



VELA e ...

... SPAZIO

Vele Spaziali Solari



SOMMARIO

VELE SOLARI: Come spostarsi nello spazio utilizzando il sole



- * *Storia*
- * *Primi Tentativi*
- * *Teoria (fisica)*
- * *Progetti Futuri*

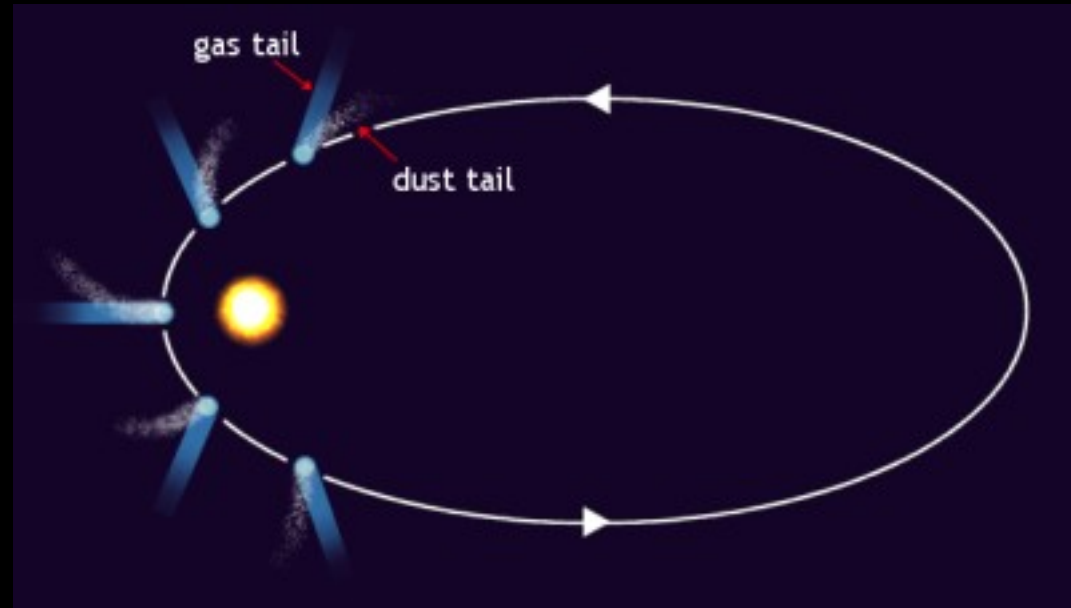
STORIA

- ★ 1619 Keplero osservando comete
 - coda opposta al sole
 - ipotesi “vento”



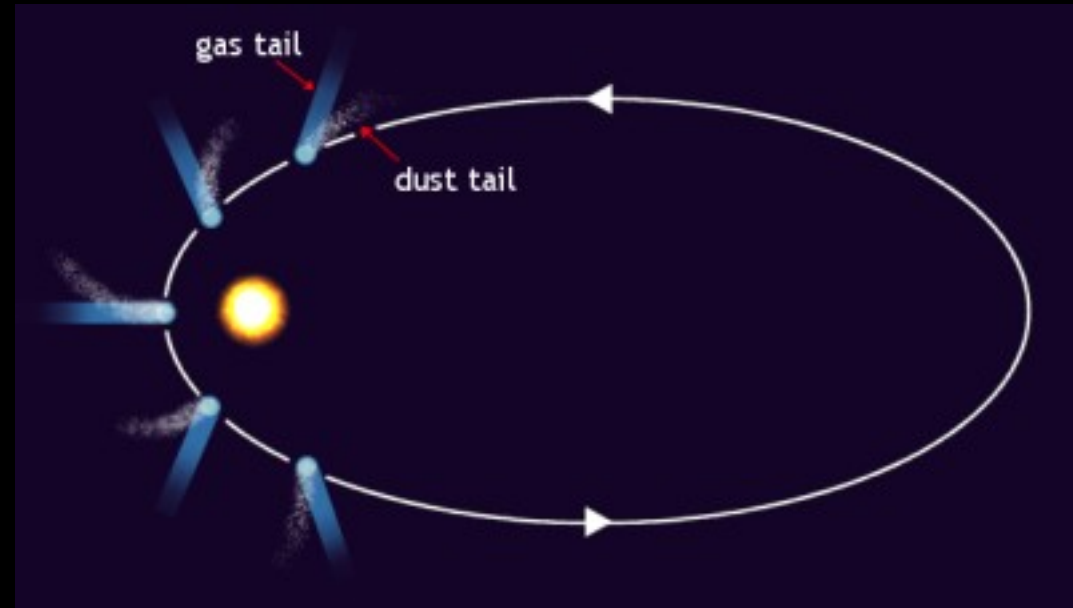
STORIA

- ★ 1619 Keplero osservando comete
 - coda opposta al sole
 - ipotesi “vento”



