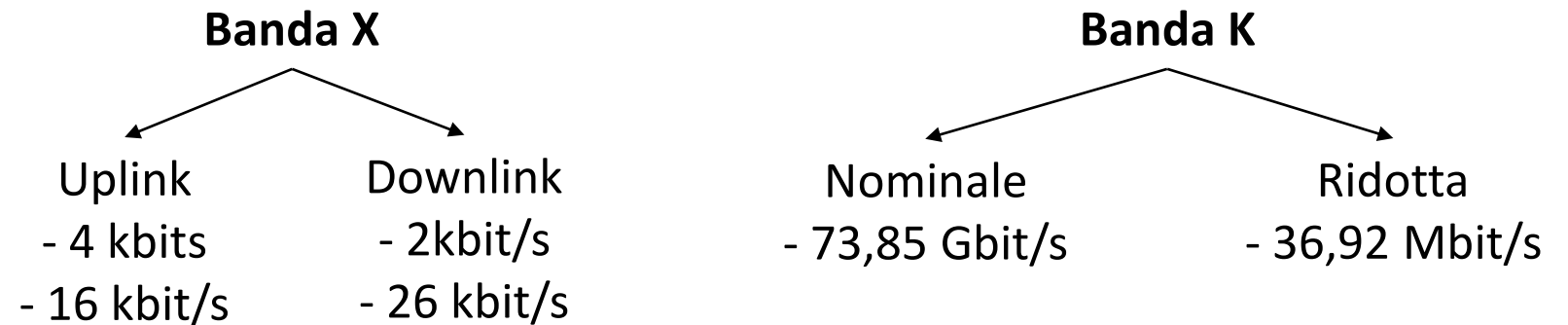
Telemetry and Telecommand (TT&C)

L'architettura del sistema TT&C è basata su due sezioni indipendenti: una in banda X (8÷8,4 GHz) che viene utilizzata per il telecomando, il monitoraggio e l'housekeeping del satellite ed una in banda K (25÷27 GHz) impiegata nelle funzioni di telemetria ad alta velocità

Le trasmissioni in banda K vengono effettuate tramite l'utilizzo di una High Gain Antenna (HGA) di 70 cm di diametro. Le trasmissioni in banda X vengono invece effettuate tramite tre Low Gain Antennas (LGAs) con copertura emisferica.



Fonte: Thales Alenia Space Italy



La configurazione standard per la trasmissione prevede che i dati telemetrici e relativi al CFDP vengano trasmessi attraverso la connessione in banda X per assicurare il corretto trasferimento dei dati da terra anche in condizioni meteo sfavorevoli, mentre lo scopo principale della banda K rimane il download della imponente mole di dati scientifici raccolti.

Ground Segment

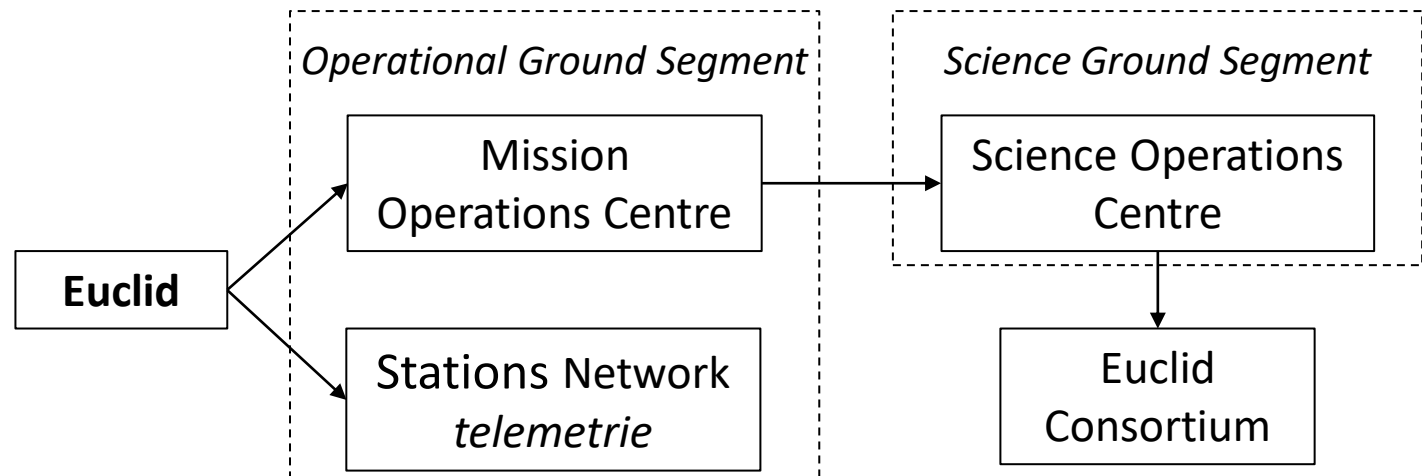
Si è optato per un concetto che minimizzi il costo delle operazioni: il satellite opera infatti autonomamente per la maggior parte delle operazioni di commissioning e di osservazione ed è in grado di effettuare azioni correttive in caso di anomalie, senza la necessità di essere in collegamento con il ground segment.

