

Strong Light (La Luce Intensa)



Andrea MACCHI
andrea.macchi@ino.cnr.it



Intensità

(energia per unità
di tempo e superficie)
della luce del Sole
sulla Terra

$$I_{\text{Sole}} \approx 1.4 \text{ kWatt/m}^2$$
$$\approx 2 \text{ kCal}/(\text{minuto cm}^2)$$

ovvero:

un'ora di Sole
su 1 m^2 di tetto
fornisce

$$\approx 1.4 \text{ kWh (kiloWattOra)}$$

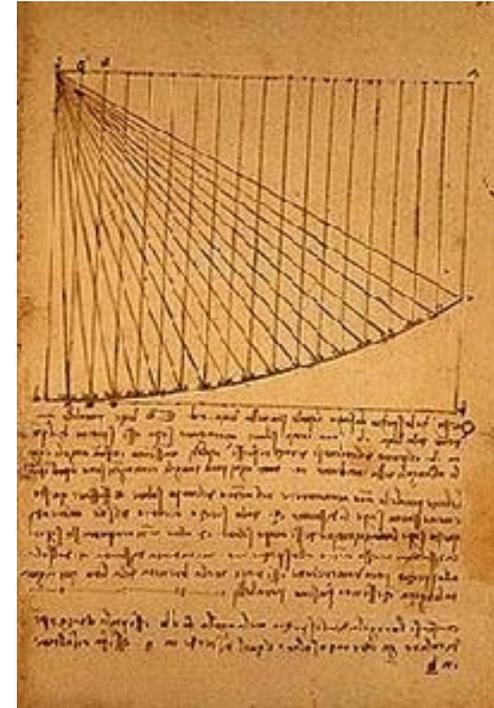


<http://www.weatherclipart.net>

focalizzando la luce con specchi o lenti si può ottenere $\approx I \times 1000$ e usarla per modificare la materia ...

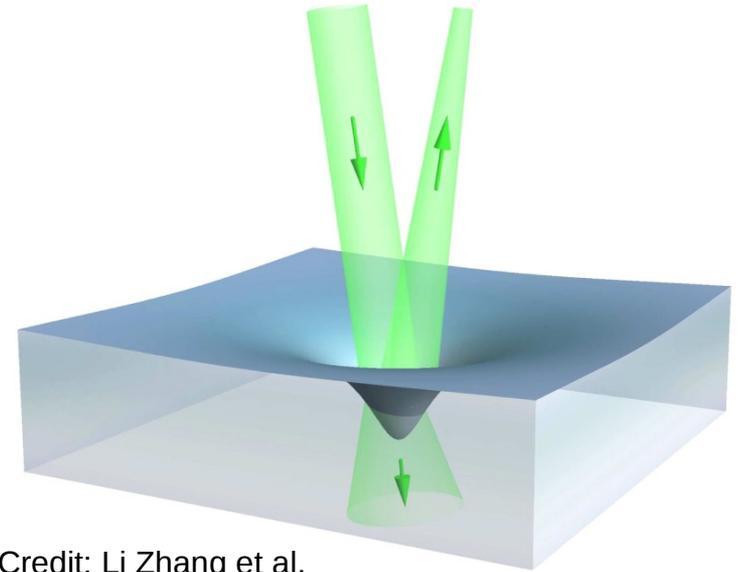
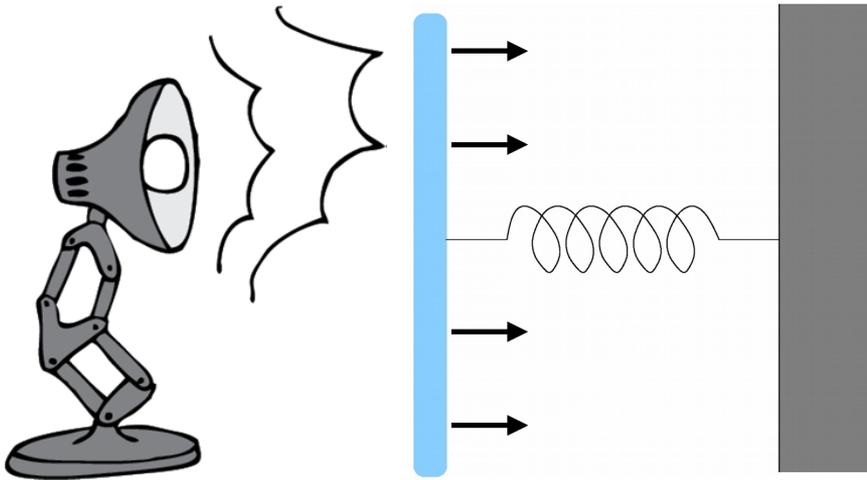