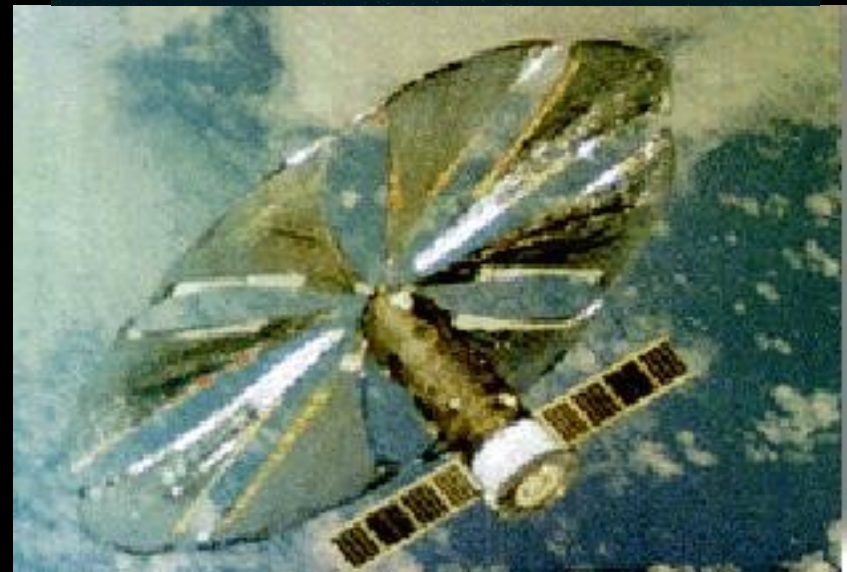
STORIA

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



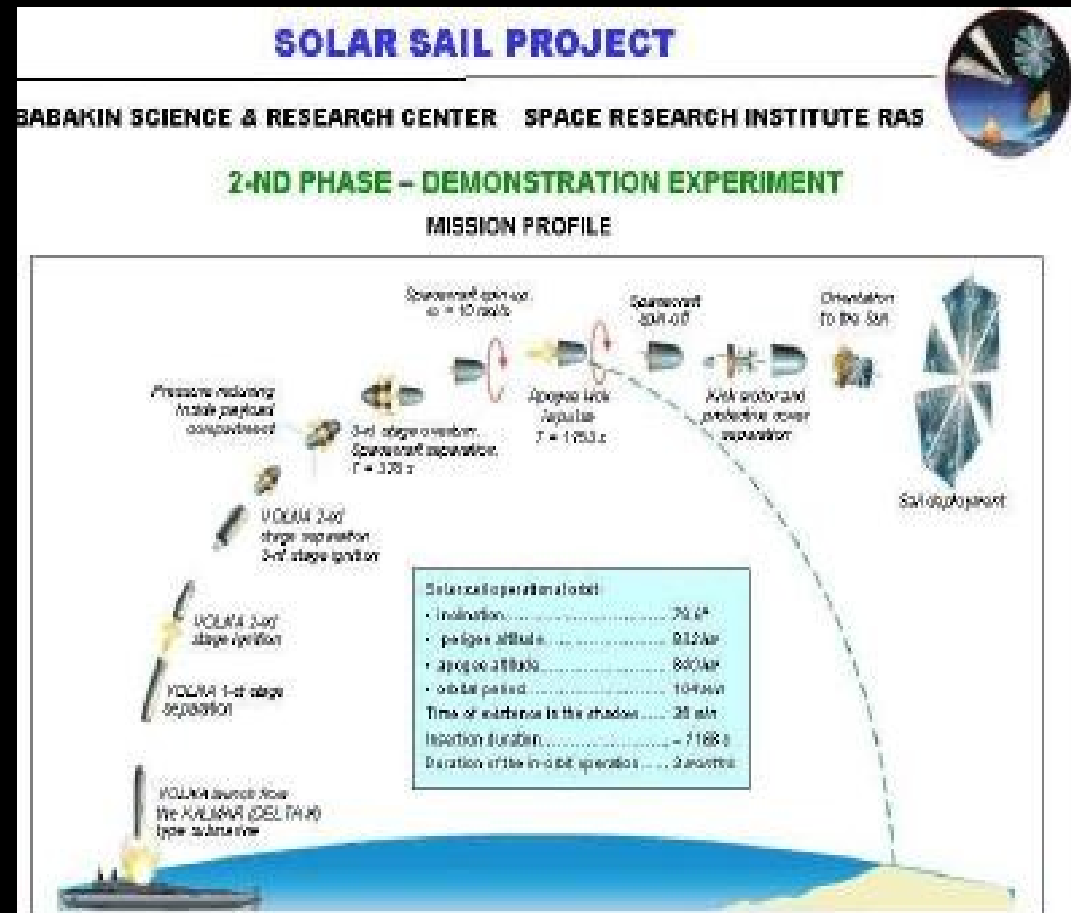
PRIMI TENTATIVI

- ~1970 **Mariner 10**: utilizzo pannelli solari come vela per inserire in orbita
- 1993-2002 **Progetto "Zamnya"**: vele di 20-25-60m per studiare tecniche di assetto e di pilotaggio

