

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Fisica e Astronomia 'Galileo Galilei'
Corso di Laurea in Astronomia

LA MISSIONE DART AL SISTEMA BINARIO DIDYMOS

Relatrice

Prof.ssa Monica Lazzarin

Correlatrice

Dott.ssa Fiorangela La Forgia

Laureando

Gabriele Bertinelli

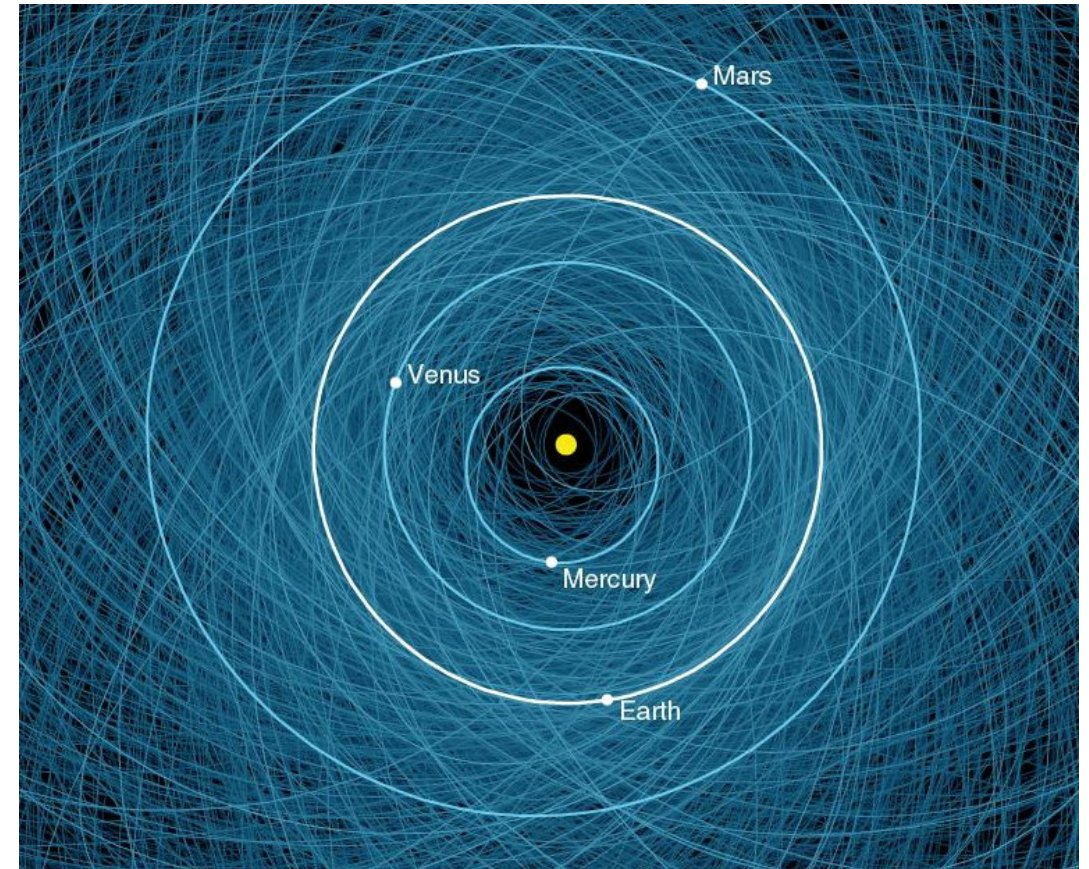
La missione DART

- Primo test in scala reale di un sistema per la difesa planetaria da **Potentially Hazardous Asteroids (PHA)**
- Ritorno astrofisico sulla formazione ed evoluzione dei **sistemi binari** di asteroidi
- Estensiva campagna osservativa in-situ con la futura missione **Hera**



Potentially Hazardous Asteroids

- Categoria di oggetti tra i Near Earth Objects (NEO)
- Oggetti:
 - minima distanza all'intersezione con l'orbita terrestre è inferiore a **0.05 AU** (~7.500.000 km)
 - magnitudine assoluta $H < 22$
 - diametro > **150 metri**
- Un loro impatto con la Terra causerebbe eventi catastrofici su larga scala, anche globale (es. evento di Cheljabinsk del 2013 – oggetto di 20 metri)
- È necessaria una **tecnologia anti-collisione**



Orbite dei PHA conosciuti. (NASA/JPL)