Specchi ustori di Archimede.
Giulio Parigi, ca. 1600. Museo d. Uffizi,
Stanzino delle Matematiche, Firenze



Leonardo da Vinci, Codex Arundel
(1480-1518), British Library, London.

La pressione della luce



Credit: Li Zhang et al,
New Journal of Physics 17 (2015) 53035

Pressione (forza per unità di superficie)
su uno specchio perfettamente riflettente

$$P=2I/c$$

c : velocità della luce (≈ 300000 km/s)

$$\rightarrow I_{\text{Sole}}/c \approx 10^{-5} \text{ N/m}^2 \approx 10^{-10} \text{ atmosfere}$$

Predizione: **James Clerk Maxwell** (1874), **Adolfo Bartoli** (1876)

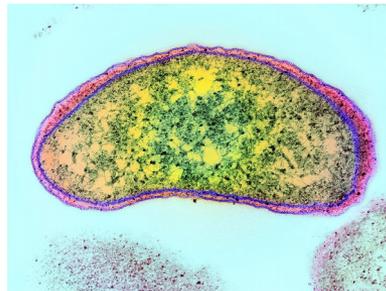
Osservazione sperimentale: **Piotr N. Lebedev** (1899)

"... [questo *laser*] è una soluzione in cerca di un problema"

I. d'Haenens a T. H. Maiman (1960)

LASER: luce artificiale coerente, monocromatica, direzionale, amplificabile, "concentrabile" nello spazio ($\sim \mu\text{m}$) e nel tempo ($\sim 10^{-15}$ s)

(ovvero: qualche J di energia nel volume di un batterio)

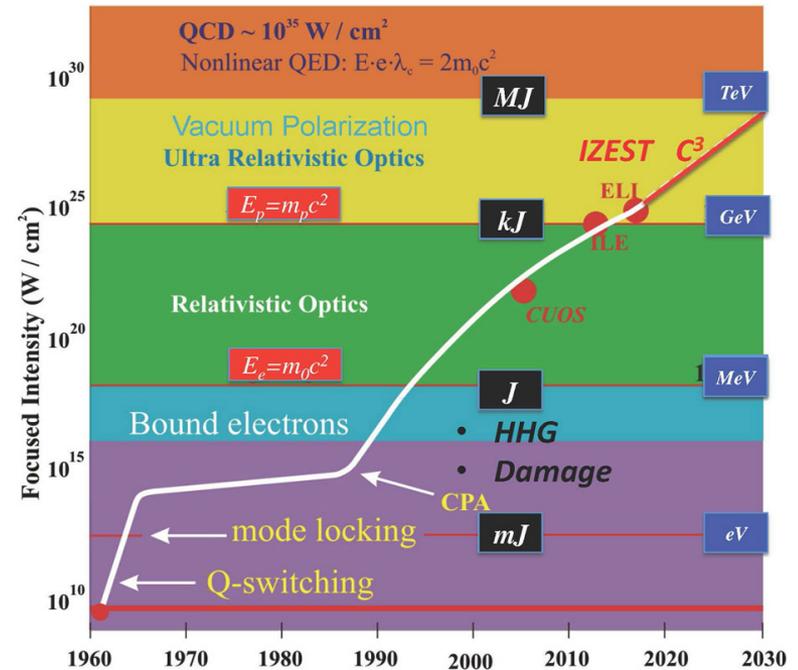
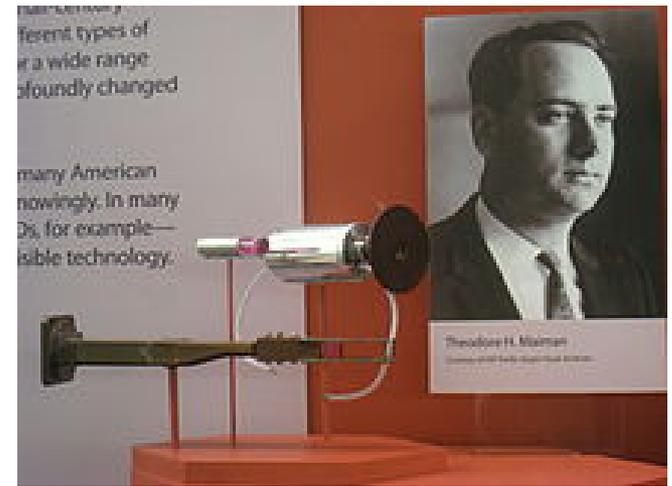


