

UNA LUCE DEBOLE DEBOLE

Come osserviamo e misuriamo l'Universo

Enrico Bernieri - INFN

- La storia di alcuni strumenti che hanno ampliato la nostra visione dell'Universo
- Un'invenzione straordinaria
- Come funziona ?

L'Universo a occhio nudo:

Circa 6.000 stelle... e poco altro

Dalle osservazioni recenti, si stima...

circa 100.000.000.000 galassie

Di cui ognuna contiene,

Circa 100.000.000.000 stelle

In totale:

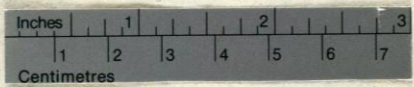
10.000.000.000.000.000.000.000 stelle
+ molti altri “oggetti” ...

Galileo, 1609: la nascita del telescopio



Handwritten notes in the top left corner of the left page.

*Museo Aristoteli
Med. et Chir. mant.*



SIDEREVS NUNCIVS

MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, praesertim vero

PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quae à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO

Patauini Gymnasij Publico Mathematico

PERSPICILLI

Nuper à se reperti beneficio sunt observata in LVNÆ FACIE, FIXIS IN-
NUMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,

Apprime vero in

QVATVOR PLANETIS

Circa IOVIS Stellam disparibus interuallis, atque periodis, celeri-
tate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque
diem cognitos, nouissimè Author depræ-
hendit primus; atque

MEDICEA SIDERA NUNCVPANDOS DECREVIT.

Ce. S. Bened.

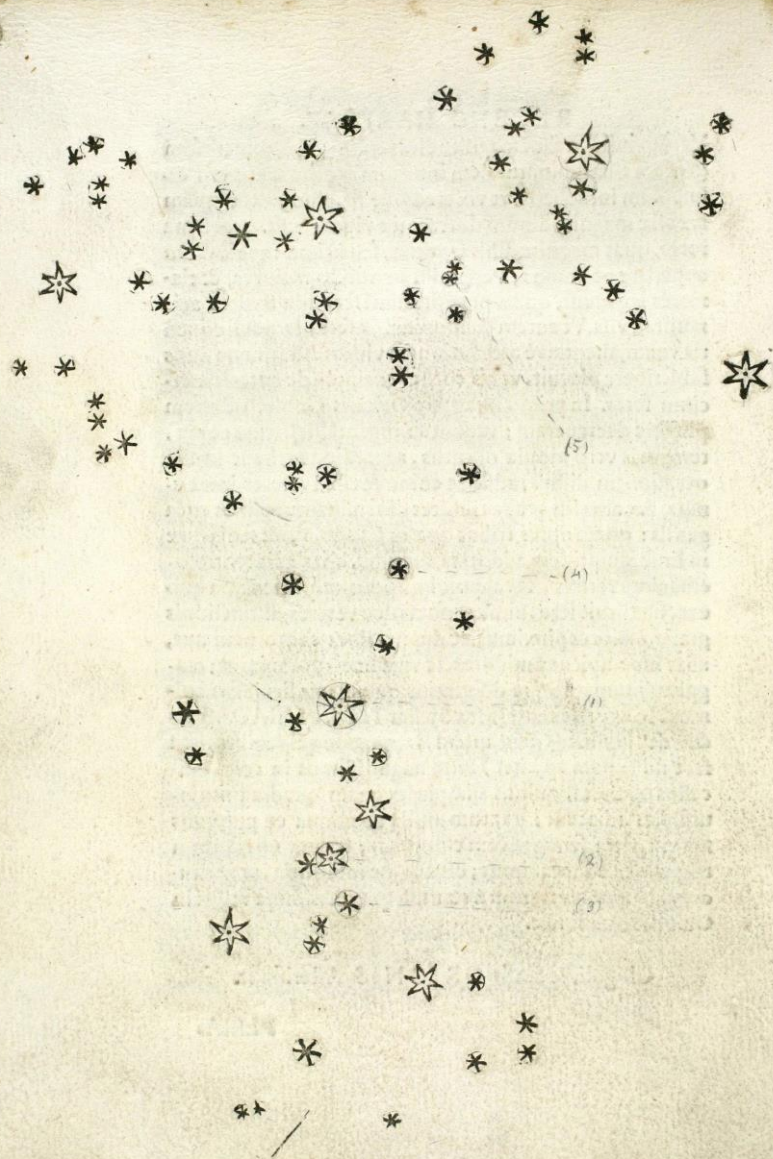
Mant. m.



VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M D C X.
Superiorum Permissu, & Privilegio.

Reg.





PLEIADVM CONSTELLATIO.



Quo tertio loco à nobis fuit obseruatum, est ipsius
 LACTEI Circuli essentia, seu materies, quam Per-
 spicilli beneficio ad eò ad sensum licet intueri, vt & alter-
 cationes omnes, quæ per tot sæcula Philosophos excrucia-
 runt ab oculata certitudine dirimantur, nosque à verbosis
 disputationibus liberemur. Est enim GALAXYA nihil
 aliud, quam innumerarum Stellarum coaceruatim confi-
 tarum congeries; in quamcunq; enim regionem illius Per-
 spicillum dirigas, statim Stellarum ingens frequentia se se
 in conspectum profert, quarum complures satis magna, ac
 valde conspicua videntur, sed exiguarum multitudo prorsus
 inexplorabilis est.

At cum non tantum in GALAXYA lacteus ille candor,
 veluti albicantis nubis spectetur, sed complures consimilis
 coloris areolæ sparsim per æthera subfulgeant, si in illarum
 quamlibet Specillum conuertas Stellarum constipatarum
 cætum

OBSERVAT. SIDEREAE

Ori. * * ○ * Occ.

Stella occidentaliori maior, ambæ tamen valdè conspicuæ, ac splendida: vtra quæ distabat à Ioue scrupulis primis duobus; tertia quoque Stellula apparere cepit hora tertia prius minimè conspecta, quæ ex parte orientali Iouem ferè tangebat, eratque admodum exigua. Omnes fuerunt in eadem recta, & secundum Eclipticæ longitudinem coordinatæ.

Die decimatertia primùm à me quatuor conspectæ fuerunt Stellulæ in hac ad Iouem constitutione. Erant tres occidentales, & vna orientalis; lineam proximè

Ori. * ○ * * Occ.

rectam constituebant; media enim occidentalium paululum à recta Septentrionem versus deflectebat. Aberat orientalis à Ioue minuta duo: reliquarum, & Iouis intercapedines erant singulæ vnus tantum minuti. Stellæ omnes eandem præ se ferebant magnitudinem; ac licet exiguam, lucidissimæ tamen erant, ac fixis eiusdem magnitudinis longe splendidiore.

Die decimaquarta nubilosa fuit tempestas.

Die decimaquinta, hora noctis tertia in proximè depicta fuerunt habitudine quatuor Stellæ ad Iouem;

Ori. ○ * * * * Occ.

occidentales omnes: ac in eadem proximè recta linea dispositæ; quæ enim tertia à Ioue numerabatur paululum

RECENS HABITAE. 19

lulum in boream attollebatur; propinquior Ioui erat omnium minima, reliquæ consequenter maiores apparebant; interualla inter Iouem, & tria consequentia Sydera erant æqualia omnia, ac duorum minorum: at occidentalius aberat à sibi propinquo minutis quatuor. Erant lucida valde, & nihil scintillantia, qualia semper tum ante, tum post apparuerunt. Verum hora septima tres solummodo aderant Stellæ, in huius-

Ori. ○ * * * Occ.

modi cum Ioue aspectu. Erant nempe in eadem recta ad vnguem, vicinior Ioui, erat admodum exigua, & ab illo semota per minuta prima tria; ab hac secunda distabat min: vno; tertia verò à secunda min: pr: 4. sec: 30. Post verò aliam horam duæ Stellulæ mediæ adhuc viciniore erant; aberant enim min: sc: vix 30. tantum.

Die decimasexta hora prima noctis tres vidimus Stellas iuxta hunc ordinem dispositas. Duæ Iouem

Ori. * ○ * * Occ.

