

VELA e

...SPAZZIO

Vele Spaziali Solari



SOMMARIO

Vele Solari: Come spostarsi nello spazio utilizzando il sole



Storia

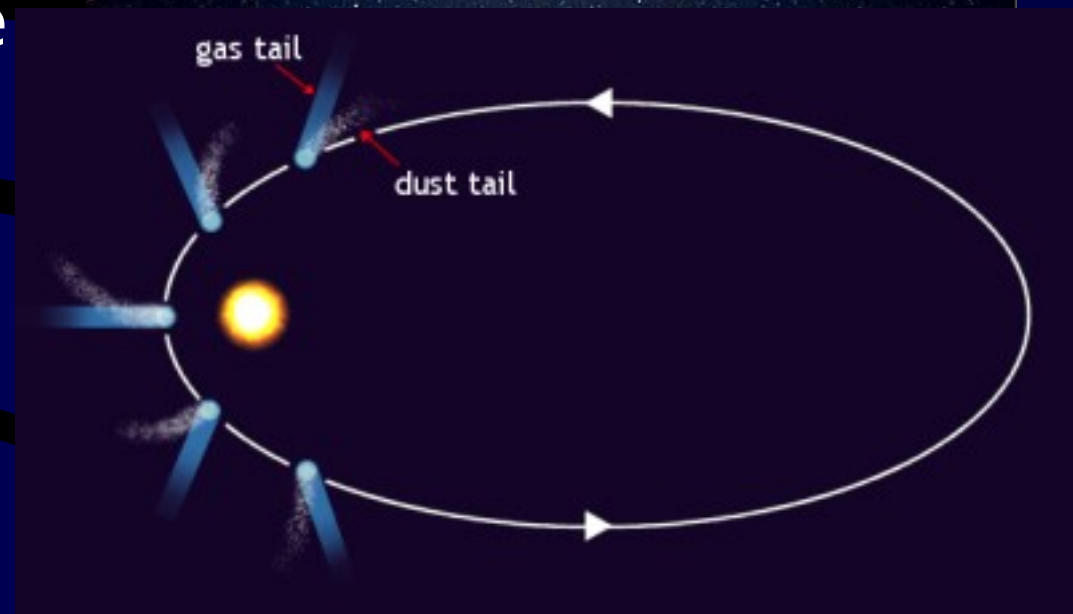
Primi Tentativi

Teoria (fisica)

Progetti Futuri

STORIA

- 1619 Keplero osserva coda comete
 - coda opposta al sole
 - ipotesi “vento”
- 1873 James Clerk Maxwell dimostra pressione radiazione



STORIA

- 1889 scrittori francesi Faurè e Graffigny immaginano vascello con “enorme specchio”
- 1924 Tsilkovsjy e Tsander studiano possibilità utilizzo pressione solare
- 1958 Richard Garwin presenta studio dettagliato su vele spaziali



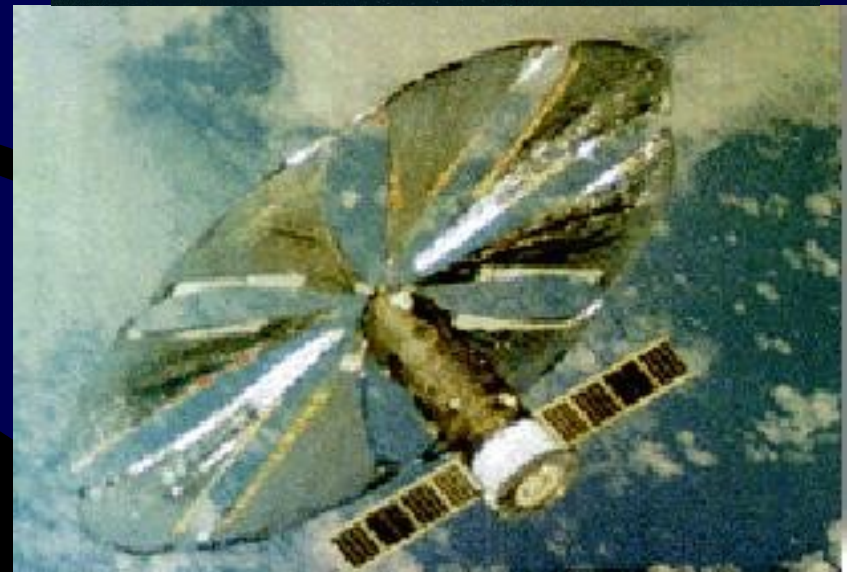
STORIA

- 1959 Ted Cotter propone “vela rotante”
- 1963 Pierre Boule immagina astronavi con vele spaziali (“Il Pianeta delle Scimmie”)
 - 2002 Star Wars: Episode II