Record attuale di intensità

$$I \approx 10^{27} \text{ Watt/m}^2 \approx 10^{24} I_{\text{Sole}}$$

$$I/c \approx 3 \times 10^{18} \text{ N/m}^2$$

$$\approx 3 \times 10^{13} \text{ atmosfere}$$



Light Sail: vela a luce (laser)

Vari progetti allo studio per far navigare nel sistema solare sonde che sfruttano la pressione della luce solare

credit: NASA

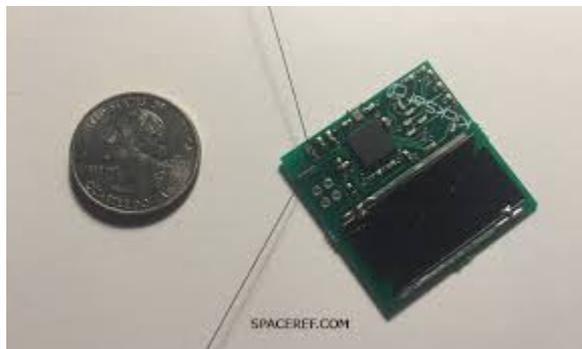


Idea di **R. L. Forward** (1964) e **G. Marx** (1966): sfruttare la luce di un laser terrestre per raggiungere la stella più vicina (Alpha Centauri, ~3 anni luce di distanza)



2016: Breakthrough Starshot

Obiettivo: raggiungere α -Centauri in 20 anni accelerando ≈ 1000 vele sonda (“StarChip”) di $(4 \times 4)\text{m}^2$ e 1 g a $V=0.2c$

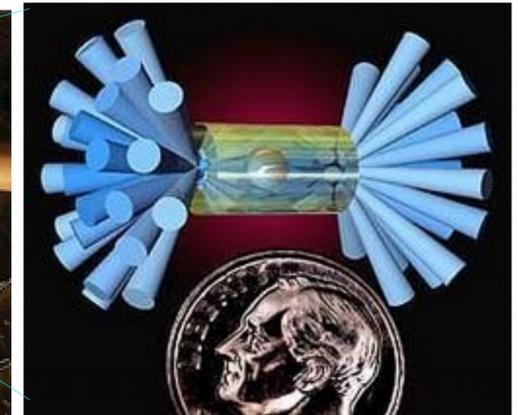
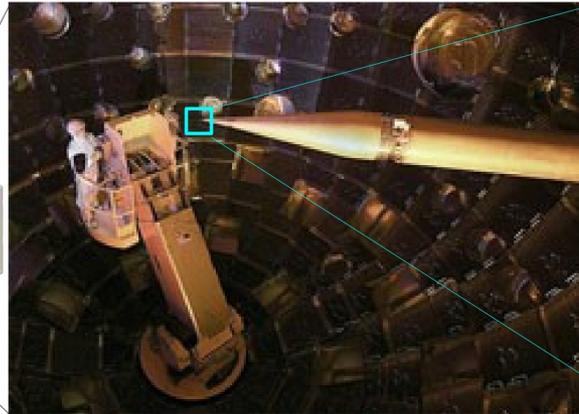
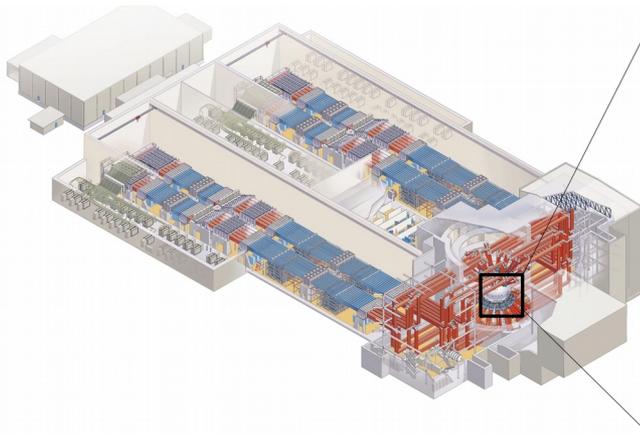