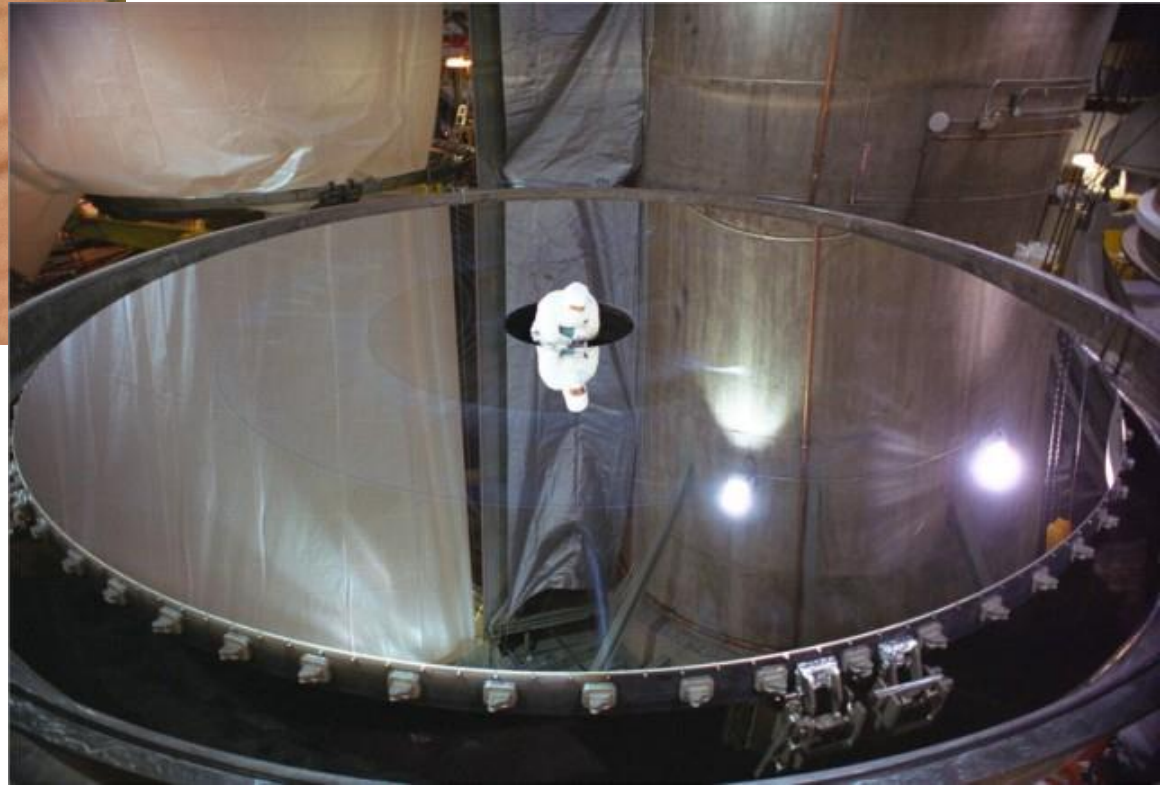
intercipiebant ab eo per min: 0. sec: 40. hincinde remota, tertia verò occidentalis à Ioue distabat min: 8. Ioui proximæ non maiores, sed lucidiores apparebant remotiori.

Die decimasextima hora ab occasu 0. min: 30. huiusmodi fuit configuratio. Stella vna tantum orientalis à

Ori. * ○ * Occ. Ioue



Da pochi centimetri...



... a 10 metri !

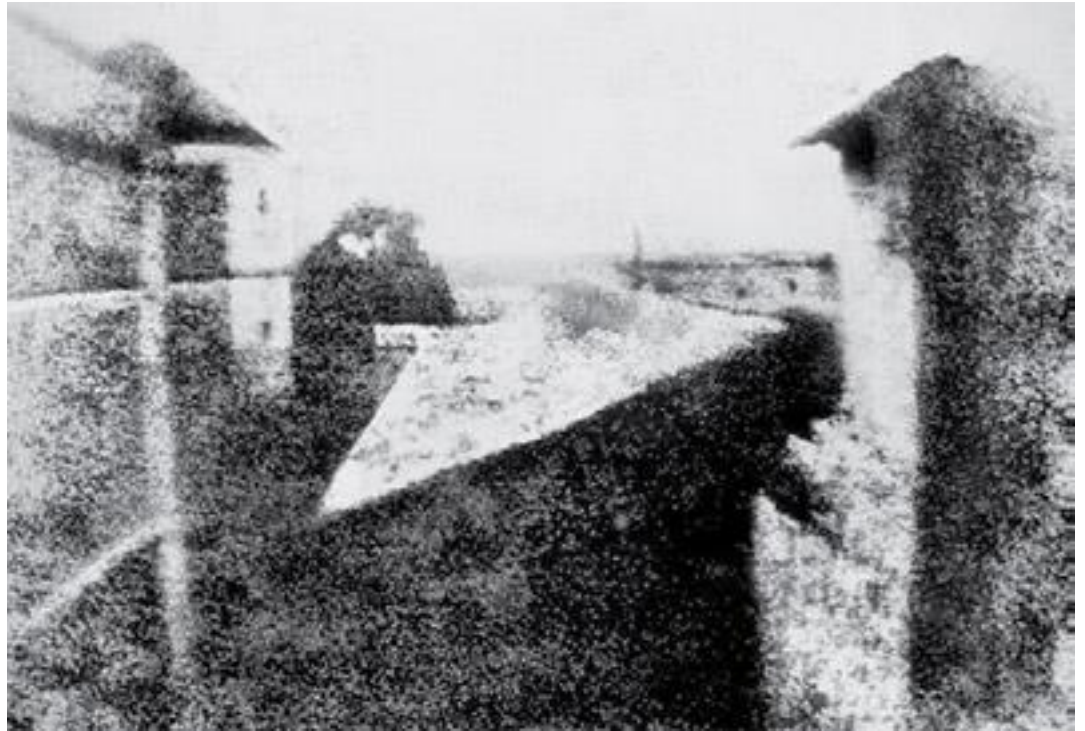


I 40 metri del prossimo futuro (EELT)

L'importanza del “rivelatore”...



L'occhio non “integra”...



La fotografia, si !

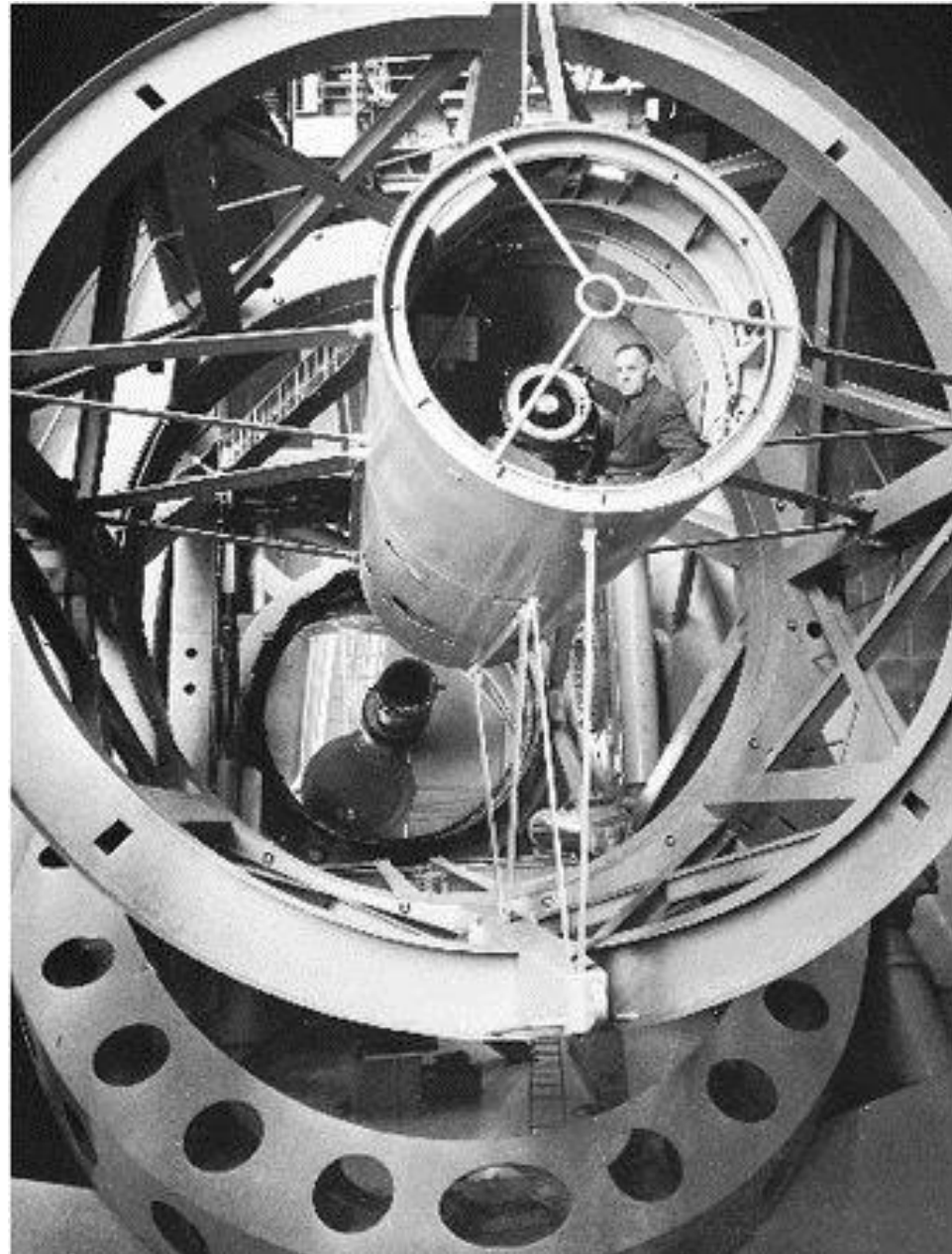
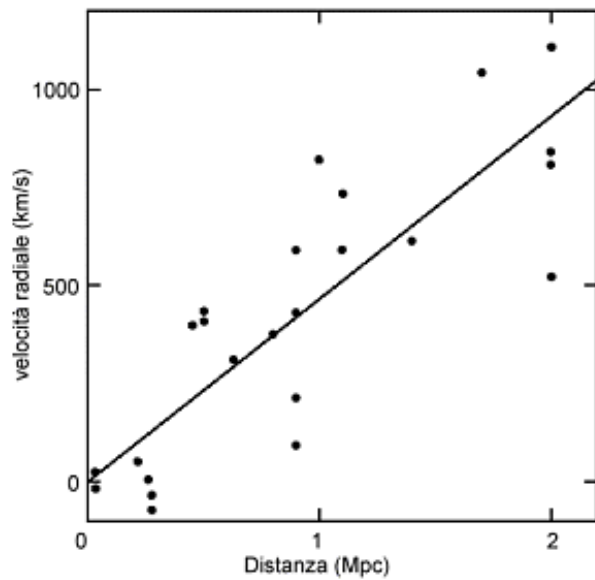
La prima foto della storia
(Niepce, 1826)