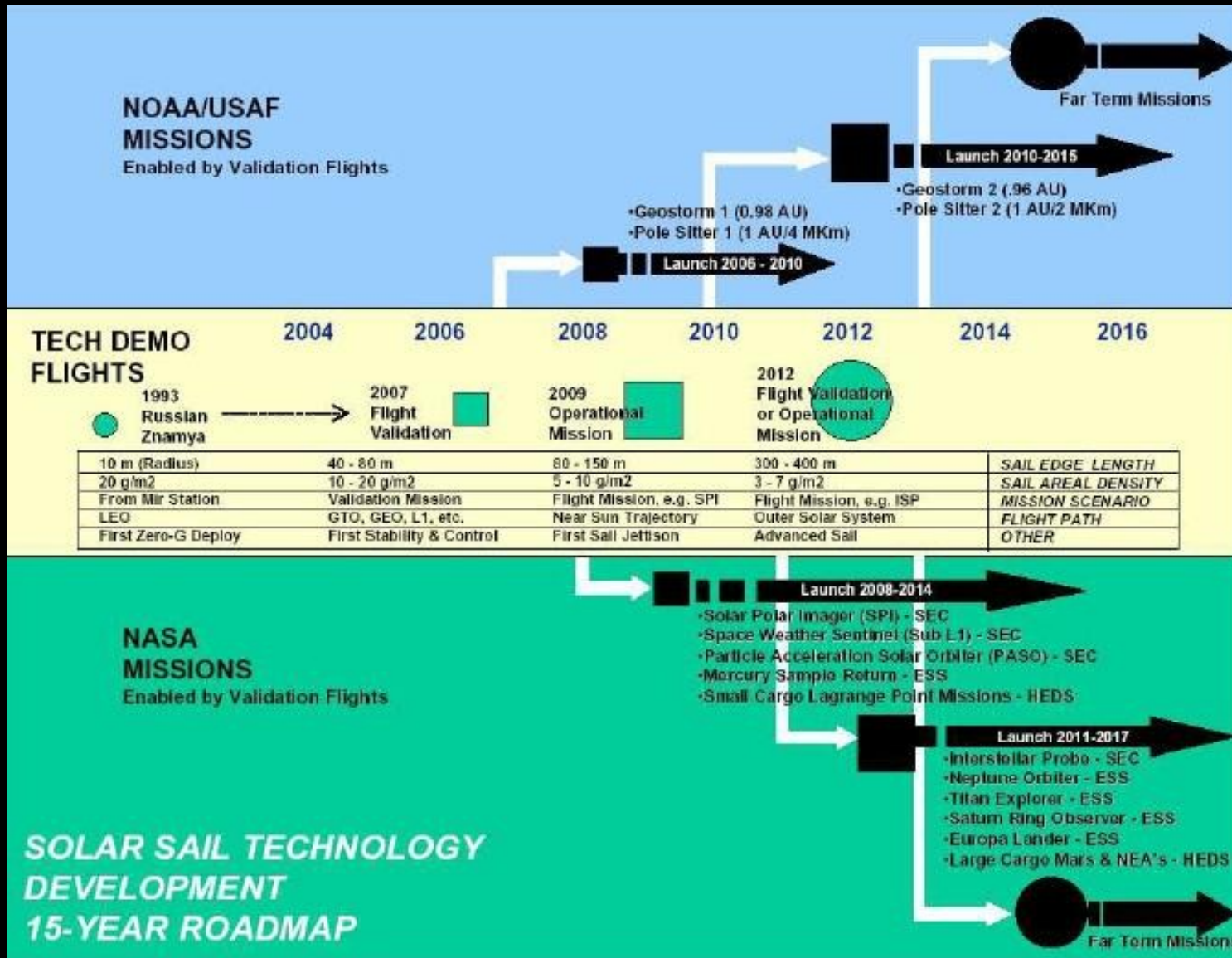


PRIMI TENTATIVI

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



RIASSUNTO



TEORIA

DAL SOLE:

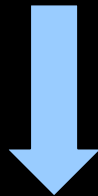
- * *Vento solare (particelle cariche espulse dal sole, es. durante brillamenti)*
- * *Radiazione solare (fotoni)*



TEORIA

DAL SOLE:

- ~~* 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* $E=pc$
- *Flusso energia a distanza della Terra (1UA=149.598x10⁶km)*
 $\phi_o \sim 1400 \text{ W/m}^2$ (*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)* $= 2 \times \phi_o / c = \sim 9.33 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$

$(1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2)$

FISICA: Pressione di Radiazione

- *Fotoni (no massa) trasportano energia* $E=pc$
- *Flusso energia a distanza della Terra (1UA=149.598x10⁶km)*
 $\phi_o \sim 1400 \text{ W/m}^2$ (*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* $\phi_E = L_o / (4\pi r^2) = \phi_o / (r_o/r)^2$

- *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 $P=\phi/c$

$$\phi_o = \phi(r=1UA) = \sim 1400W/m^2$$

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

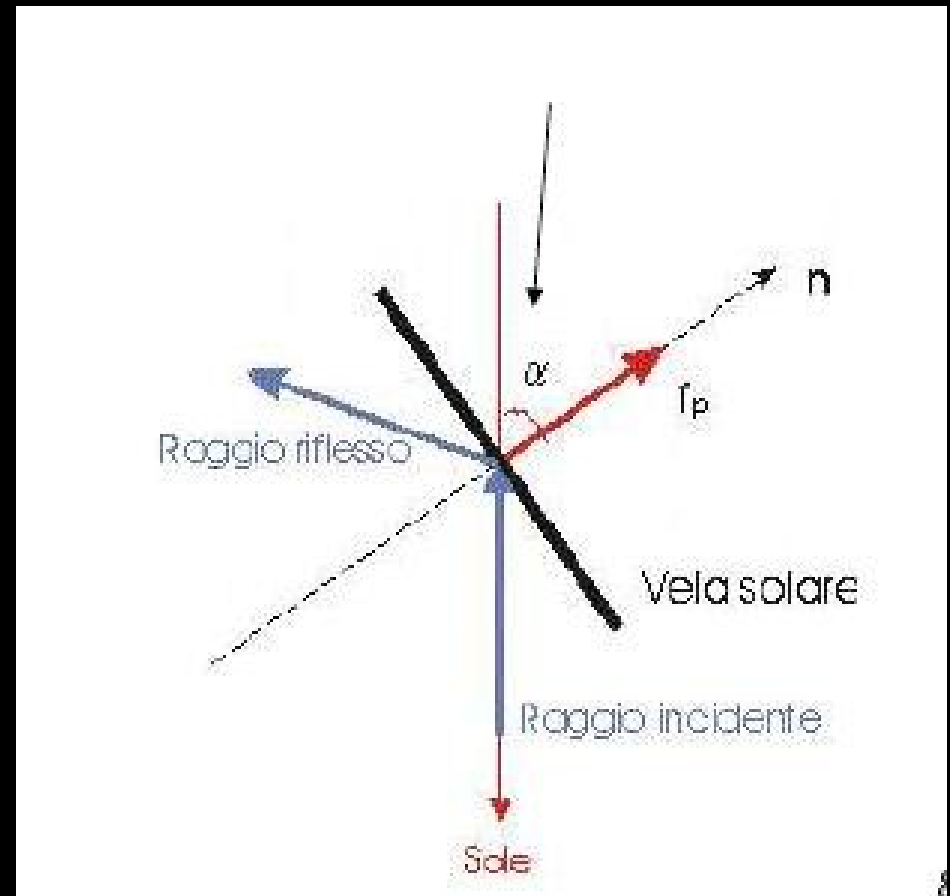
* Riflessione fotoni sulla vela:

- $\mathbf{f} = m \mathbf{a}$;

\mathbf{a} = pressione \times
superficie/ massa

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

- \mathbf{f} dipende da efficienza
della riflessione (η) !