Potenza richiesta:
 ≈ 100 GigaWatt
(≈ 100 centrali nucleari)
per ≈ 10 minuti
($> 10^{14}$ Joule di energia)
da uno schieramento
di Laser su $\approx 1 \text{ km}^2$

breakthroughinitiatives.org

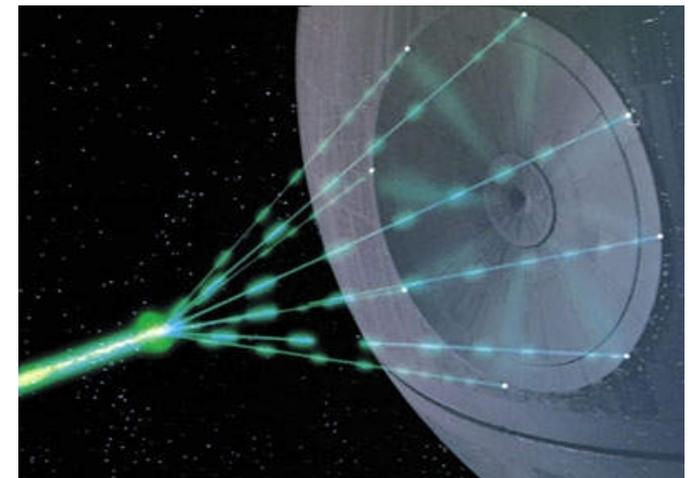
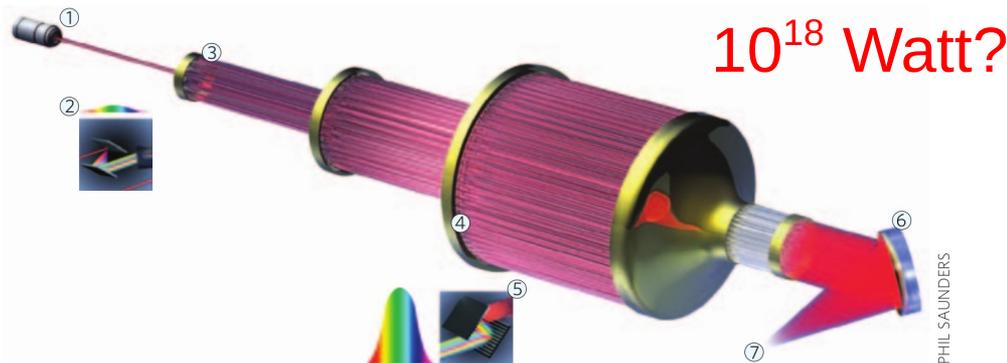


Laser superintensivi (impulso ultrabreve: 10^{-8} - 10^{-14} sec)



National Ignition Facility (USA) per fusione nucleare (2012):
 $\approx 10^6$ Joule in $\approx 10^{-9}$ secondi ($\approx 10^{15}$ Watt) , uno sparo al giorno

Idea del laser “multifibra”: sincronizzazione in fase di $\approx 10^3$ fasci



[Mourou et al, Nature Photonics 7 (2013) 258]

Vela laser come acceleratore “da tavolo”

Miniaturizzazione in laboratorio:

Impulso laser: energia ≈ 10 J
durata ≈ 10 femtosecondi $= 10^{-14}$ sec

Vela: pellicola ultrasottile
(≈ 10 nanometri $= 10^{-8}$ m)