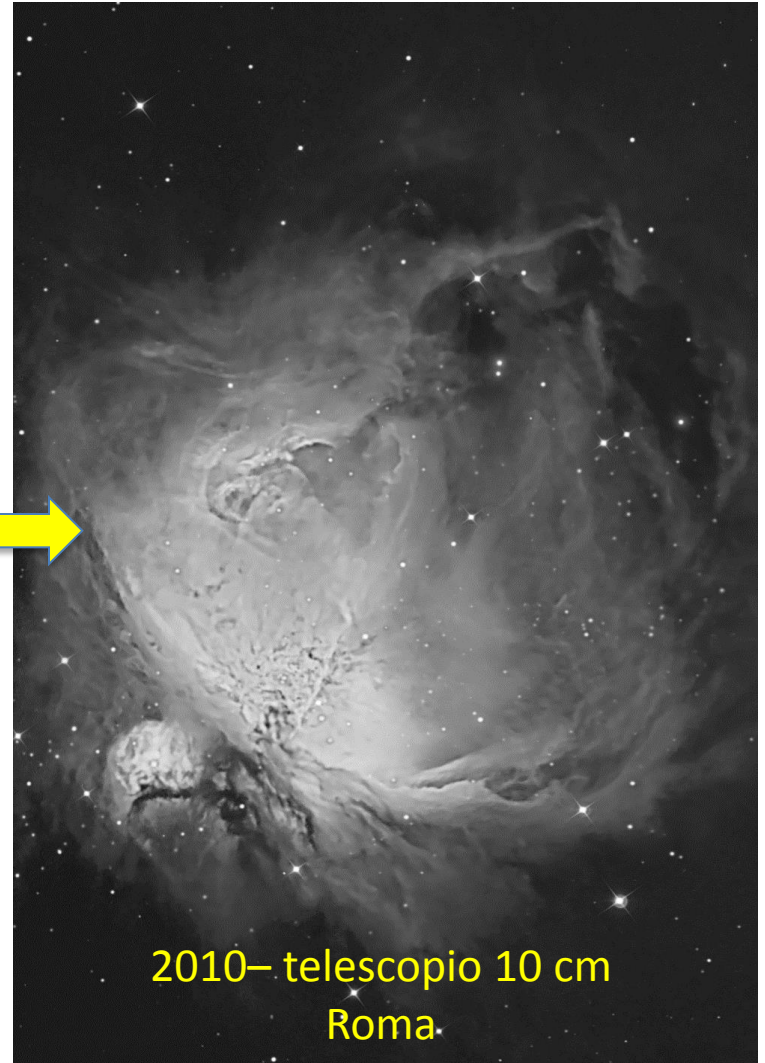
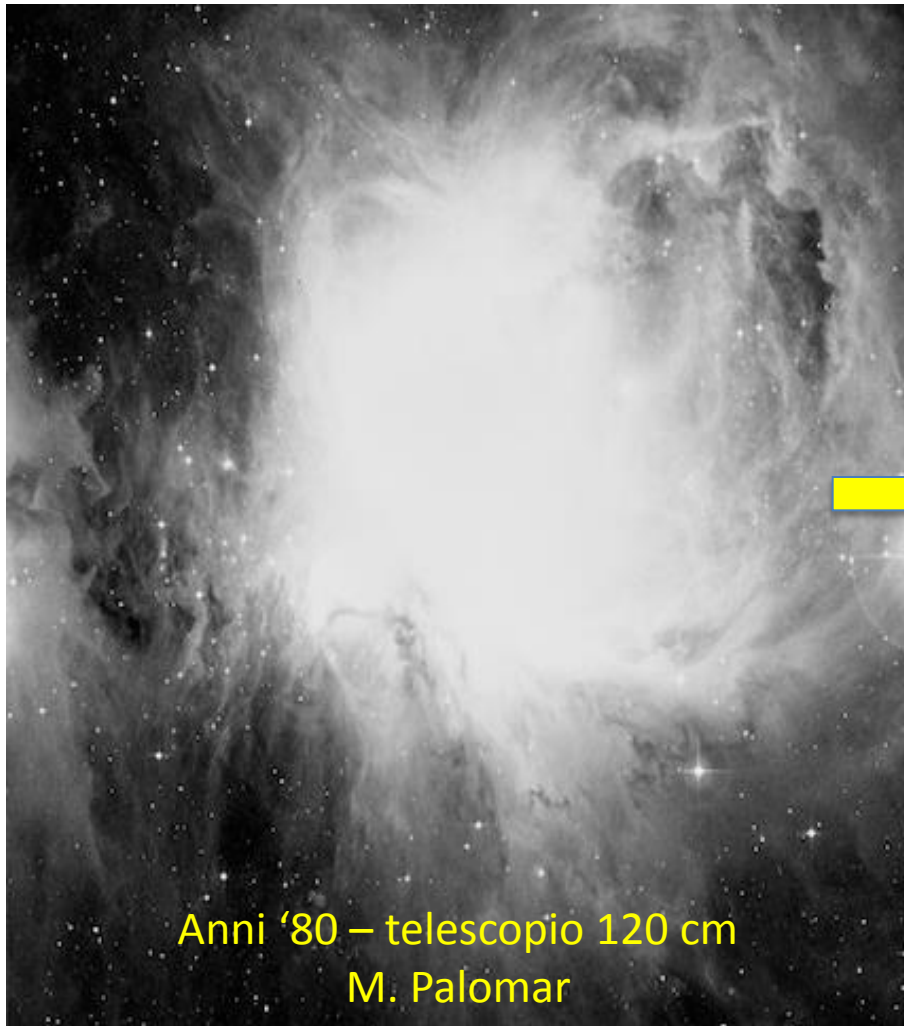
L'emulsione fotografica "integra" la luce e consente di registrare cose *invisibili* all'occhio



Orion Nebula - Andrew Ainslie Common 1883

I telescopi e la fotografia permettono a Hubble di scoprire l'espansione dell'Universo





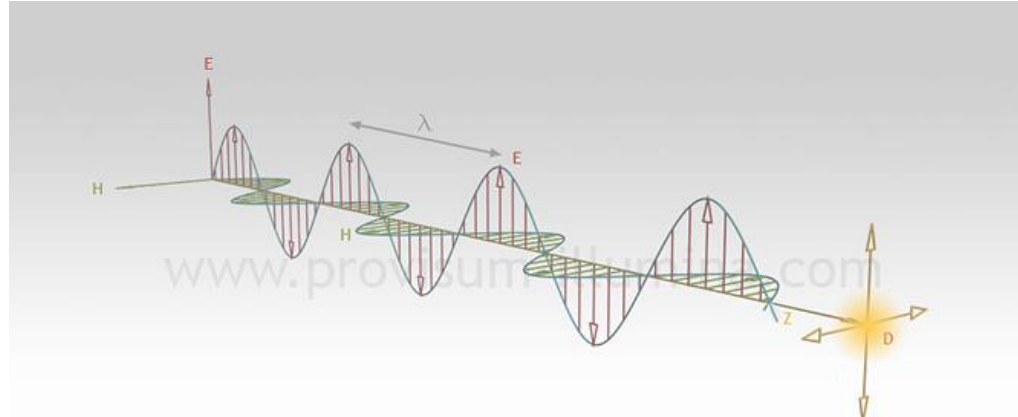
Cosa è accaduto nel frattempo ?...

Laboratori Nazionali di Frascati - 23 maggio 2015

1905

La teoria dei quanti di luce (Einstein)

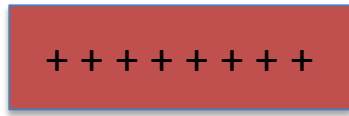
La luce è un'onda
(elettromagnetica)



... ma anche una
particella:
il fotone

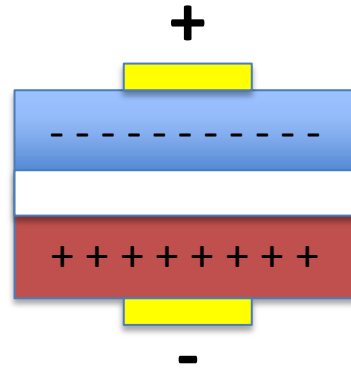
Negli anni 50 del '900 nasce **l'elettronica allo stato solido**





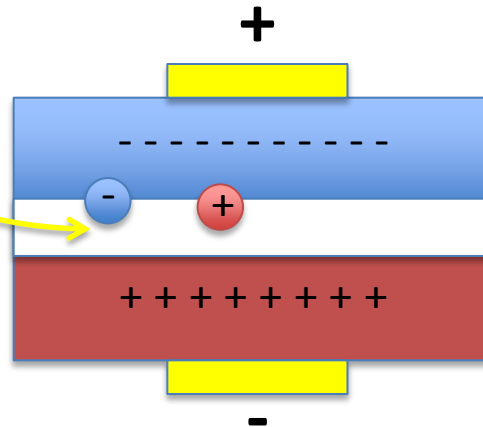
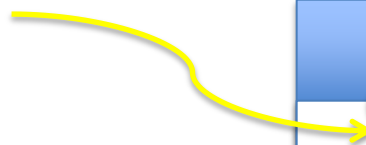
Diamo un po' di droga
al Silicio...