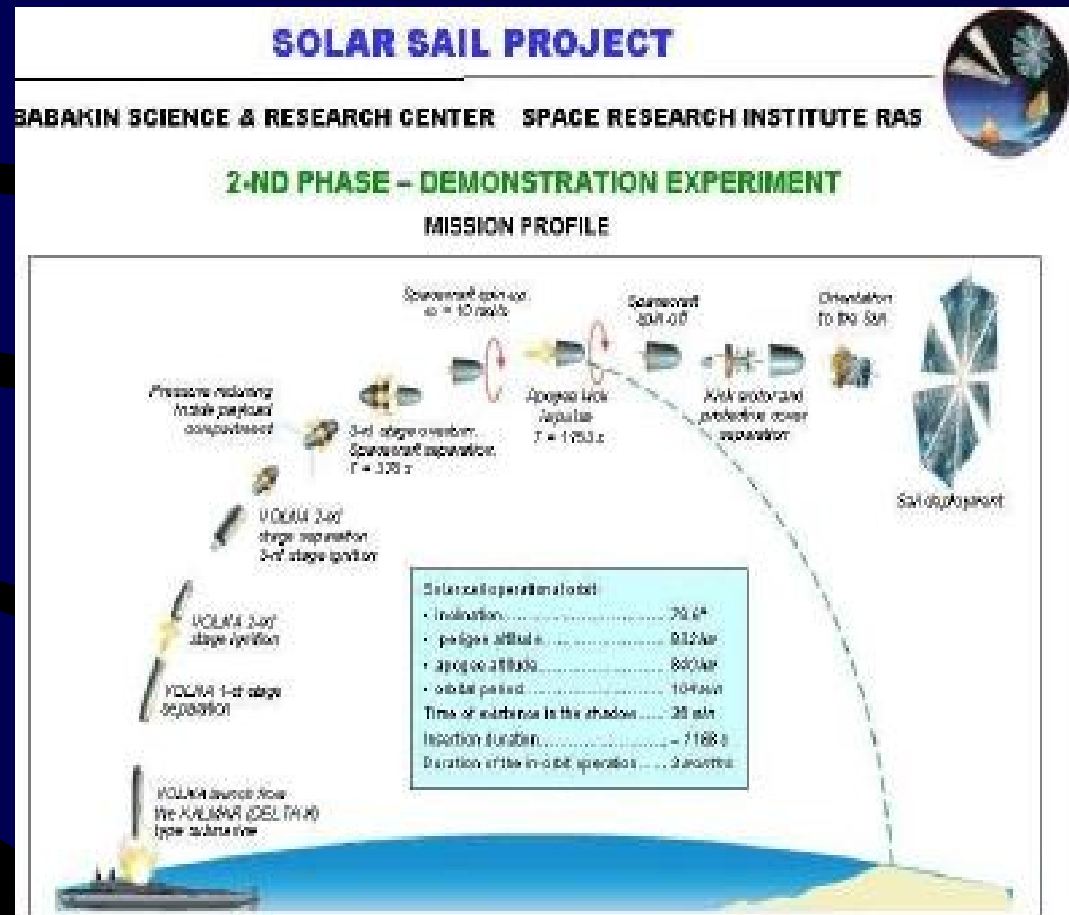
PRIMI TENTATIVI

- Mariner 10: utilizzo pannelli solari come vela per inserire in orbita
- 1993-2002 Progetto "Zamnya": vele di 20-25-60m per studiare tecniche assetto e pilotaggio