FUNZIONAMENTO

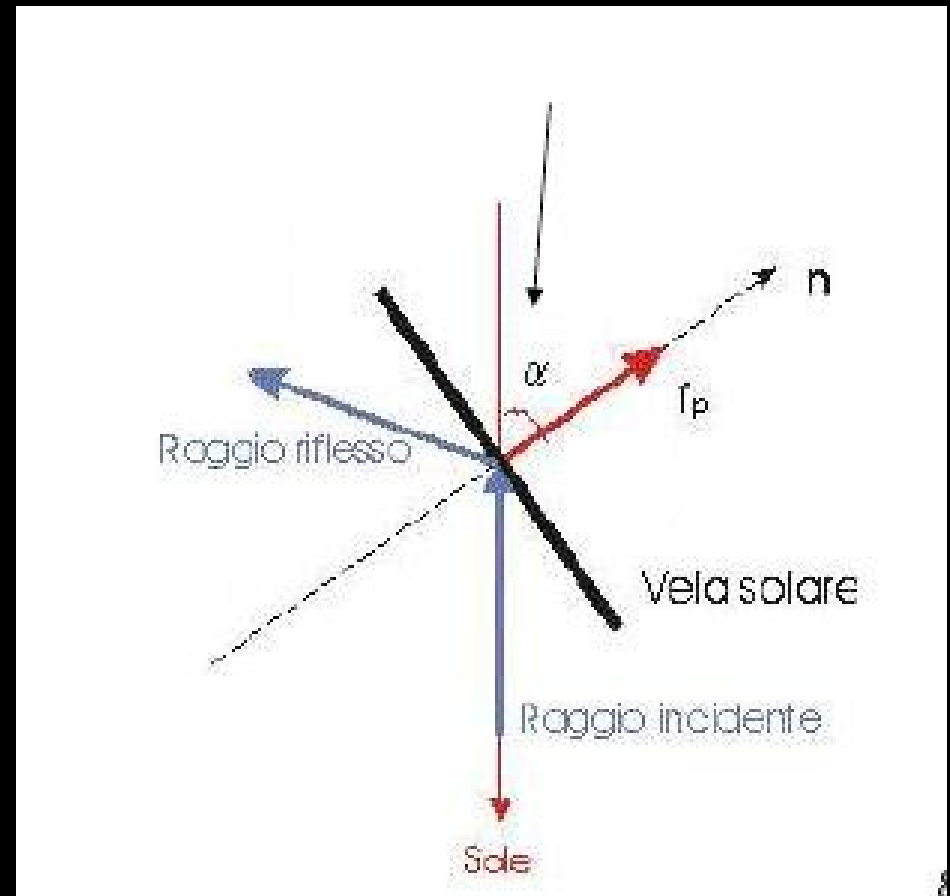
* Riflessione fotoni sulla vela:

- $\mathbf{f} = m \mathbf{a}$;

\mathbf{a} = pressione \times
superficie/ massa

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

- \mathbf{f} dipende da efficienza
della riflessione (η) !



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

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 “**indice di carico**” $\sigma = m/S$
(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:*