*Cosa possiamo fare con
un semiconduttore ?...*



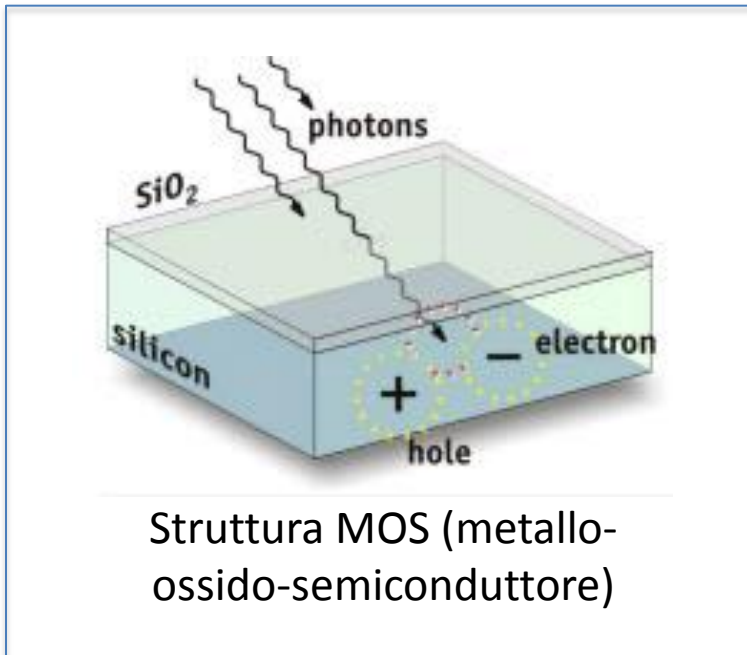
Qui si crea una "giunzione"
Dove non ci sono cariche
libere

Arriva un fotone



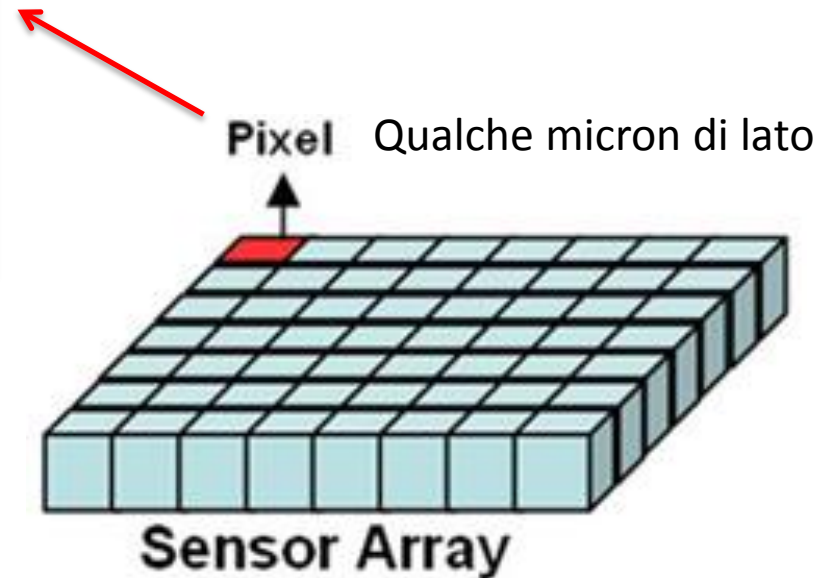
... si crea una
coppia carica

E se riuscissimo a conservare la carica ?...



... si può fare !

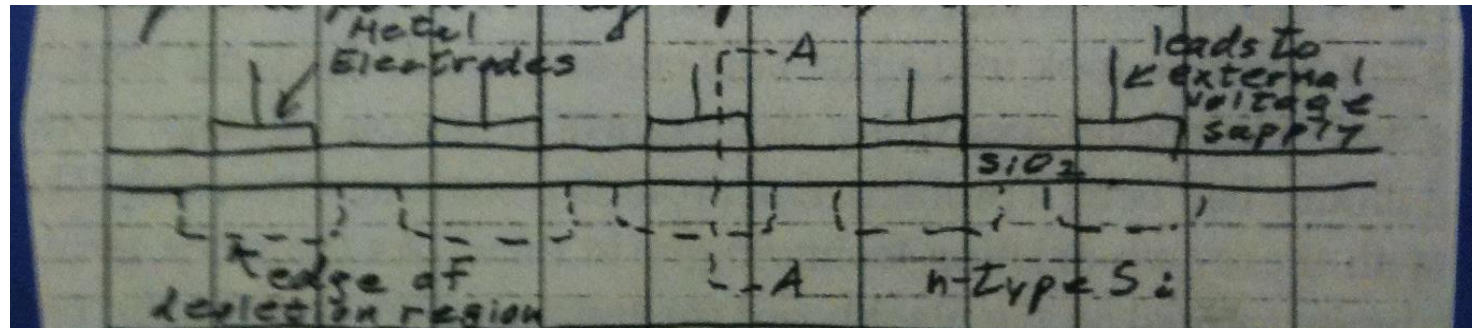
Mettiamo tanti "pixel" insieme...
(anche milioni)



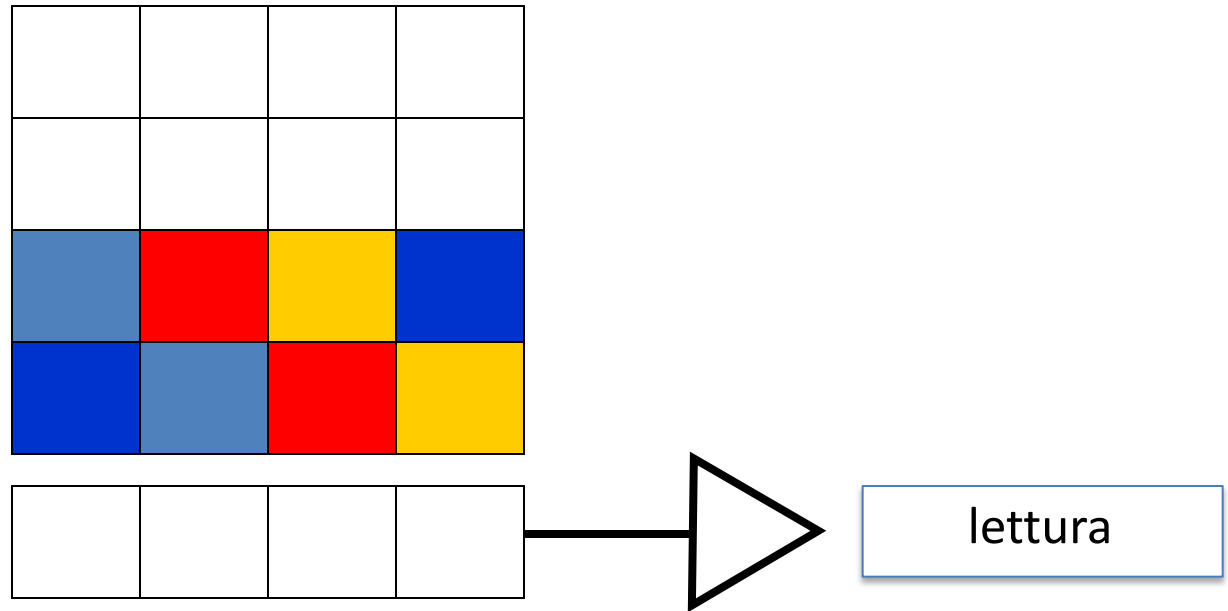
Abbiamo costruito una "lastra" fotografica allo stato solido !

Come facciamo a “leggerla” ?

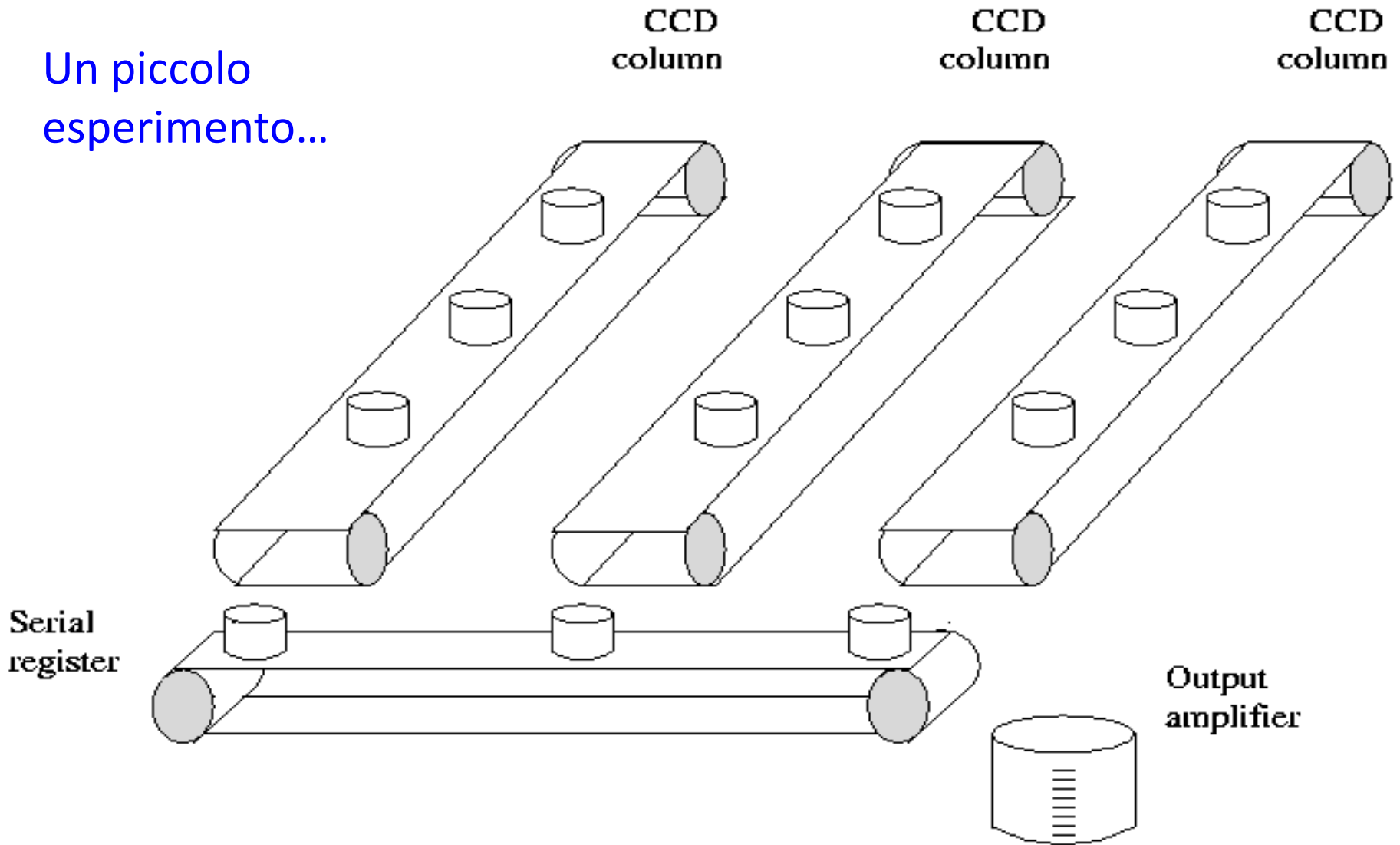
Nel 1969, Willard Boyle e George Smith hanno un’idea...