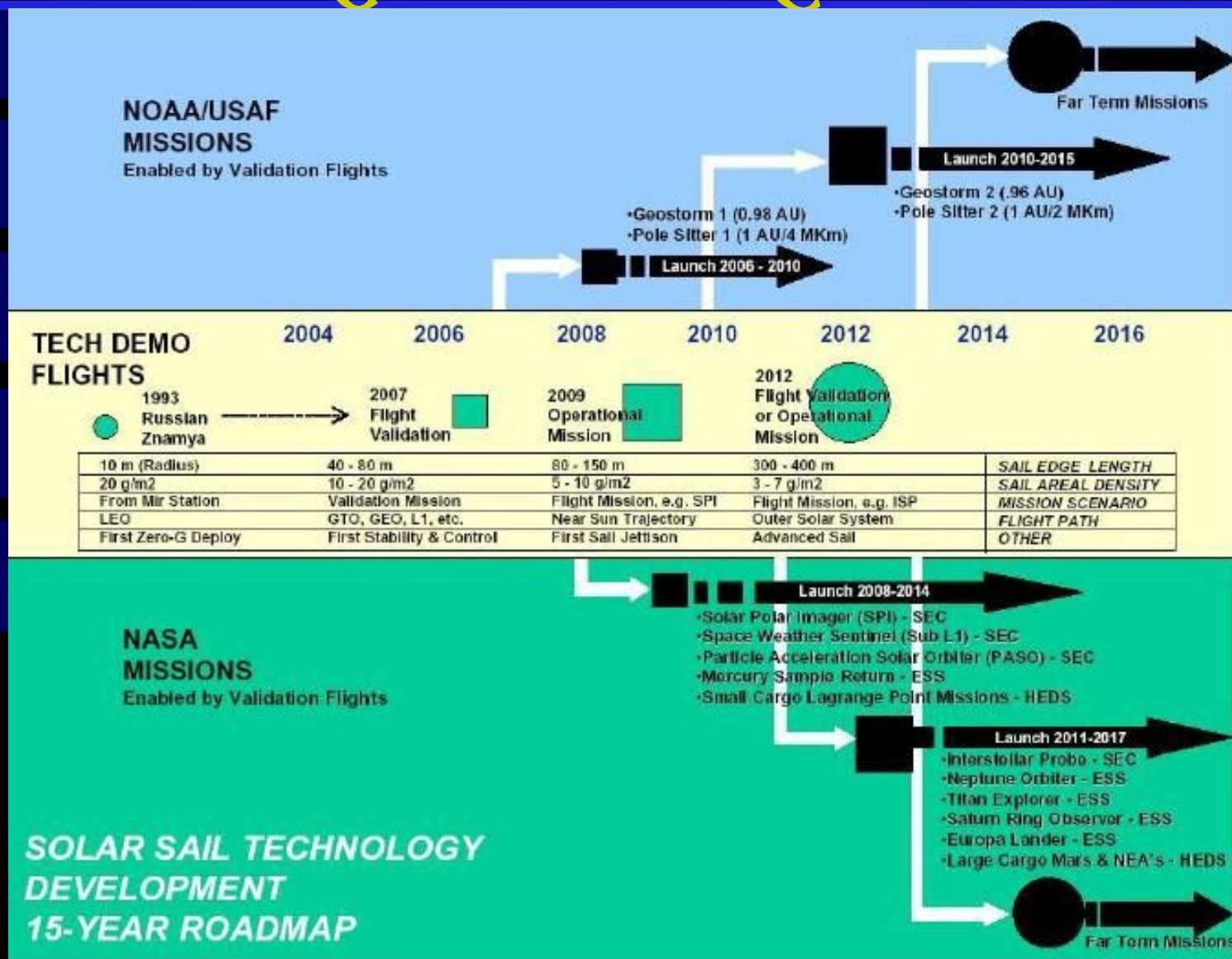


PRIMI TENTATIVI

- 2003 “Cosmos 1”
 - lanciato da sottomarino
 - orbita circolare 400 km
 - aumentare orbita con spinta vele
 - vela 30m, 100kg
 - fallito volo di prova



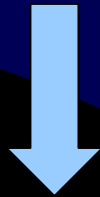
RIASSUNTO



TEORIA

- ~~Vento solare (particelle cariche espulse dal sole, es. durante brillamenti)~~

– *Radiazione solare
(fotoni)*



Il “rimbalzo” dei fotoni sulla “vela” (specchio) trasferisce energia



FISICA: Pressione di Radiazione

- Fotoni (no massa) trasportano energia $E=pc$
- Alla distanza della Terra ($1UA=149.598 \times 10^6 \text{ km}$)
flusso energia $\phi_o \sim 1400 \text{ W/m}^2$ (costante solare)

- Pressione $P = \frac{1}{S} \left(\frac{\Delta p}{\Delta t} \right) = \frac{1}{S} \left(\frac{\Delta E}{c \Delta t} \right) = \frac{\phi_E}{c}$

- Flusso energia solare $\phi_E = L_o / (4\pi r^2) = \phi_o / c (r_o/r)^2$

- Pressione(1UA) = $2 \times \phi_o / c = \sim 9.33 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$