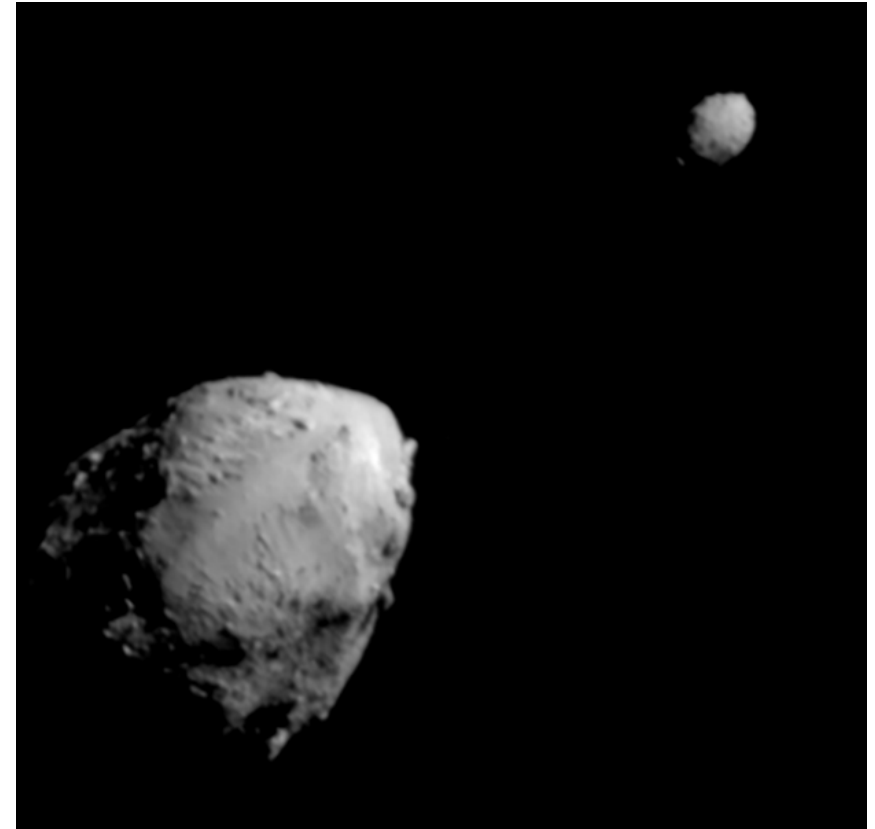
La missione DART

- Primo test in scala reale di un sistema per la difesa planetaria da **Potentially Hazardous Asteroids (PHA)**
- Ritorno astrofisico sulla formazione ed evoluzione dei **sistemi binari** di asteroidi
- Estensiva campagna osservativa in-situ con la futura missione **Hera**



Sistemi binari di asteroidi

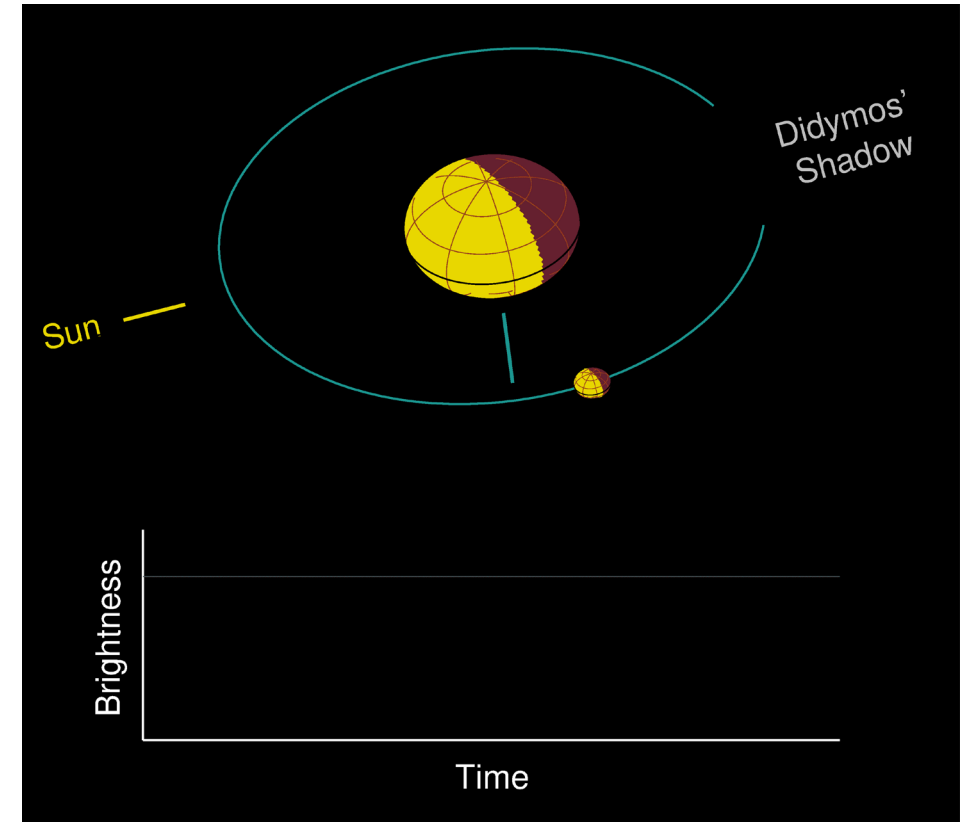
- **Frazione considerevole** della popolazione asteroidale
- Permettono di investigare **molte proprietà**:
 - proprietà fisiche
 - struttura interna
 - processi di formazione ed evoluzione, spesso **difficili da investigare con altri mezzi**



Sistema binario Didymos visto a 920 km dalla sonda DART. (NASA/JHU-APL)

Osservazioni fotometriche

- Serie temporale di misurazioni della **brillanza totale** di un sistema asteroidale
- Basata sul fatto che le componenti di un sistema possono oscurare o proiettare un'ombra l'una sull'altra, producendo **occultazioni** o **eclissi** rispettivamente
- Metodo utilizzato sia per scoprire possibili secondari che per stimare il **periodo orbitale** del secondario