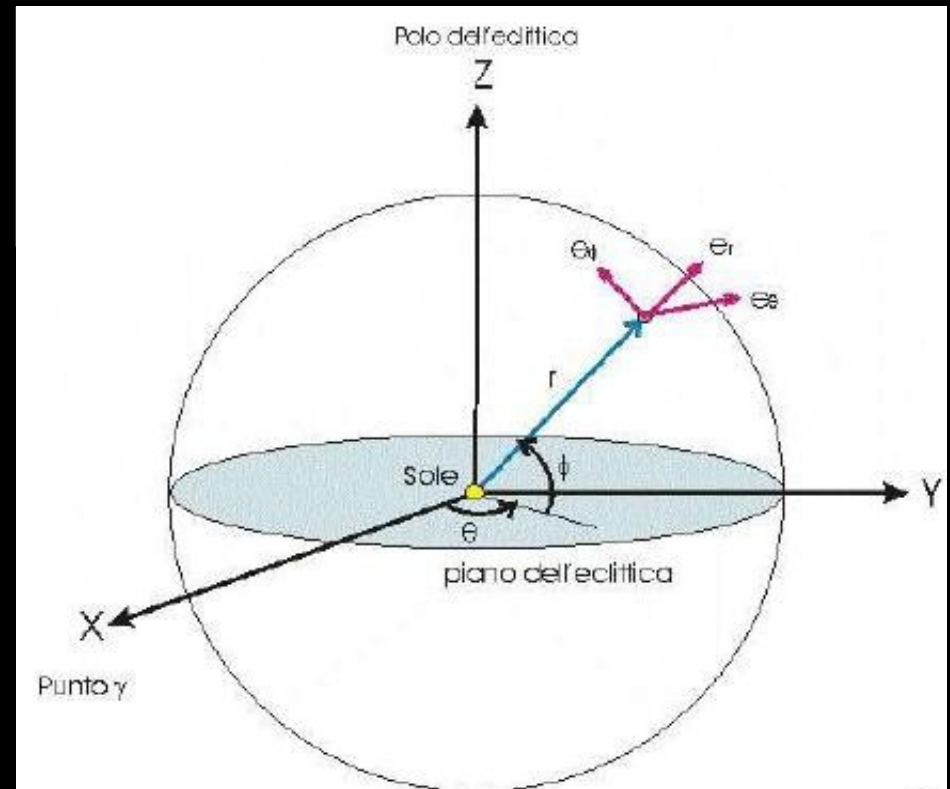
- *forza gravitazionale*

$$f_G = G m M / r^2$$

- *pressione radiazione*

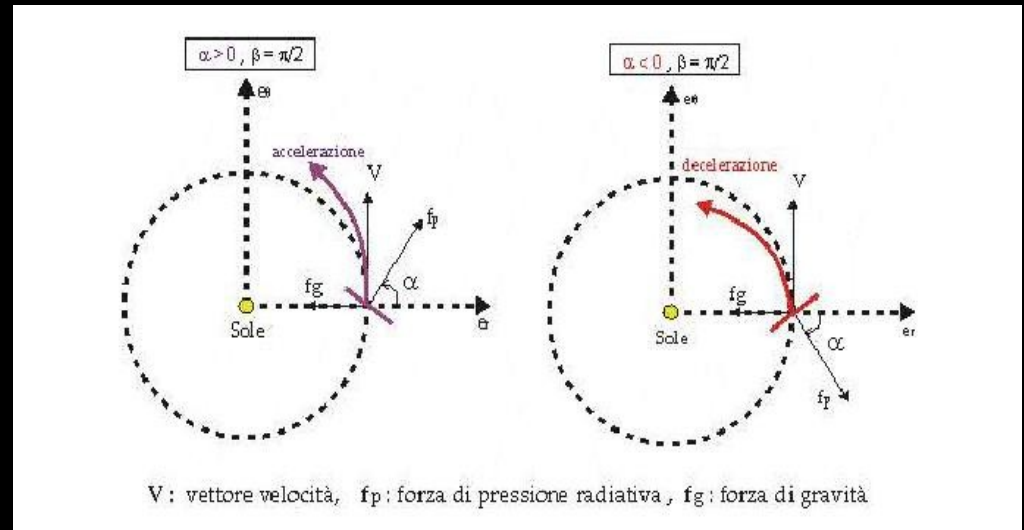
$$f_P = 2 S / m P(r) \cos^2 \alpha$$

→ *perturbazioni: vento solare (trascurabile)*

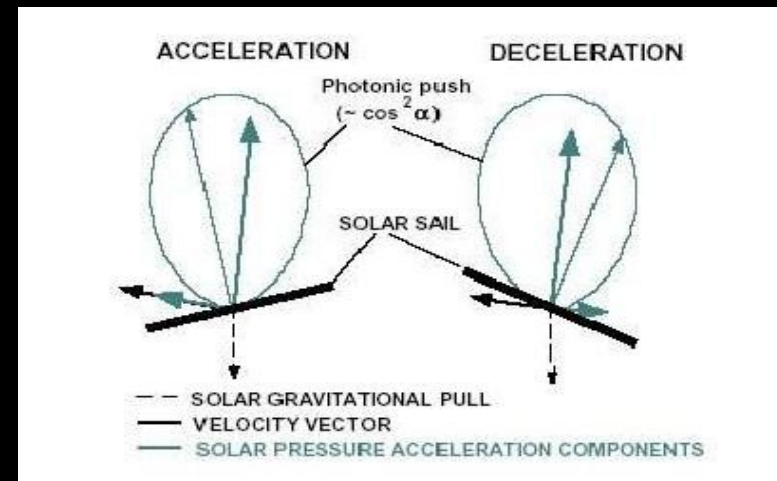


MANOVRE

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



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



RIASSUNTO 2

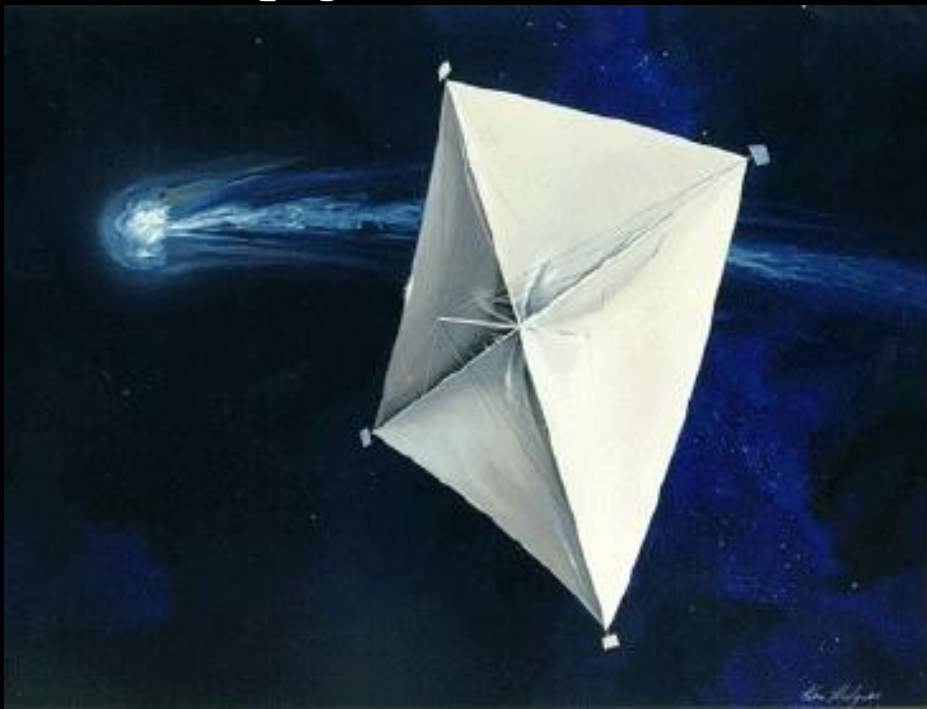
* *Per manovrare una vela solare:*

- *variare la superficie della vela (S)*