$(1 \text{ atm} = 10^5$

$\text{N/m}^2)$

ANDAMENTO $P = \phi / c$

- $\phi_0 = \phi(r=1\text{UA}) = \sim 1400\text{W/m}^2$

Pianeti	Distanza dal Sole (semiasse maggiore dell'orbita) [UA]	Flusso Solare [W/m ²]	Pressione di radiazione solare [N/m ²]
☿ Mercurio	0.387	9134	$3.046 \cdot 10^{-5}$
♀ Venere	0.723	2617	$8.729 \cdot 10^{-6}$
♁ Terra	1	1368	$4.563 \cdot 10^{-6}$
♂ Marte	1.524	589.0	$1.965 \cdot 10^{-6}$
♃ Giove	5.203	50.53	$1.686 \cdot 10^{-7}$
♄ Saturno	9.539	15.03	$5.015 \cdot 10^{-8}$
♅ Urano	19.182	3.718	$1.240 \cdot 10^{-8}$
♆ Nettuno	30.057	1.514	$5.051 \cdot 10^{-9}$
♇ Plutone	39.75	0.8657	$2.888 \cdot 10^{-9}$

FUNZIONAMENTO

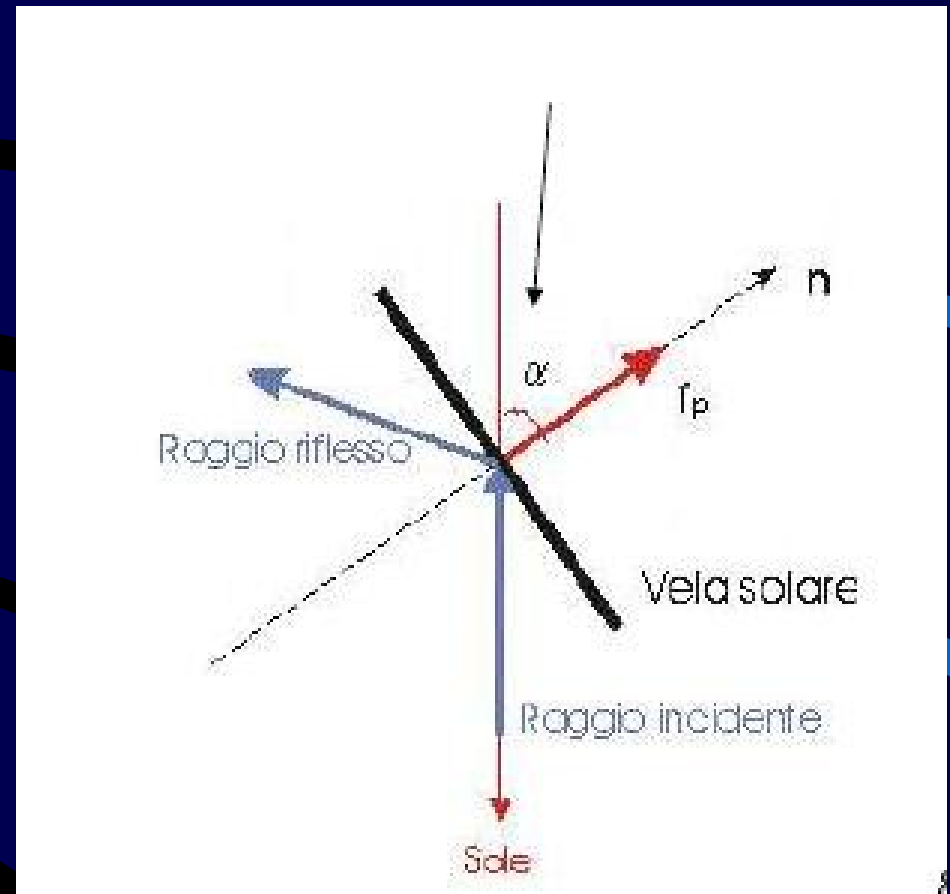
- *Riflessione*

- $f = m a$;

- $a = \text{pressione } \chi$
superficie/ massa

- $f = 2 \phi_0(r) S/m \cos^2(\alpha) n$

- f dipende da efficienza della riflessione (η)!