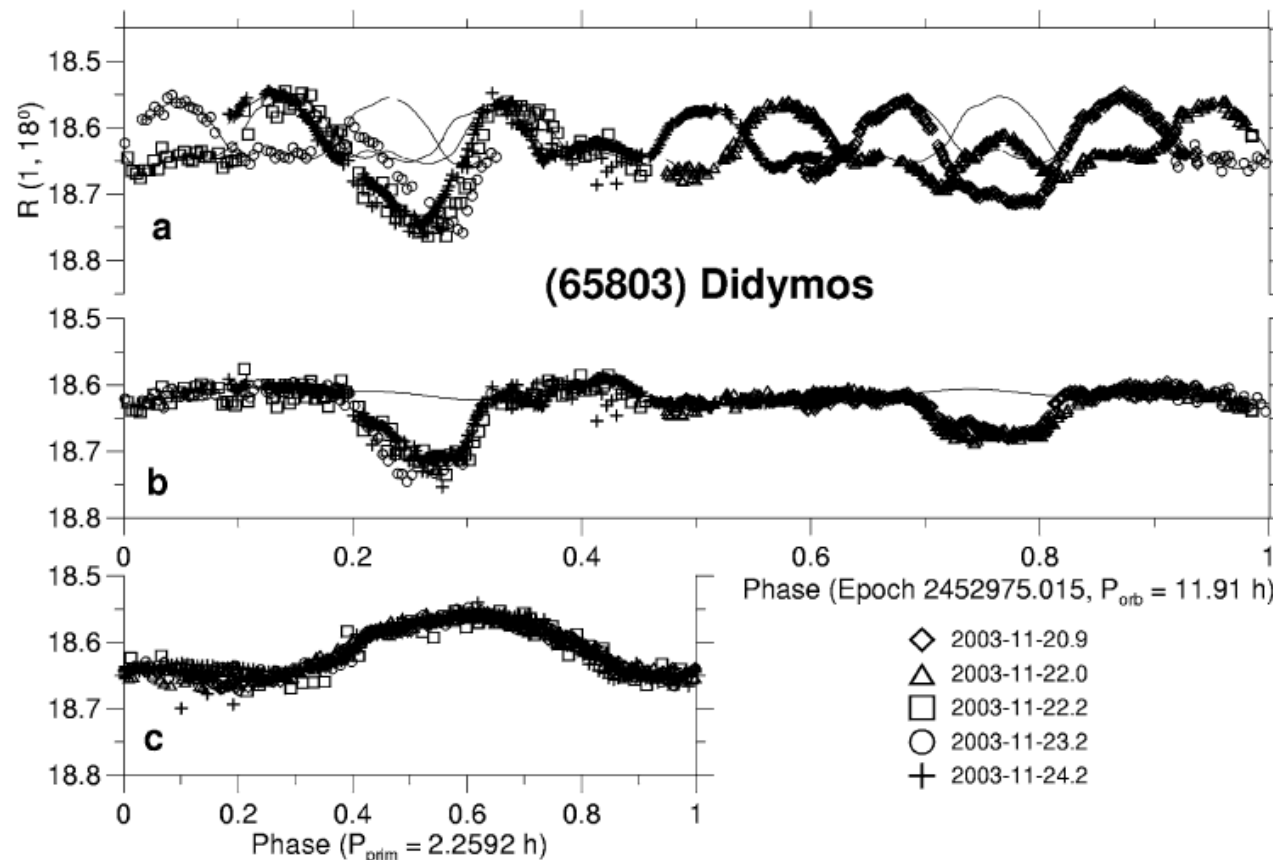
Animazione che mostra come è generata la curva fotometrica del sistema Didymos osservata da Terra. (NASA/APL)

Osservazioni fotometriche

- a. Curva fotometrica di entrambe le componenti
- b. Curva fotometrica della componente orbitale, dopo la sottrazione della brillantezza del primario. Si notano gli eventi di eclissi mutua.

- c. Curva di luce del primario

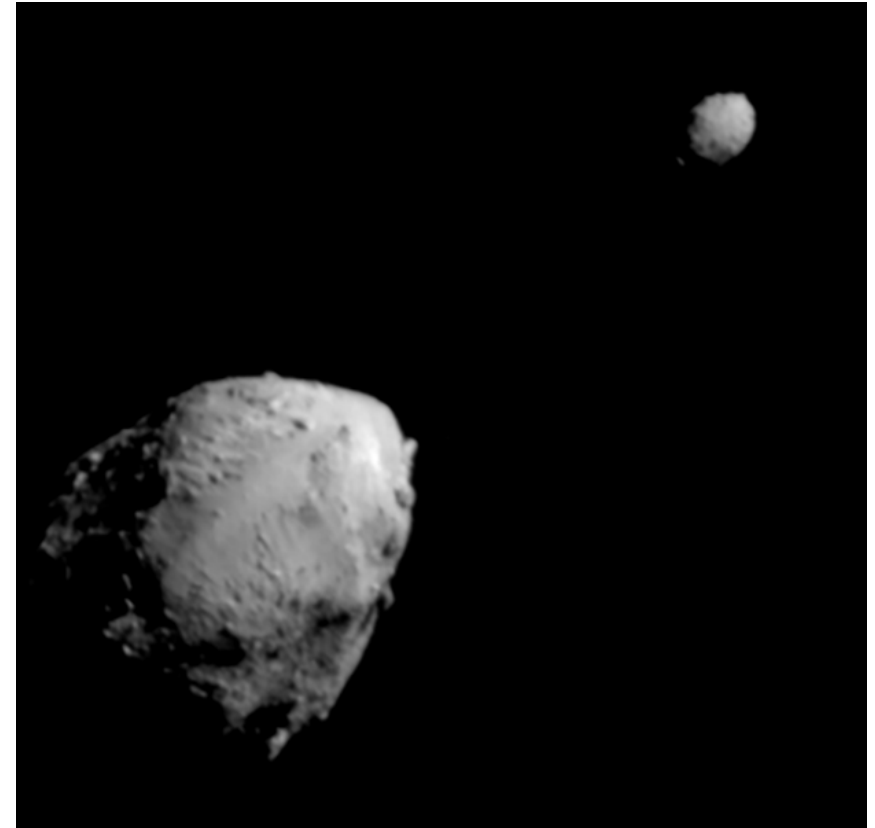
Le curve di luce sono state utilizzate per stimare il periodo orbitale (**pre-impatto**): 11.92 ore; e il periodo di rotazione del primario: 2.26 ore.