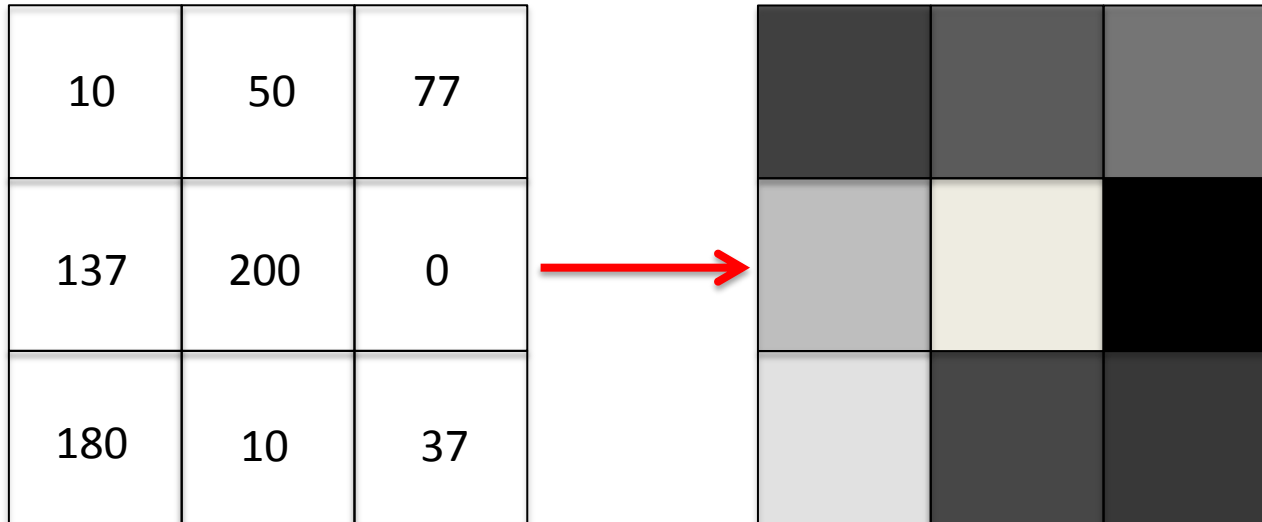
Un modo per “leggere” il nostro dispositivo



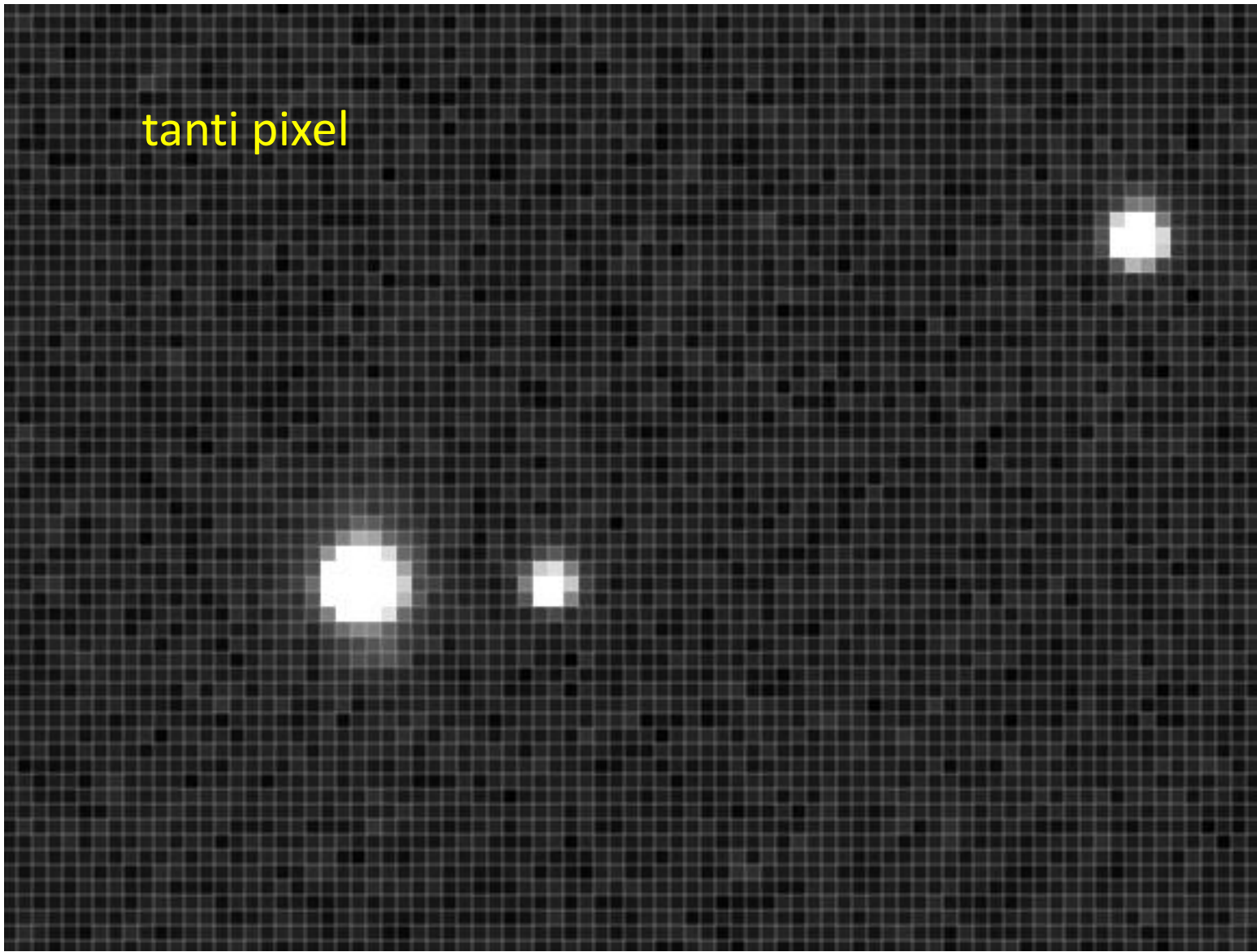
Un piccolo esperimento...