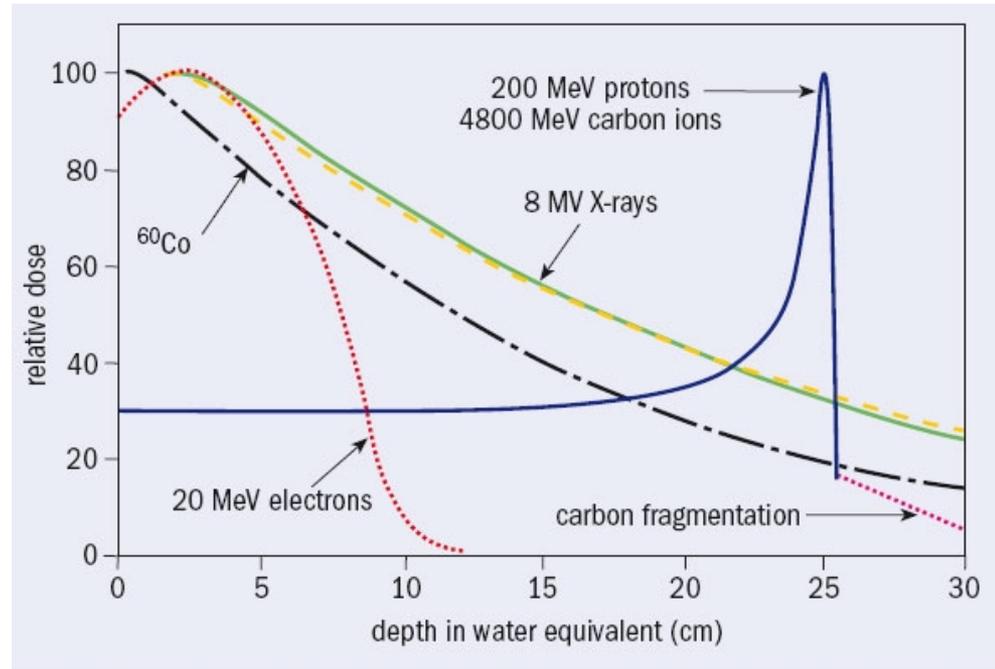
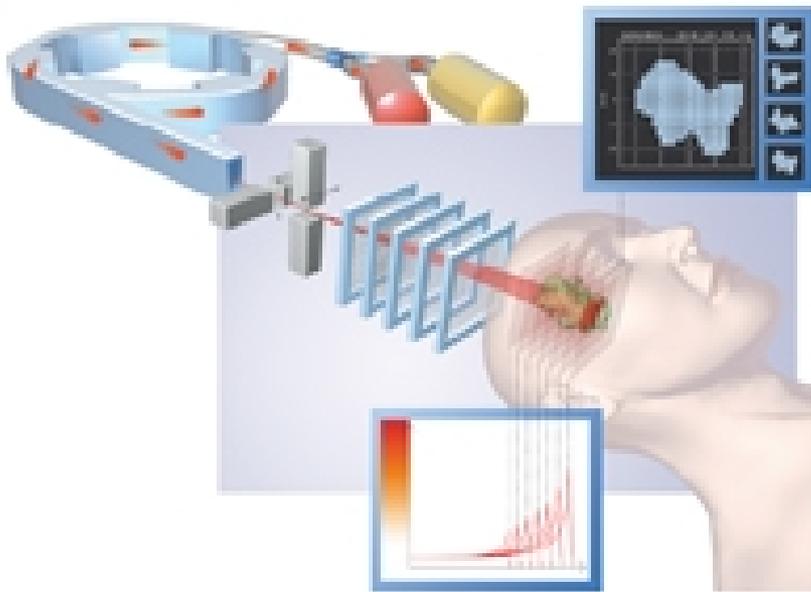
→ possibile accelerare a $V = 0.3c$
 $\approx 10^{-14}$ g di materia ($\approx 10^{14}$ protoni)
ad alta ripetizione (> 10 impulsi/sec)
su una lunghezza di ≈ 100 micron $= 0.1$ mm



LHC al CERN (Ginevra):
27 km di circonferenza...

Perché un acceleratore compatto di ioni?