Curva di luce di Didymos pre-impatto ottenuta con i dati raccolti nel novembre 2003. (Pravec et al., 2006)

Il sistema Didymos

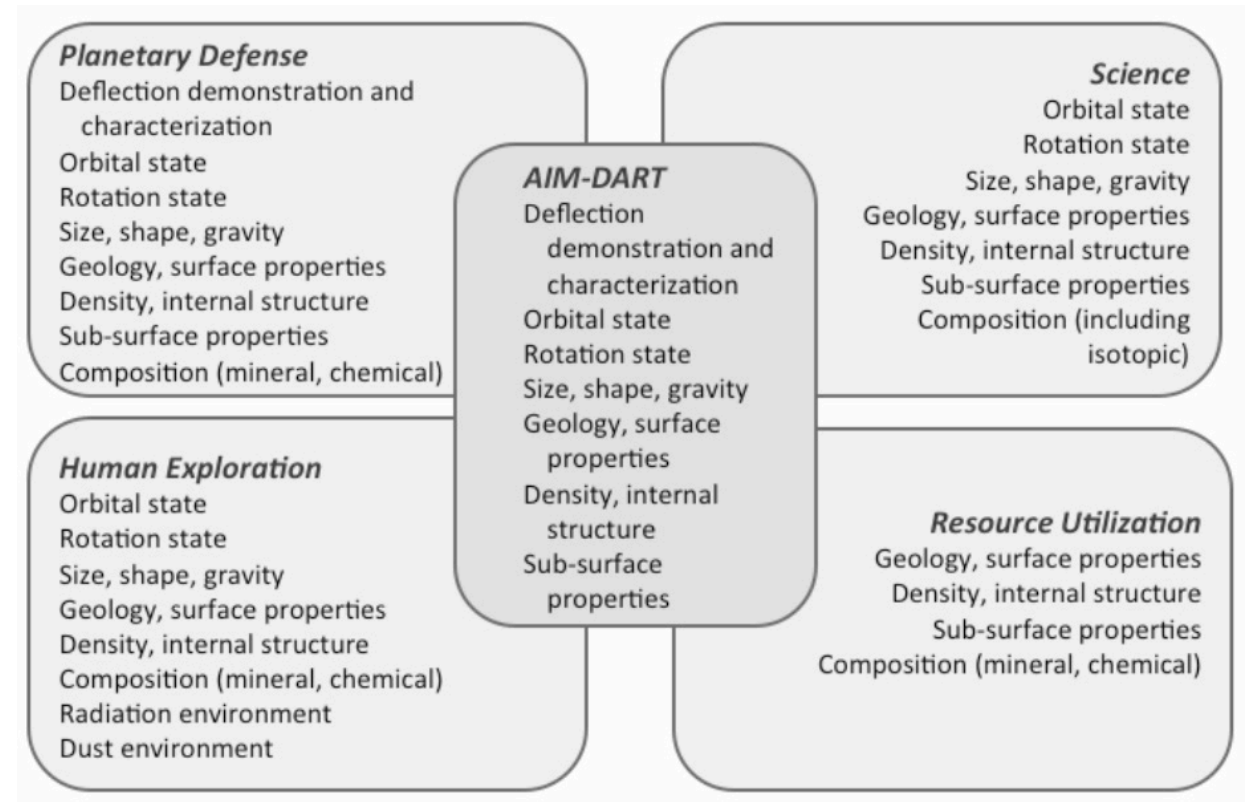
- **Didymos** è stato scoperto nel 1996
- Nel novembre 2003 viene scoperto il suo satellite naturale **Dimorphos**
- Dal 2003 al 2022 estensa campagna osservativa, in particolare per stimare il periodo orbitale
- **Caratteristiche:**
 - Diametro Didymos: 780 ± 30 m
 - Diametro Dimorphos: 171 ± 11 m
 - Semiasse maggiore: 1.19 ± 0.03 km
 - Periodo orbitale: **11.92 ore**
 - Classificazione tassonomica: **S-type**
 - Near Earth Object (famiglia Apollo)



Sistema binario Didymos visto a 920 km dalla sonda DART. (NASA/JHU-APL)

Didymos come obiettivo della missione DART

- Ragioni ingegneristiche
- Diametro di Dimorphos (>150 m) lo rende paragonabile agli oggetti classificati come PHA
- La misurazione della variazione di periodo del satellite attorno al primario è **più immediata**



Ritorno scientifico e tecnologico dovuto alle missioni DART e Hera.
(Michel et al., 2016)

Il test

- **L'impatto** su Dimorphos è avvenuto il 27/09/2022
- 2 minuti e 45 secondi dopo l'impatto **LICIACube** ha compiuto un flyby di Dimorphos a 56.7 km



Sequenza di immagini ottenute da DART durante l'avvicinamento a Dimorphos. (NASA/JHU-APL)

Campagna osservativa post-impatto

La strumentazione a bordo della sonda era ridotta al minimo → la missione dipende quasi interamente sui dati raccolti dagli **osservatori** terrestri e spaziali nei mesi seguenti.