- *variare indice di 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*

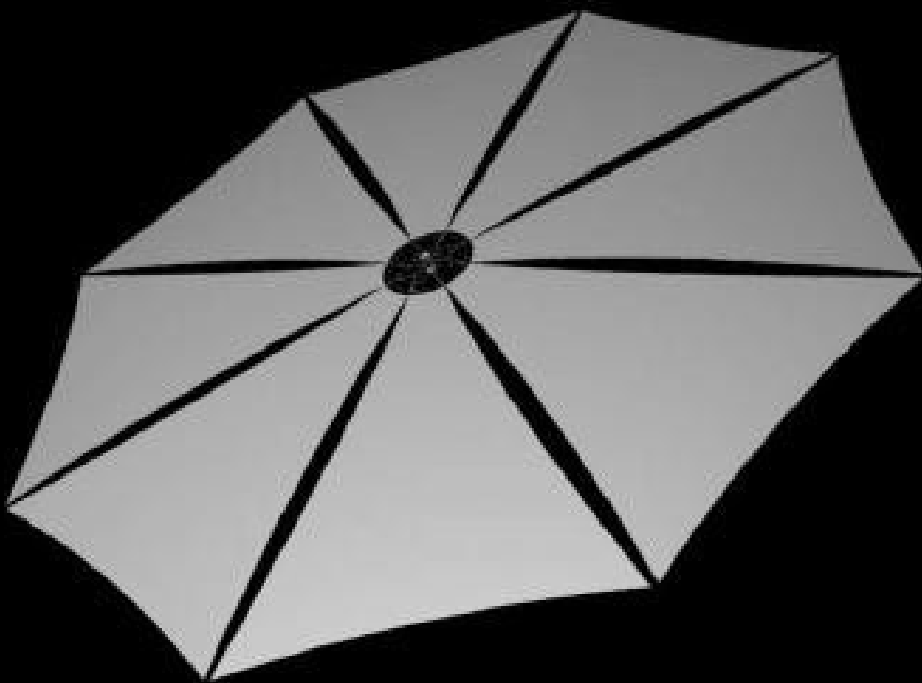
- massa ridotta (no pali)*
- la tensione è garantita da rotazione*

** 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

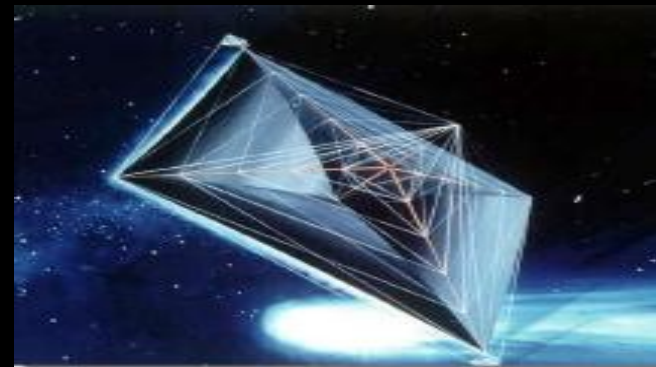
- * *Differenza tra vele e sistemi "tradizionali"*
 - *non c'è perdita di massa (no limite carburante)*
 - *piccole accelerazioni ma continue*
(si possono raggiungere grandi v)
 - *il vettore di spinta non può essere orientato in qualsiasi direzione*