Un fascio di **ioni** (protoni, ioni Carbonio, ...) deposita la propria energia nella materia in una regione estremamente più localizzata di raggi X, γ o **elettroni**

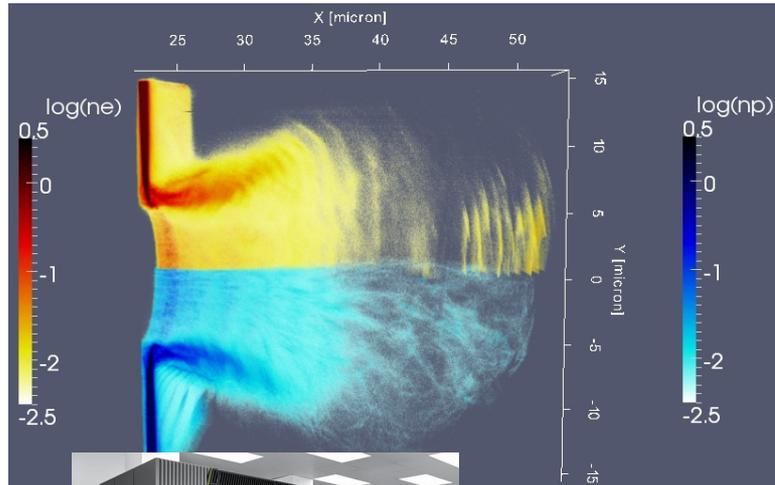
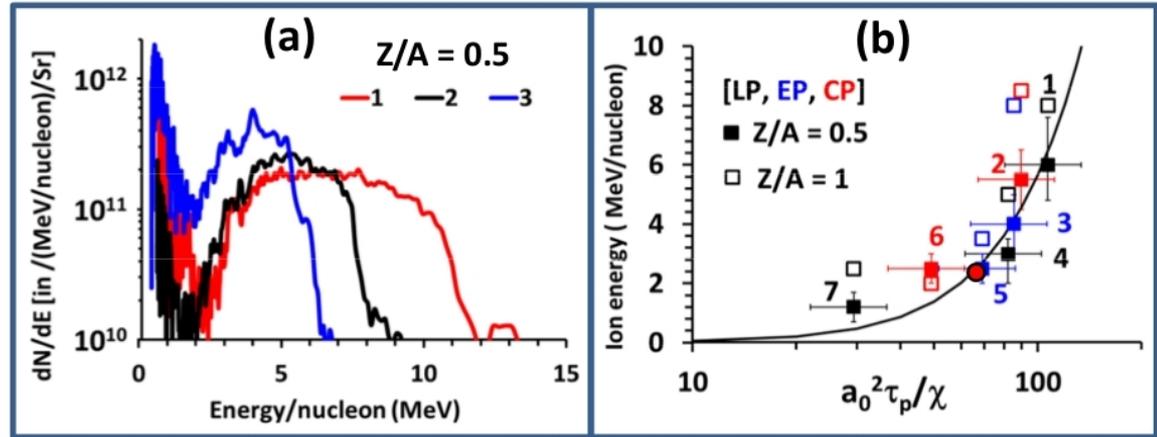


L'**adroterapia** usa fasci di ioni per distruggere tumori non operabili annidati in profondità in organi vitali
Problema aperto: ridurre dimensioni e costo degli acceleratori usati