In aggiunta ai dati ottenuti dalla sonda DART in avvicinamento e dal cubesat LICIACube.



Sequenza di immagini ottenute da LICIACube dopo l'impatto. (ASI/NASA)

Campagna osservativa post-impatto

Possiamo riferirci ai soli **risultati preliminari**, poiché i lavori con i primissimi risultati sono stati da poco sottomessi alle maggiori riviste scientifiche internazionali.

Dallo spazio il **JWST** e l'**HST** hanno osservato il sistema prima e dopo l'impatto, nell'IR e nel VIS rispettivamente.

- JWST fornirà dati spettroscopici per studiare la **composizione**
- HST fornirà informazioni sull'evoluzione della nube di **detriti**

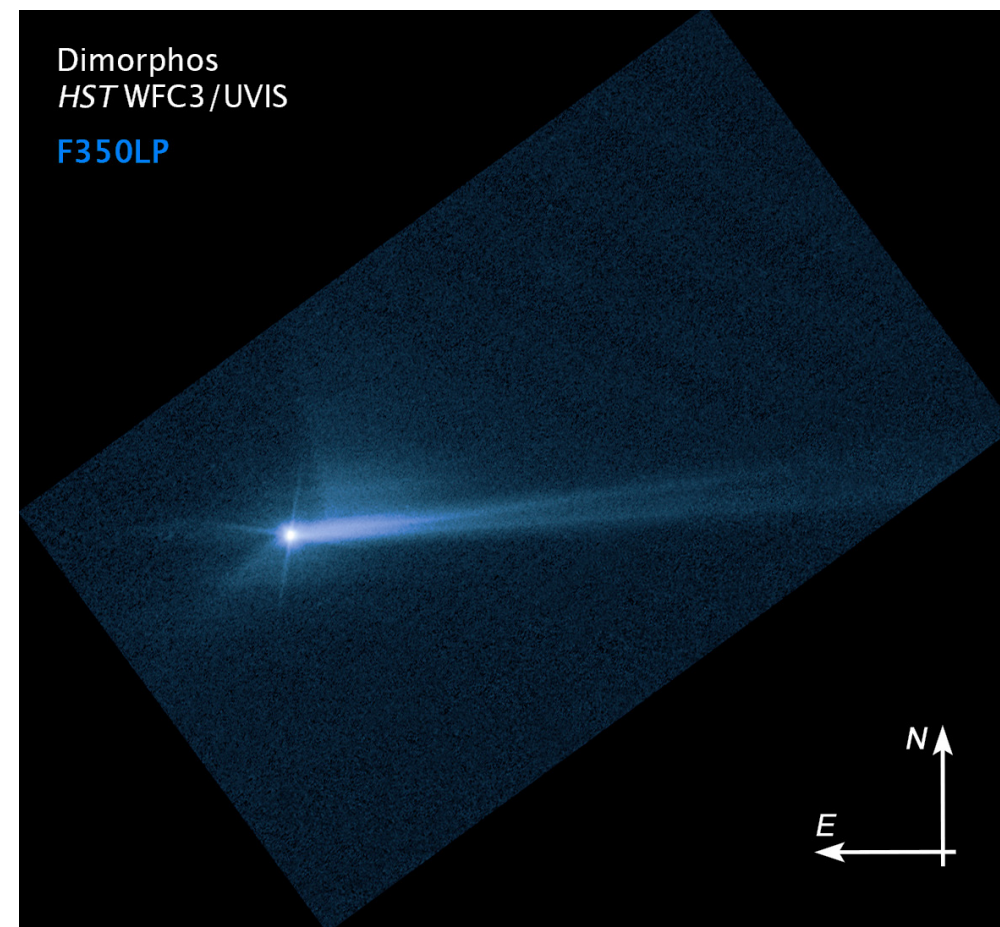


Immagine ottenuta da HST l'8 ottobre 2022. Si nota la coda di detriti che si estende per più di 1000 km.
(NASA/ESA)

Campagna osservativa post-impatto

Il risultato preliminare più importante arriva dall'analisi dei dati **fotometrici**:

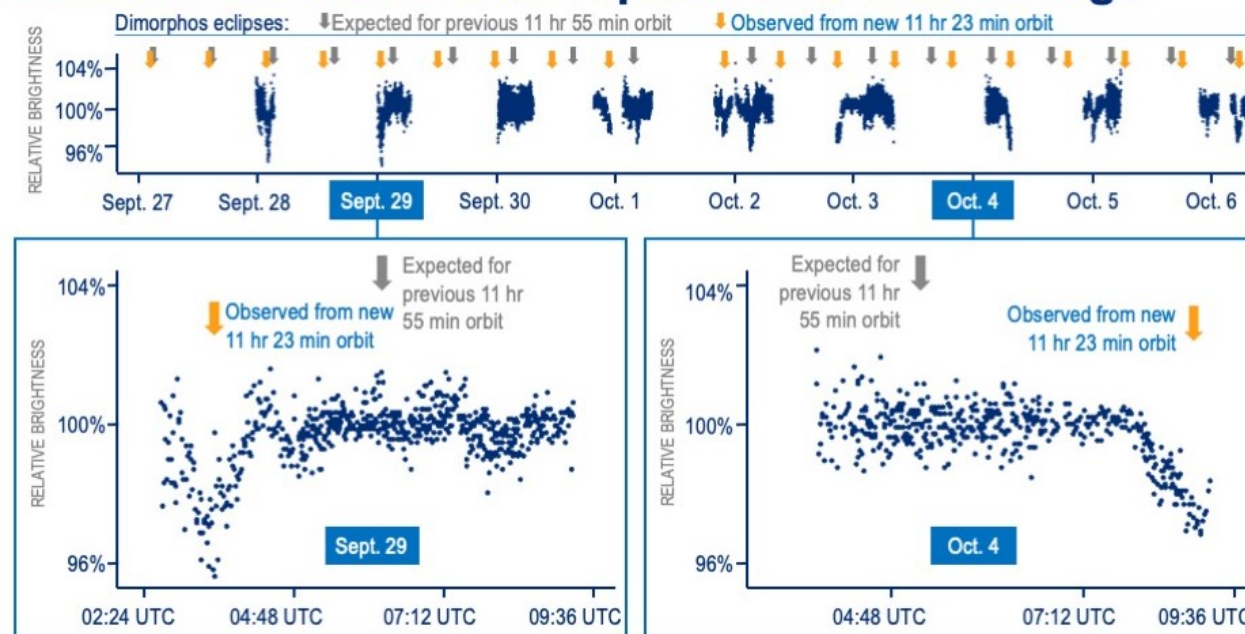
- Il periodo orbitale pre-impatto era di 11 ore e 55 minuti
- Il nuovo periodo orbitale pare essere di 11 ore e 23 minuti

⇒ variazione del periodo orbitale di

32±2 minuti

Un risultato più di 25 volte superiore alle aspettative.