ESEMPIO: $m=40\text{kg}$, $S=600\text{m}^2$; $a= 1.2 \times 10^{-4}\text{m/s}^2$ ($g=9.81\text{m/s}^2$)

RIASSUNTO 1

- *Vele solari usano RADIAZIONE solare ($\sim 1/r^2$)*
- *La vela è un grande specchio*
- *Si ottengono forze “piccole”*
- *Si ottengono accelerazioni “piccole”
(ma non limitate in tempo!)*
- *La vela è caratterizzata da $\sigma = m/S$
(σ piccolo = migliore vela)*
- *La vela è caratterizzata da efficienza riflessione (η)
(più l'onda è riflessa, più la vela è buona)*

PILOTAGGIO

- *percorsi possibili: orbite eliocentriche*
(no sole = no forza)

- *Forze presenti:*

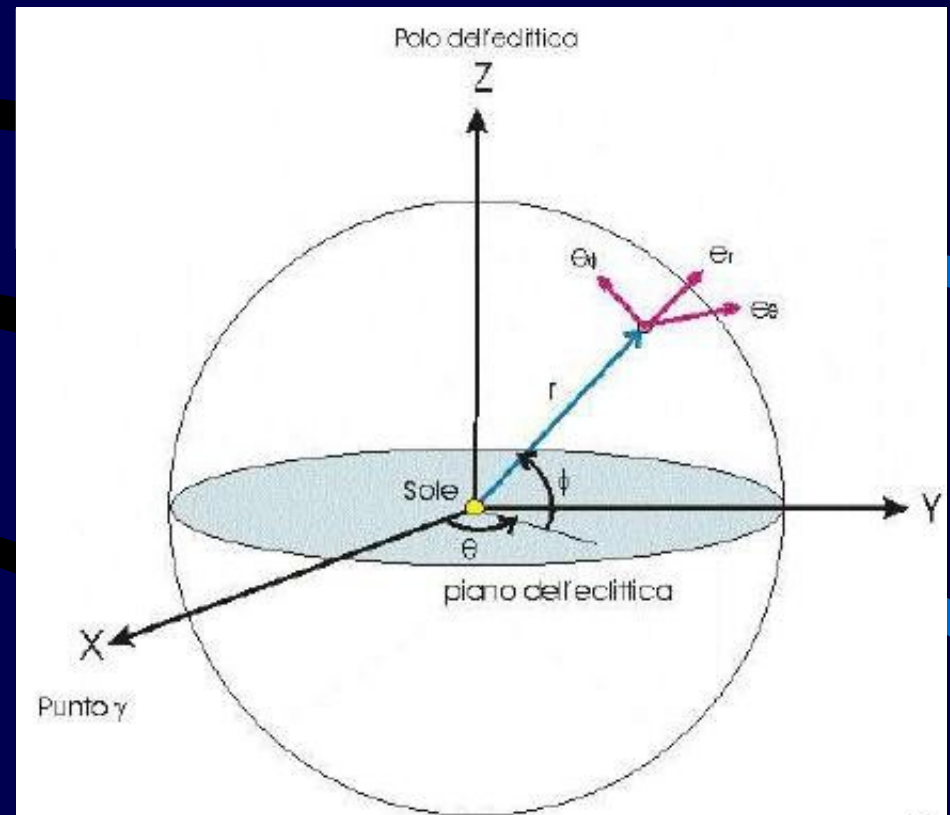
- *forza gravitazionale*

$$f_G = G mM/r^2$$