I nostri strumenti

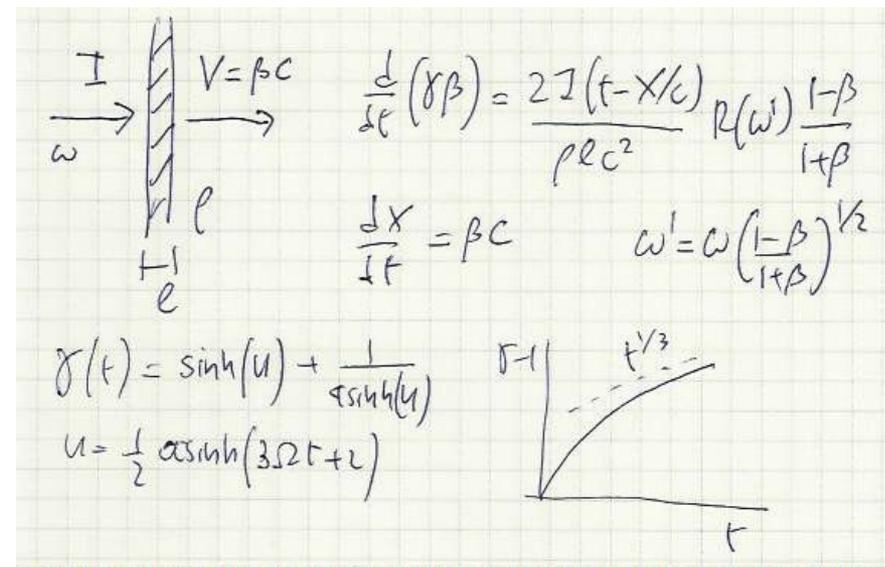


esperimenti

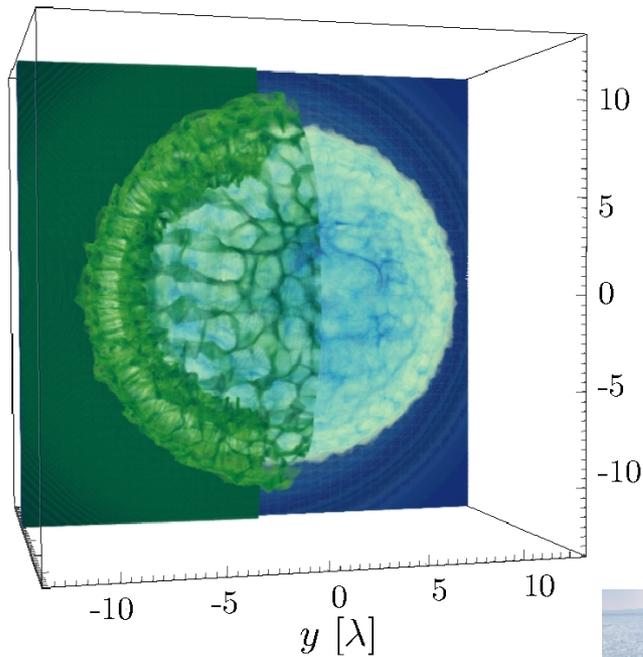


simulazioni
numeriche

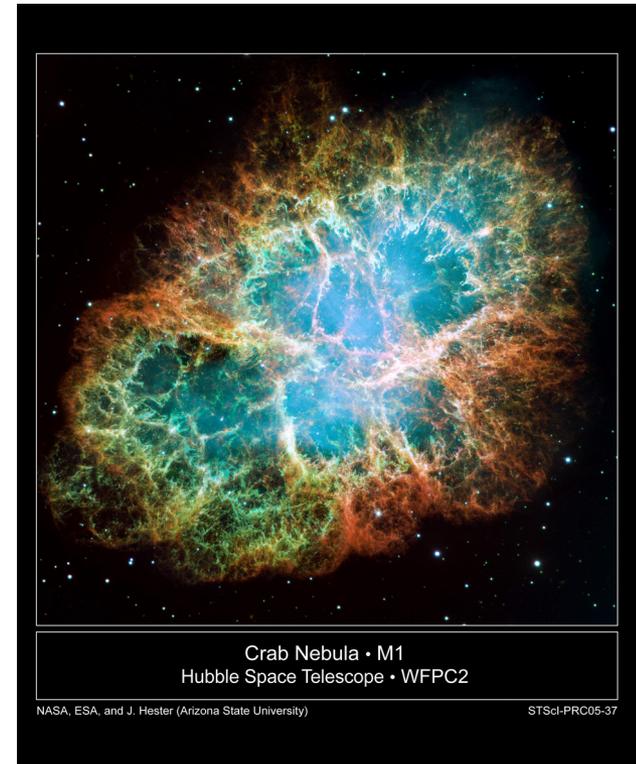
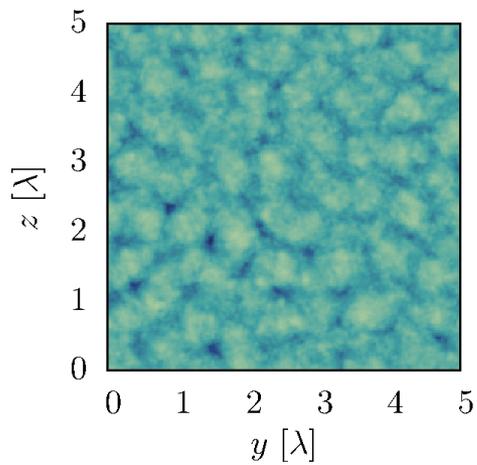
carta e penna



Un problema solo fra tanti ...



“Rottura” della vela a causa con formazione di strutture ricorrenti in natura



“Distribuzione dell'energia in funzione dell'angolo di emissione di ioni accelerati dalla pressione della luce”

Tanja Liseykina & Andrea Macchi,
Images in Plasma Science (2007)