Observations after DART impact show orbit change

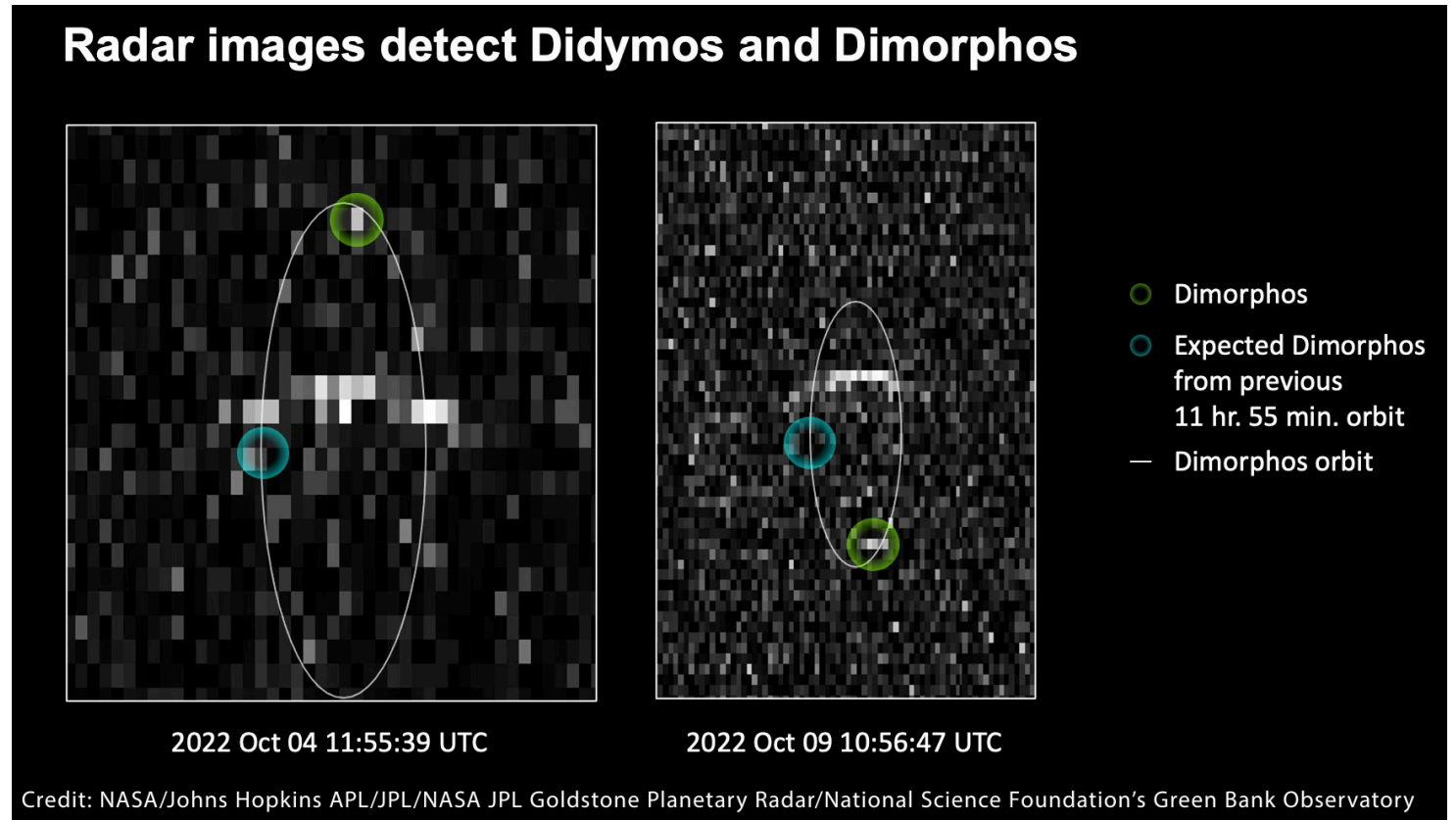


Credit: NASA/Johns Hopkins APL/Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic/Lowell Observatory/UPL/Las Cumbres Observatory/Las Campanas Observatory/European Southern Observatory Danish (1.54-m) telescope/University of Edinburgh/The Open University/Universidad Católica de la Santísima Concepción/Seoul National Observatory/Universidad de Antofagasta/Universität Hamburg/Northern Arizona University

Curva fotometrica post-impatto ottenuta tramite dati raccolti da molteplici osservatori terrestri.
(NASA/JHU-APL/et al.)

Campagna osservativa post-impatto

La conferma della presunta
variazione del periodo orbitale
arriva anche dalle osservazioni
radar.



Immagini radar ottenute dall'osservatorio di Goldstone e dal Green Bank Observatory
(NASA/JHU-APL/et al.)

Osservazioni da Asiago

Durante le notti del 17, 18, 19 ottobre ho contribuito a raccogliere **dati spettroscopici** del sistema.

I dati dovranno essere ridotti con molta cura per poter escludere **bias** o errori dovuti a:

- inseguimento dell'asteroide
- valore di airmass elevato

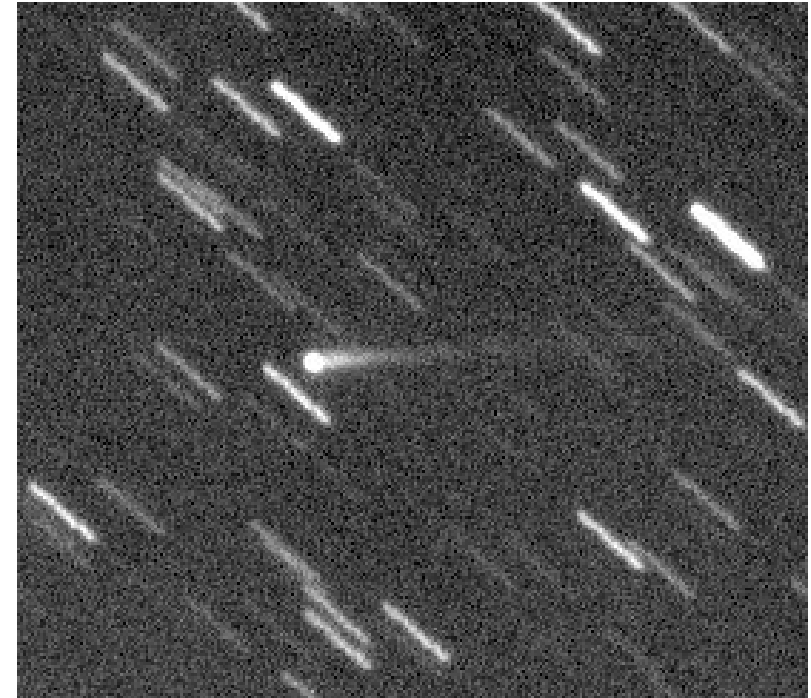


Immagine di Didymos ottenuta con il telescopio Copernico dell'OAPd.
(INAF/OAPd)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Fisica e Astronomia 'Galileo Galilei'
Corso di Laurea in Astronomia