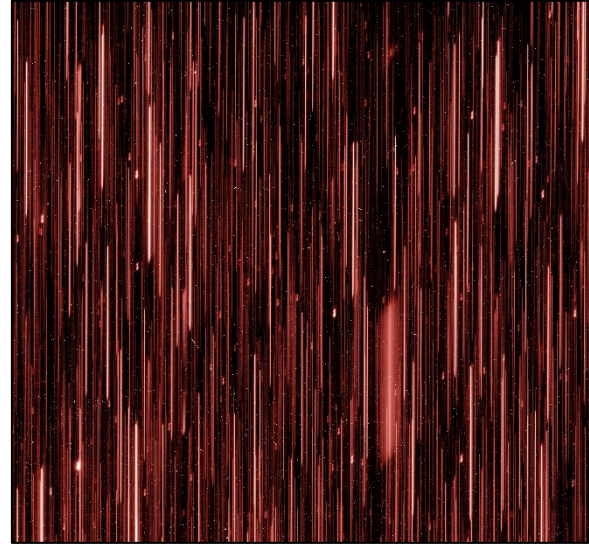
Durante il lancio e le prime operazioni, il network di stazioni terrestri era composto dall'antenna da 15 metri del Centro spaziale di Kourou e dalle antenne da 35 metri delle stazioni di New Norcia in Australia e Cebreros in Spagna. Per tutte le operazioni successive verranno utilizzate le antenne da 35 metri della stazione di Cebreros e della stazione di Malargue in Argentina, entrambe equipaggiate con ricevitori in banda K.



Fonte: ESA

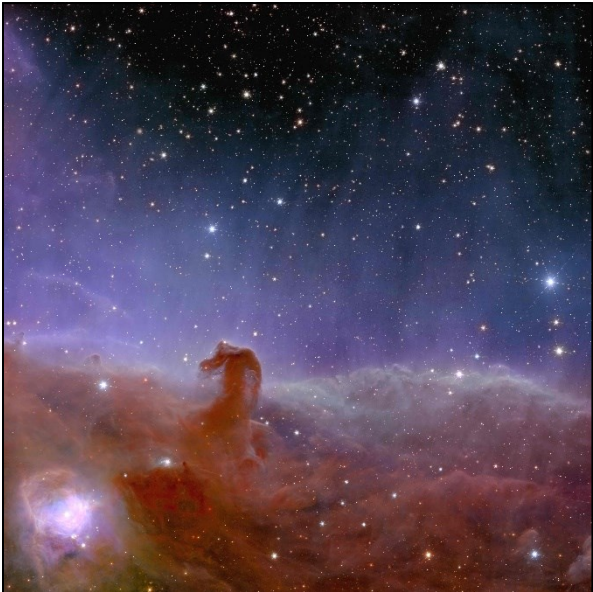
Per tutte le stazioni il periodo utile per le comunicazioni è pari a 4 ore, mentre il resto del giorno il satellite opera in modalità autonoma.