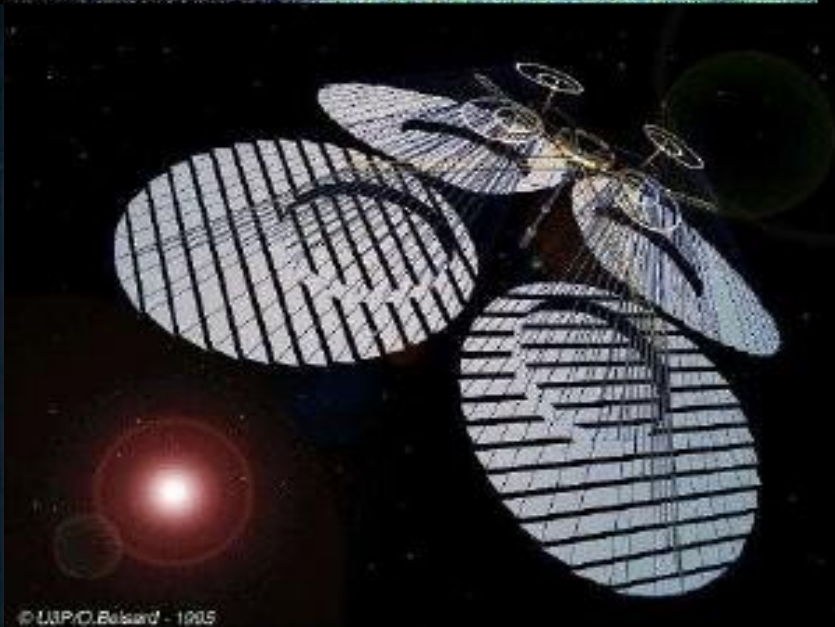
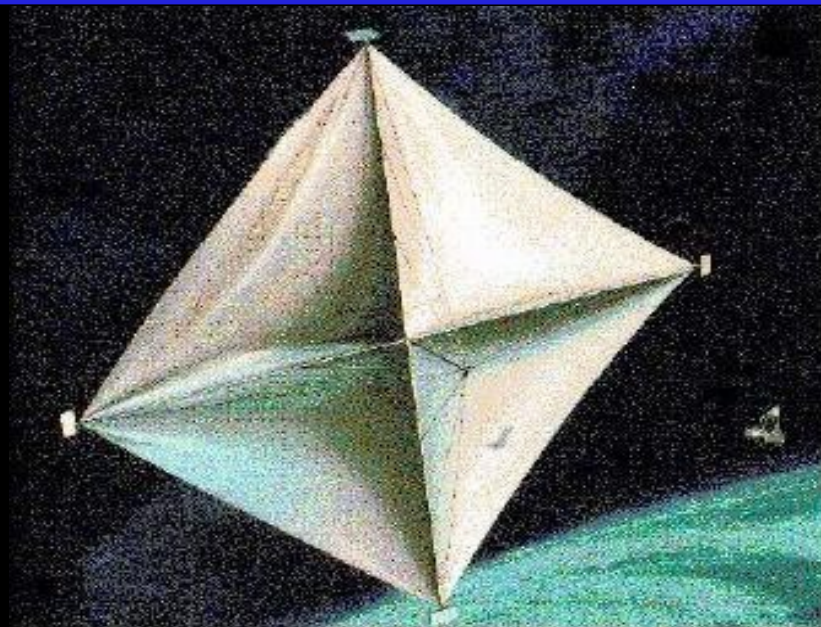
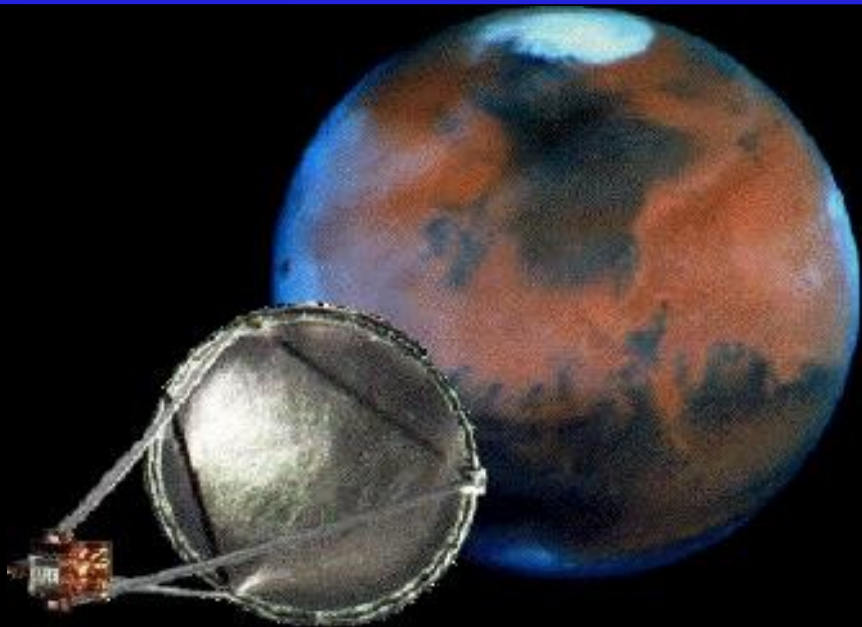
SOLAR SAIL MAIN BELT ASTEROID (MULTIPLE) RENDEZVOUS



CONCLUSIONI

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





DOMANDE?