- *pressione radiazione*

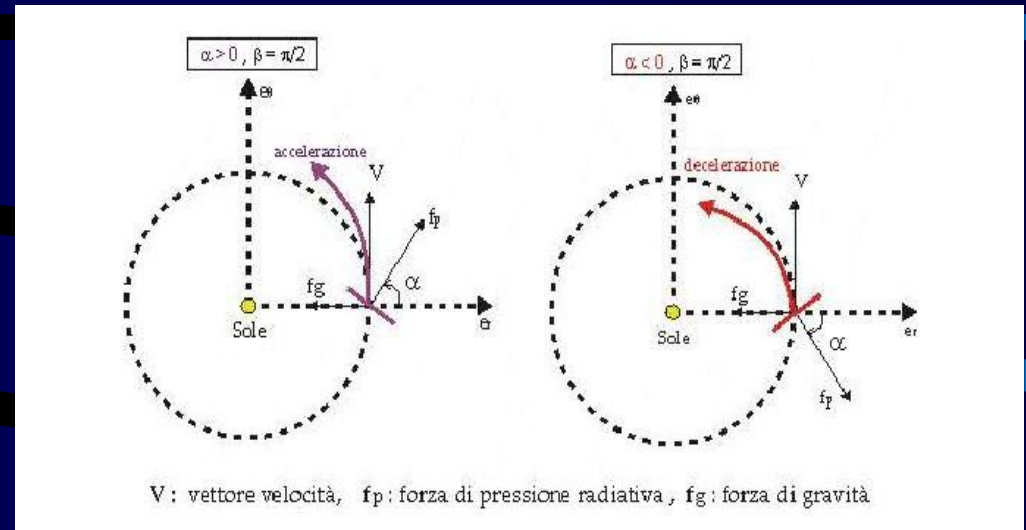
$$f_P = 2 S/m P(r) \cos^2 \alpha$$

- *perturbazioni: vento solare (trascurabile)*

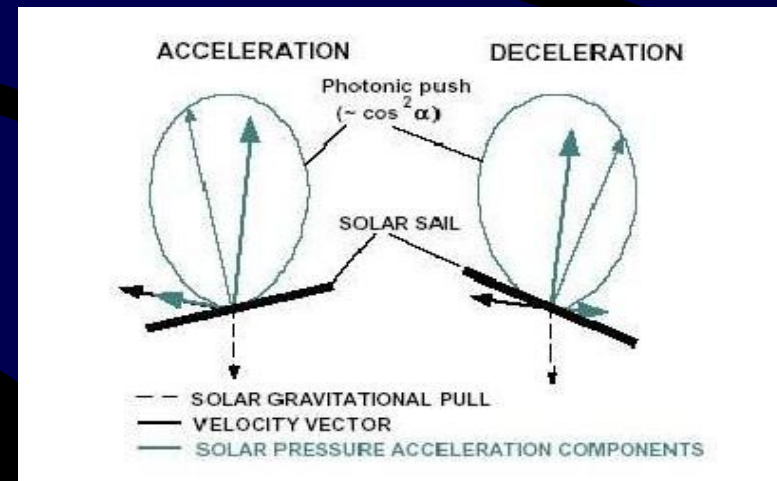


MANOVRE

- *Sul piano: variazione angolo puntamento (α)*



- *Cambio piano: variazione angolo orbita (β)*



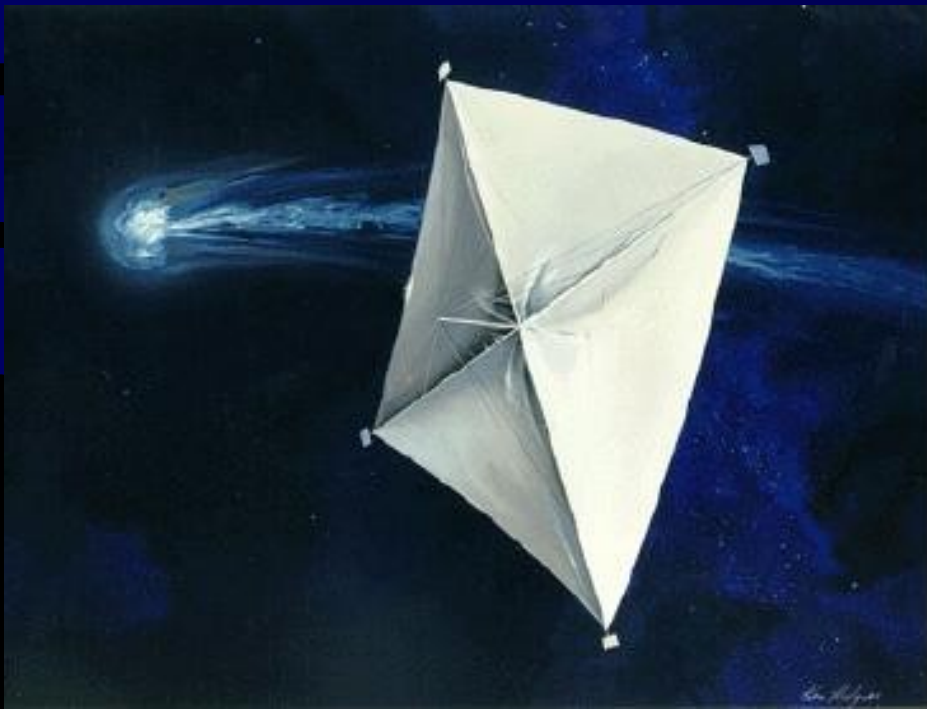
RIASSUNTO 2

- *Per manovrare una vela solare posso:*
 - *variare la superficie della vela (S)*
 - *variare in carico della vela ($\sigma = m/S$)*
 - *variare l'orientamento della vela (α)*



PROGETTI: vela Quadrata

4 pali pieghevoli sostengono le vele
il perno centrale contiene tutti i
sistemi (payload, meccanismi,..)