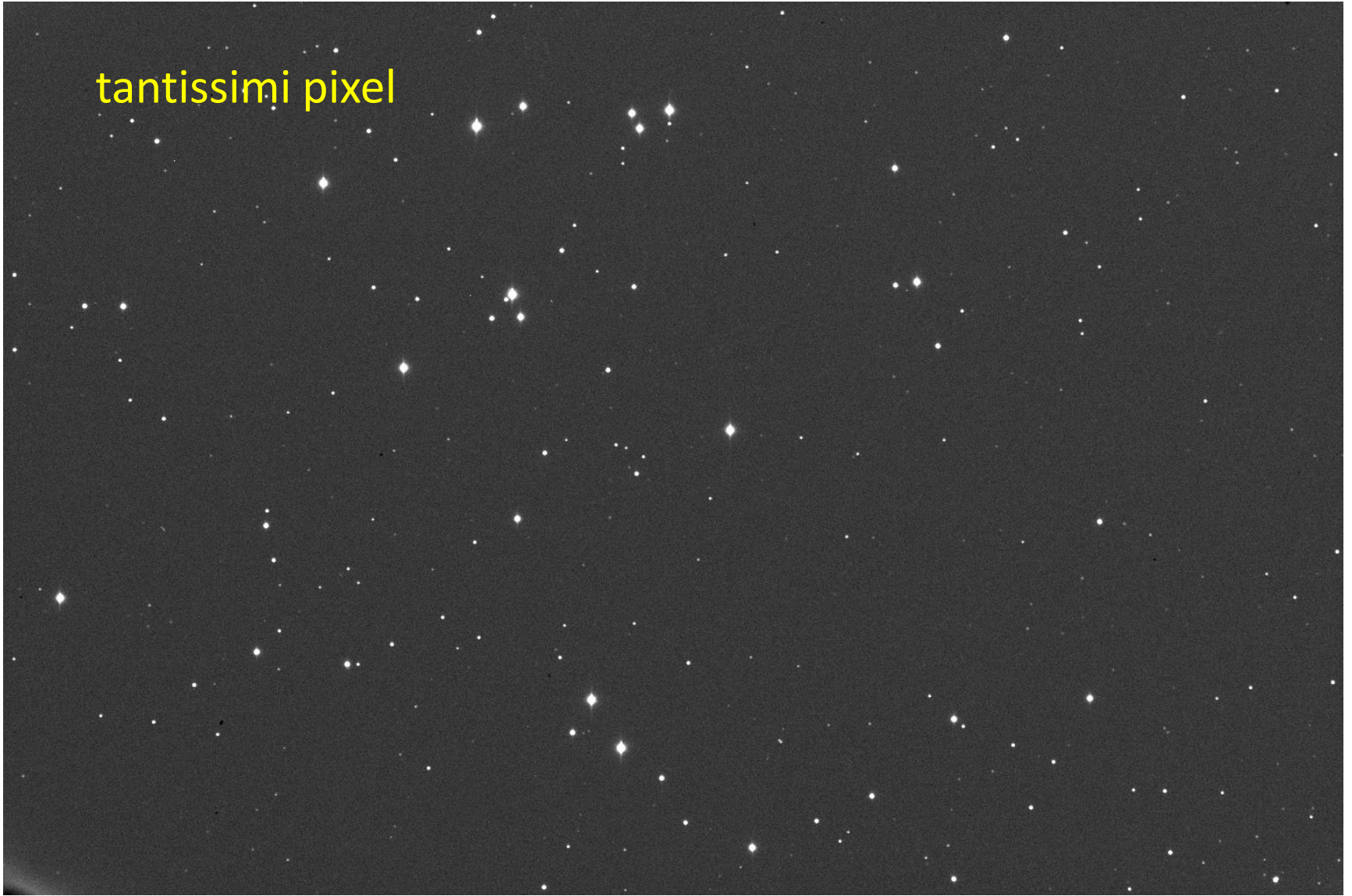
Da una “mappa” di numeri a una rappresentazione in toni di grigio



tanti pixel

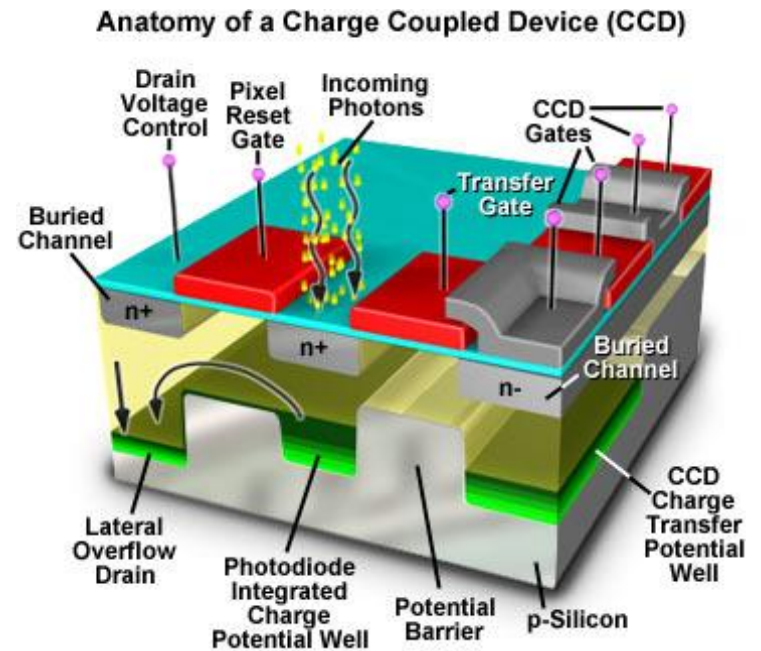
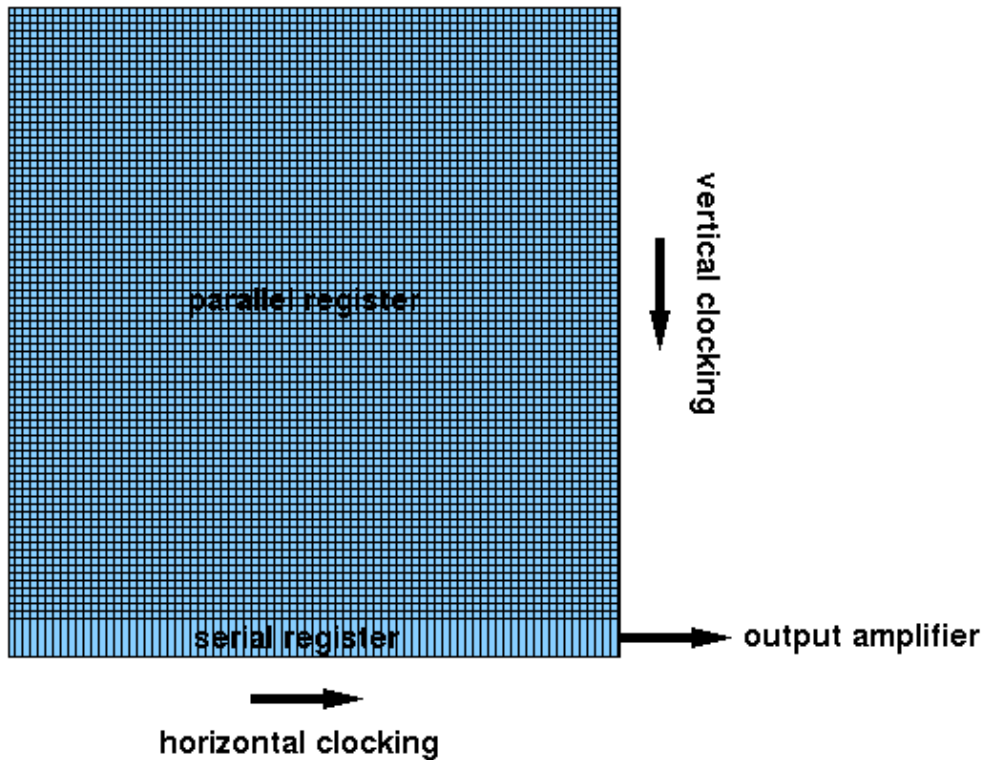


tantissimi pixel



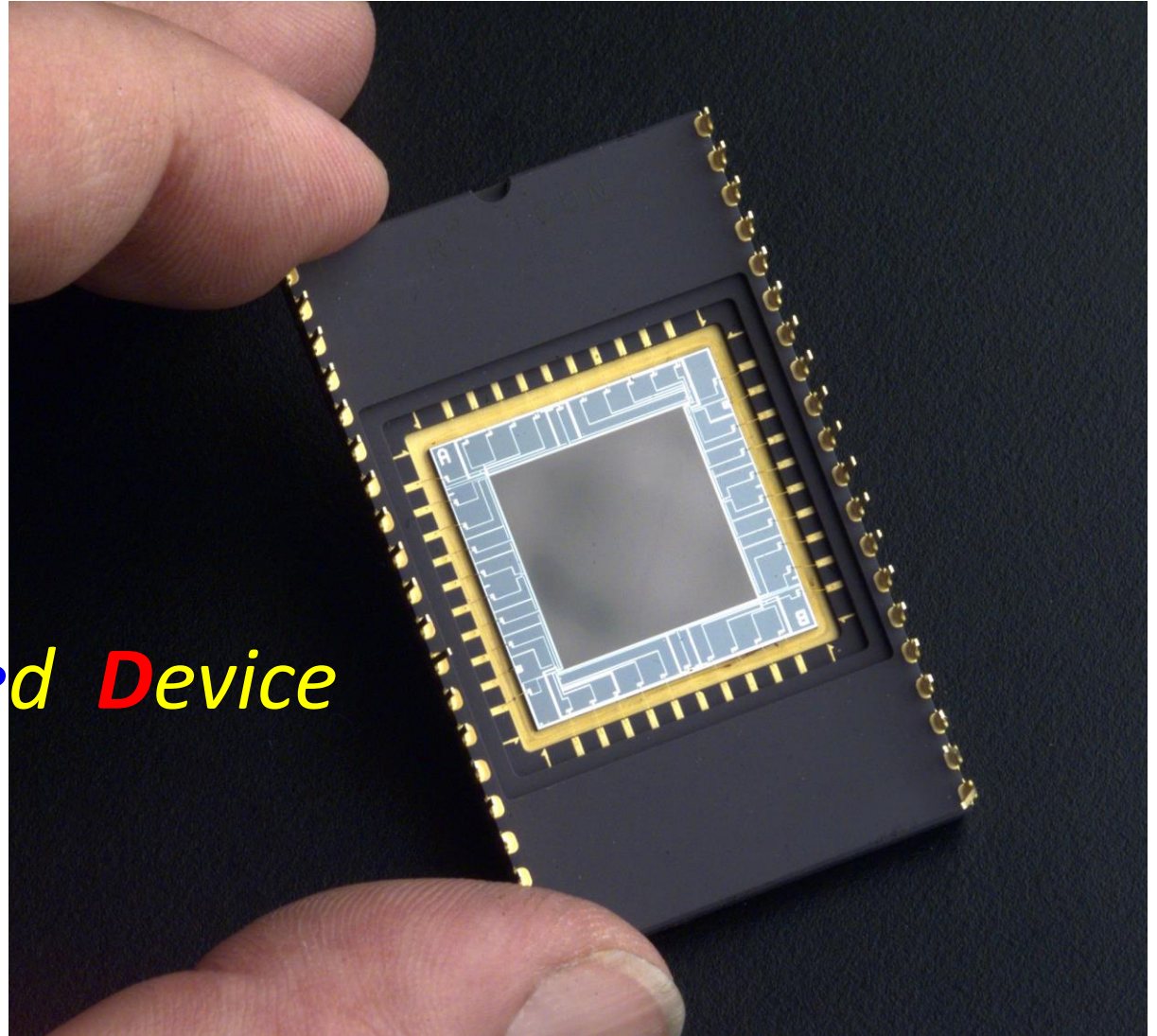


Nella pratica non è semplicissimo da fare...