Fonte: ESA/Euclid/Euclid
Consortium/NASA,
CC BY-SA 3.0 IGO

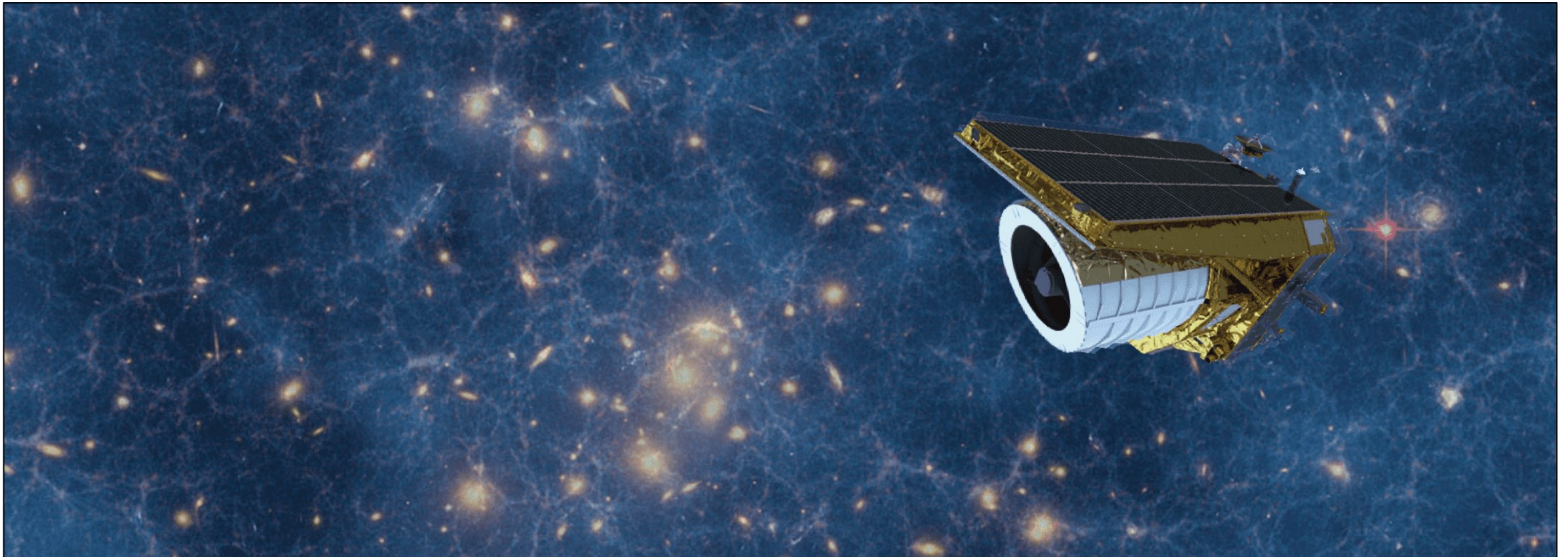
www.dii.unipd.it



Fonte: ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, image processing by J.-C. Cuillandre (CEA Paris-Saclay), G. Anselmi, CC BY-SA 3.0 IGO

Il contributo fornito da Euclid alla conoscenza dell'universo rimane in continua evoluzione. Mentre viene conclusa questa relazione, il mondo scientifico guarda con entusiasmo alle future scoperte e all'ulteriore avanzamento delle frontiere della scienza e dell'esplorazione spaziale.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



- <https://sci.esa.int/web/euclid>
- <https://www.euclid-ec.org/> *Consorzio Euclid*
- [https://www.esa.int/Science Exploration/Space Science/Euclid](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Euclid)
- <https://euclid.cnes.fr/en/home-26>
- <https://www.eoportal.org/satellite-missions/euclid>
- R. Laureijs et al.: *Euclid Definition Study Report*, 2011
- G. D. Racca et al.: *The Euclid mission design*, 2016
- R. Scaramella et al.: *The Euclid Wide Survey*, 2022