- *Vantaggi*

- facile modellizzare
- facile manovrabilità
- controllo assetto da cambio CdM

- *Svantaggi*

- flessione sostegni
- molto difficile piegare e spiegare le vele

PROGETTI: vela Eliogira

Pellicola divisa in sottili lamelle, la struttura girando manda in tensione "la vela"



- *Vantaggi*

- *massa ridotta (no pali)*
- *la tensione è garantita da rotazione*

- *Svantaggi*

- *difficile controllo assetto*
- *lamine tendono a deformarsi*

PROGETTI: vela a Disco

*pellicola continua fissata a bracci,
sistema in rotazione, carico al centro*



- *Vantaggi*

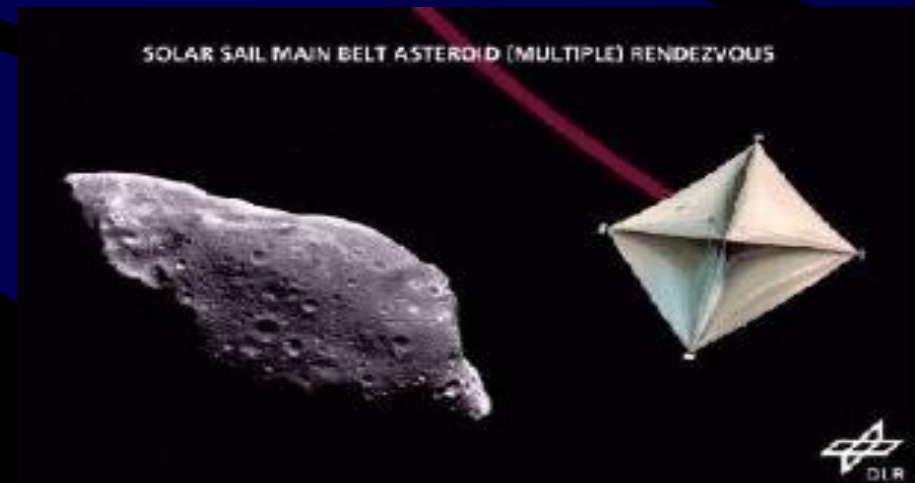
- *rigidità pali aiutata da rotazione*
- *massa ridotta*
- *più facile da spiegare*