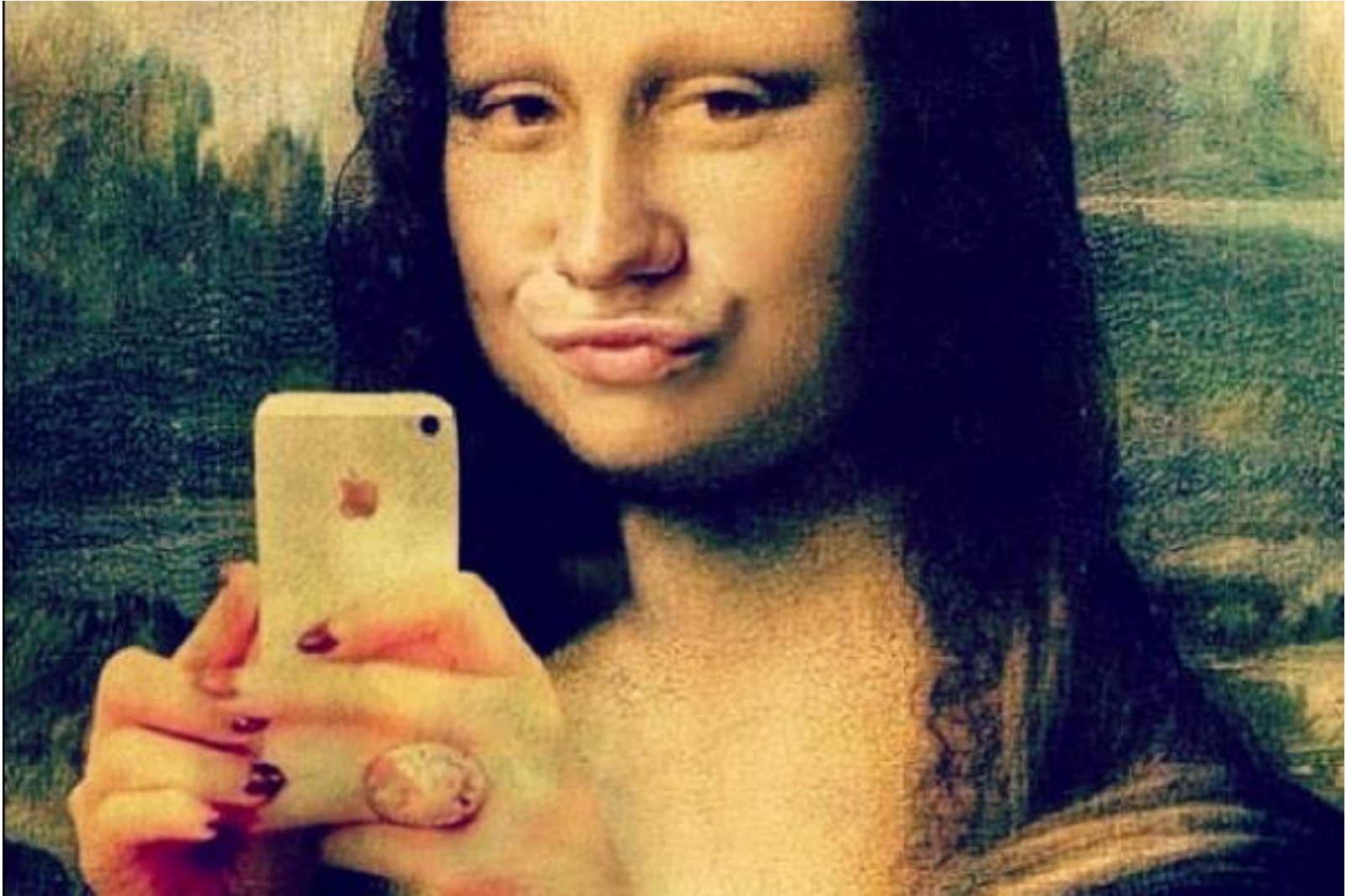


Abbiamo
“inventato” il
CCD

Charge Coupled Device



I vantaggi del CCD: *1. Vedere immediatamente*

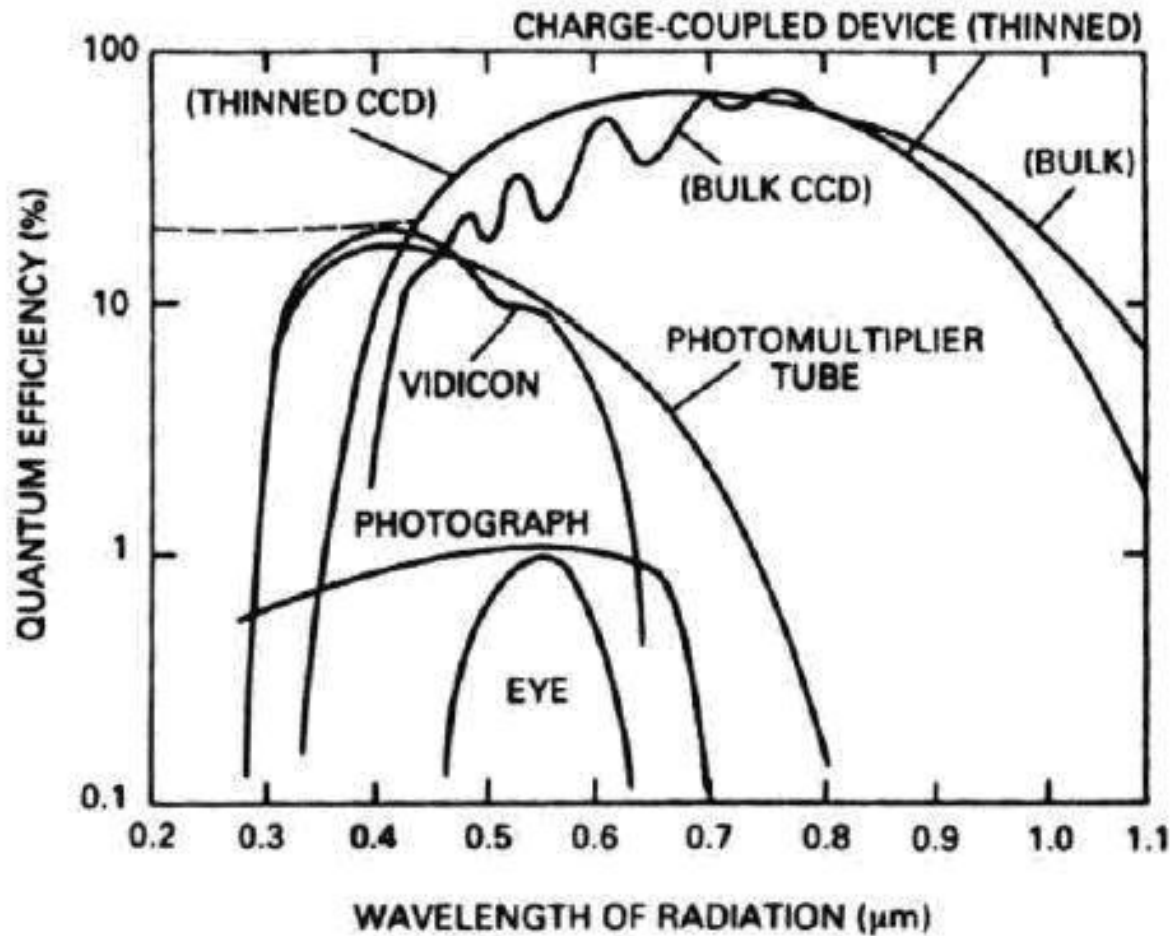


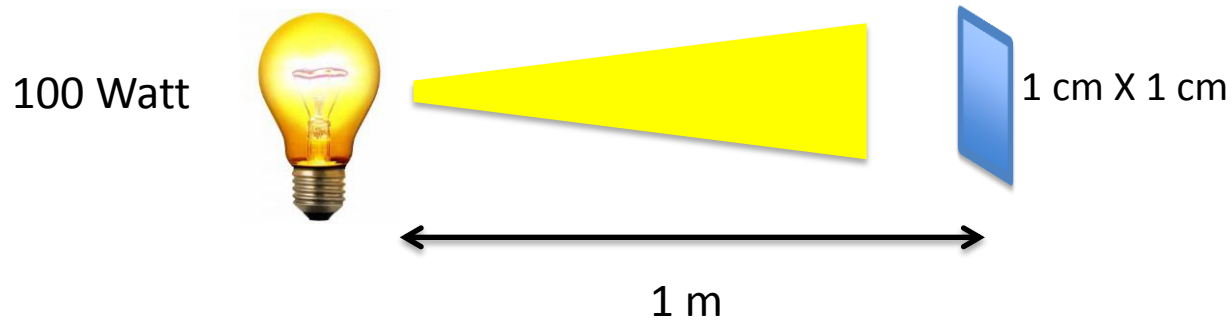
I vantaggi del CCD: 2. Vedere da qualsiasi luogo