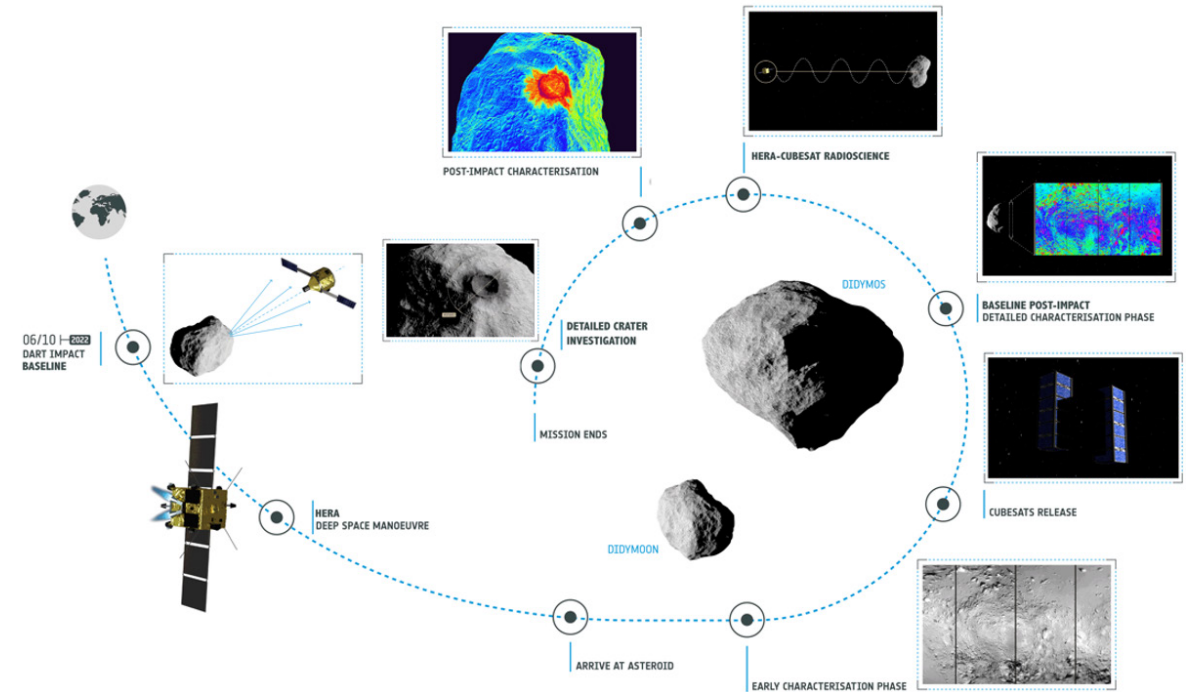
La missione DART

- Primo test in scala reale di un sistema per la difesa planetaria da **Potentially Hazardous Asteroids (PHA)**
- Ritorno astrofisico sulla formazione ed evoluzione dei **sistemi binari** di asteroidi
- Estensiva campagna osservativa in-situ con la futura missione **Hera**



La missione Hera

- Lancio previsto nell'ottobre 2024
- Arrivo in orbita al sistema nel 2026
- Obiettivi:
 - valutare **efficacia** impattatore cinetico:
 - quanto il trasferimento di momento dipenda da: densità, porosità, caratteristiche superficiali e interne
 - % energia cinetica trasferita nella frammentazione e % energia cinetica trasformata in energia cinetica dei frammenti
 - raccogliere informazioni sulle **caratteristiche** superficiali, porosità e struttura interna
 - **mappare** l'intera superficie e la struttura interna
 - studio dell'evoluzione della **nube di detriti**



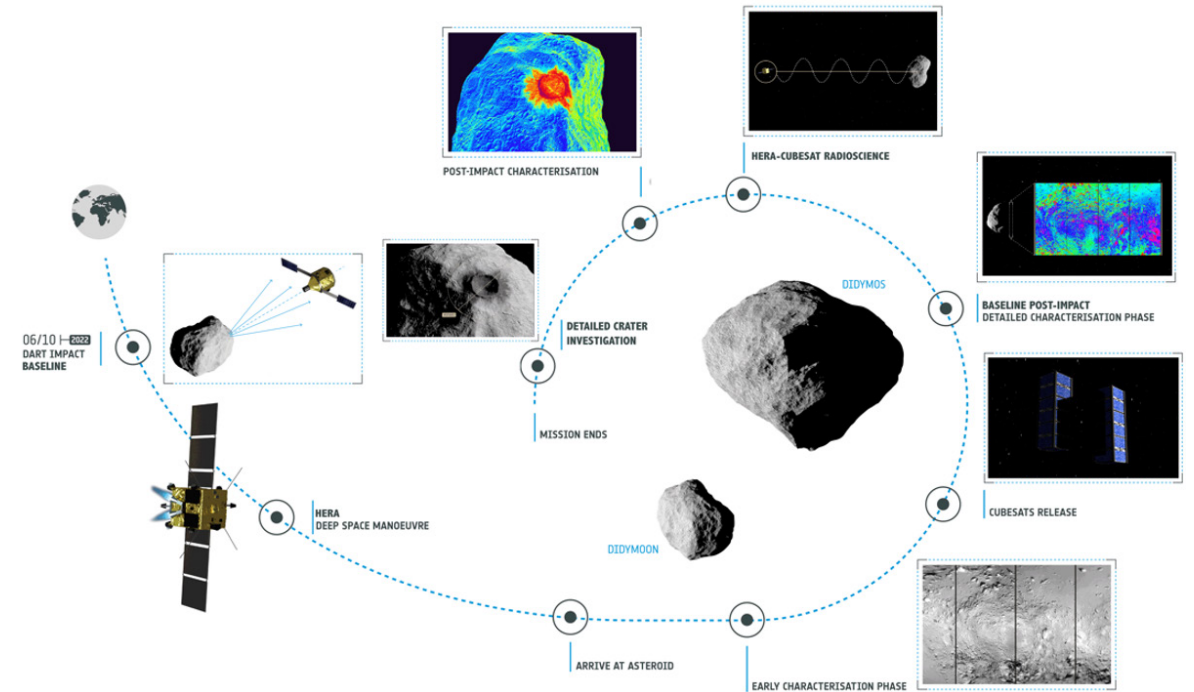
Timeline della missione Hera. (ESA)

La missione Hera

Lo studio degli asteroidi binari è fondamentale per la comprensione della loro **evoluzione** e dei processi che li modificano: space weathering, collisioni, incontri planetari, effetto Yarkovsky, ecc.

Queste informazioni saranno utili per ampliare la nostra conoscenza sulla formazione ed evoluzione del **Sistema Solare** stesso.

Lo studio della loro evoluzione dinamica, struttura e composizione consentirà di poter individuare i migliori metodi per la **difesa planetaria**.



Timeline della missione Hera. (ESA)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Fisica e Astronomia 'Galileo Galilei'
Corso di Laurea in Astronomia