- *Svantaggi*

- *manovrabilità limitata*

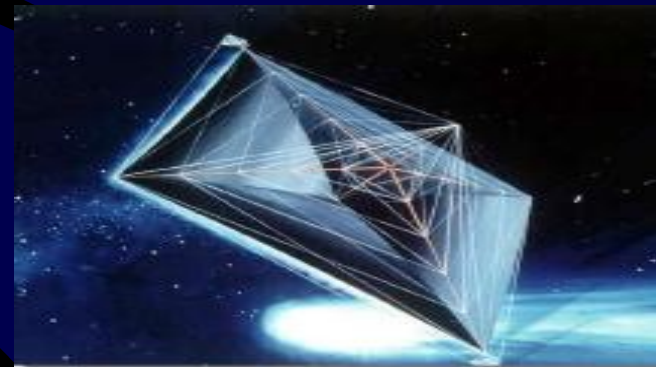
RIASSUNTO 3

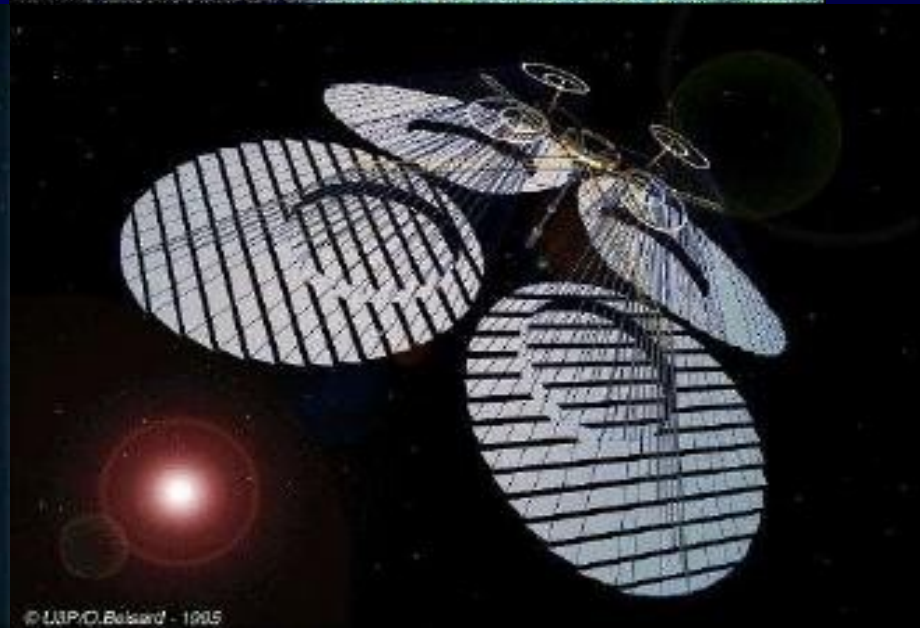
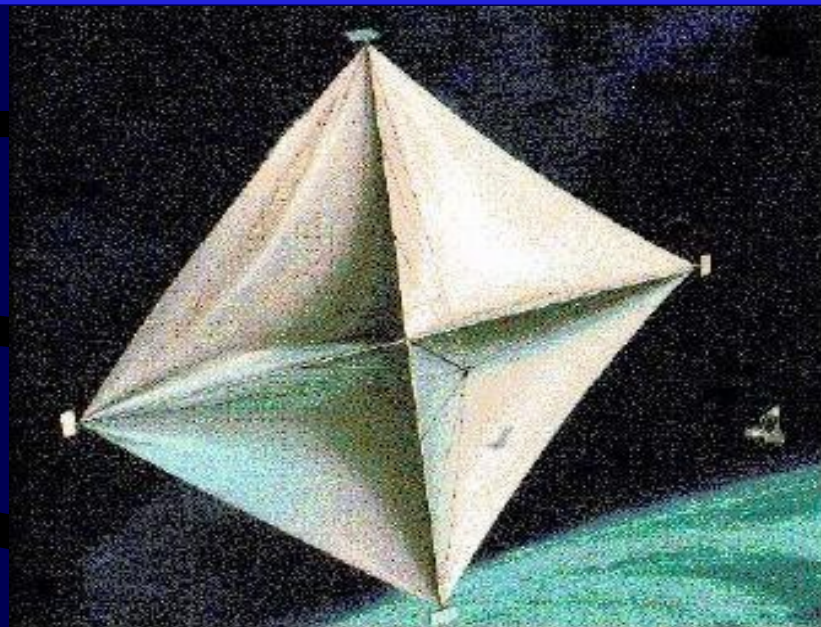
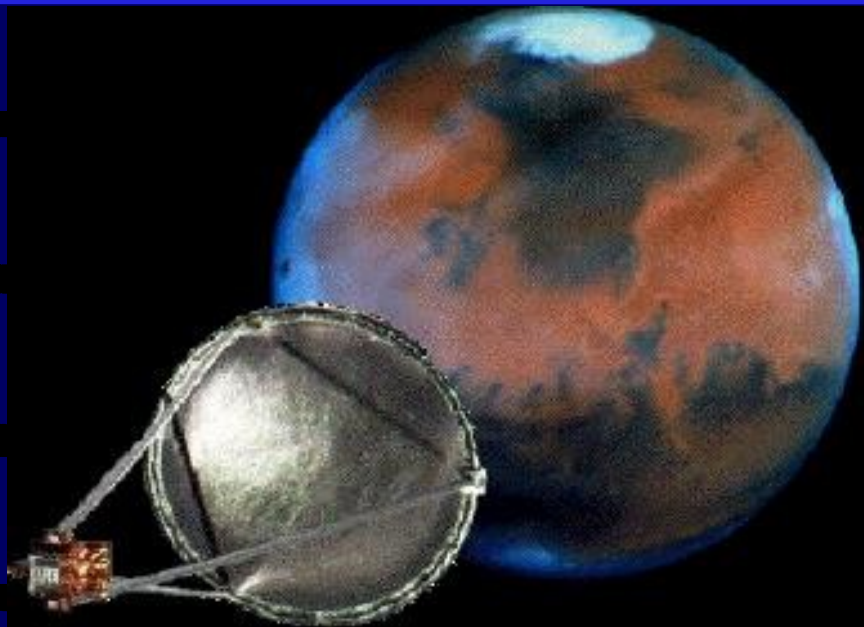
- *Differenza tra vele e sistemi "tradizionali"*
 - *non c'è perdita di massa (no limite carburante)*
 - *piccole accelerazioni ma continue (si possono raggiungere grandi V)*
 - *il vettore di spinta non può essere orientato in qualsiasi direzione*



CONCLUSIONI

- *Vantaggi:* economiche, carburante “illimitato”, alte velocità raggiungibili..
- *Utilizzo:* viaggi lunghi, piccoli carichi (~100kg), orbite non molto precise..
- *Svantaggi:* difficoltà modellizzare spinta, difficoltà realizzative (materiali, spiegamento...)





DOMANDE?