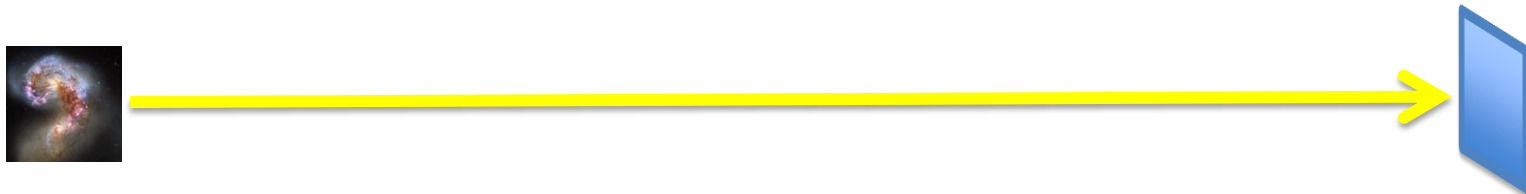
I vantaggi del CCD:

3. Il CCD è il dispositivo più “sensibile” alla luce che sia mai stato inventato





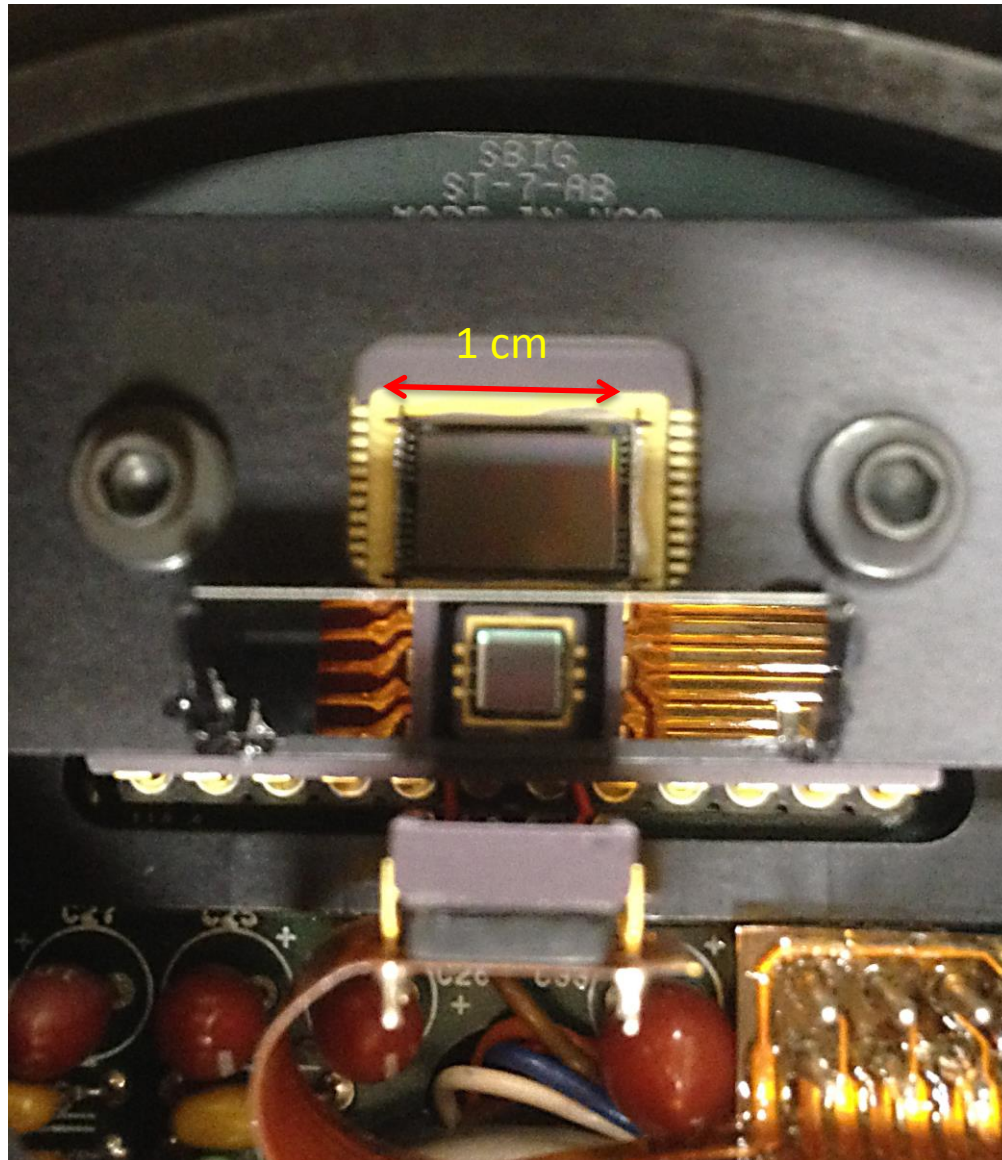
Circa 1.000.000.000.000.000 fotoni al secondo

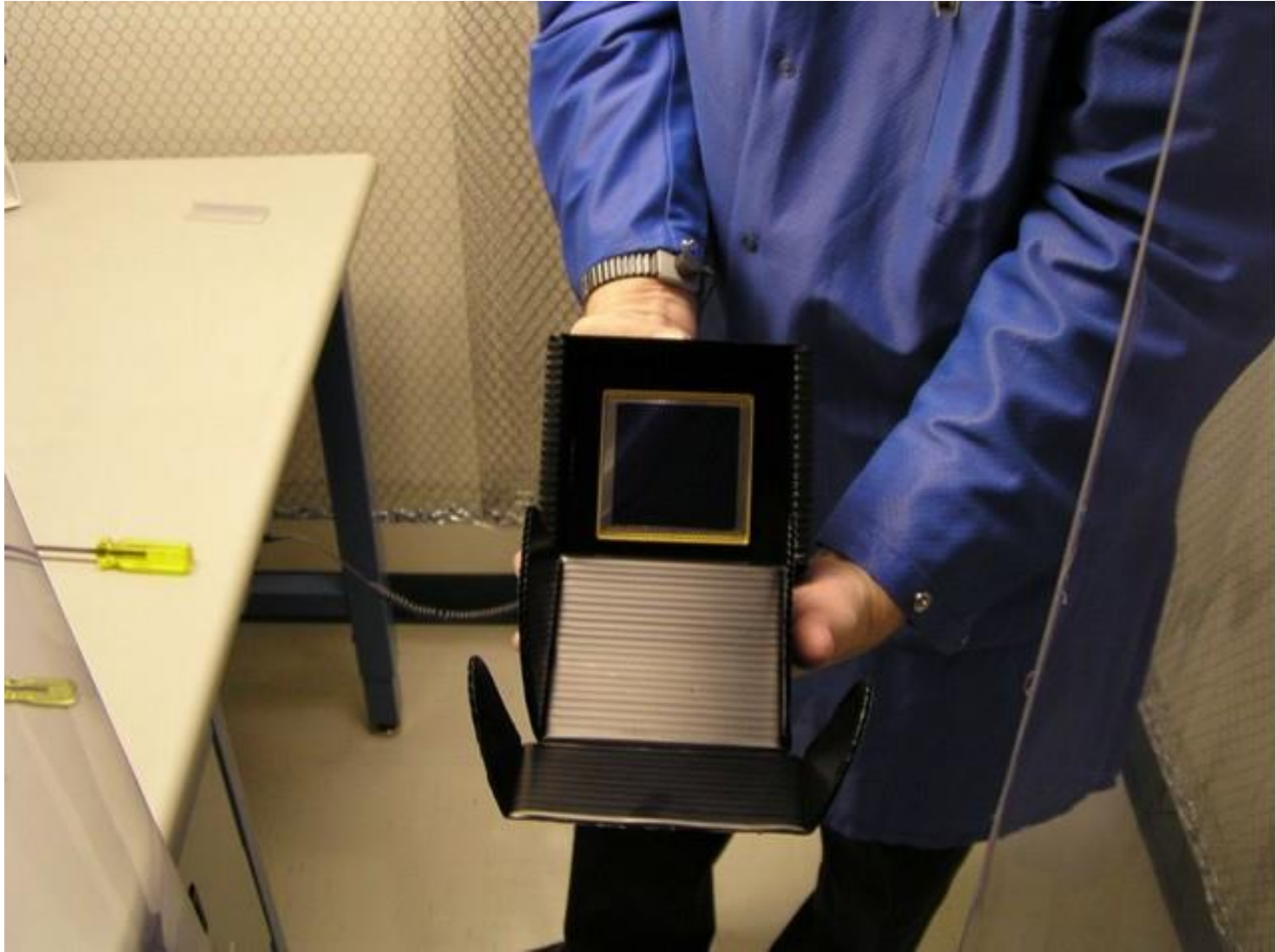


A very far away galaxy...

Circa 1 fotone ogni 80 ore !!

Con i CCD (e i grandi telescopi) lo misuriamo !







The Nobel Prize in Physics 2009

"for groundbreaking achievements concerning the transmission of light in fibers for optical communication"

"for the invention of an imaging semiconductor circuit – the CCD sensor"

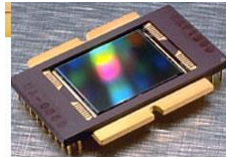
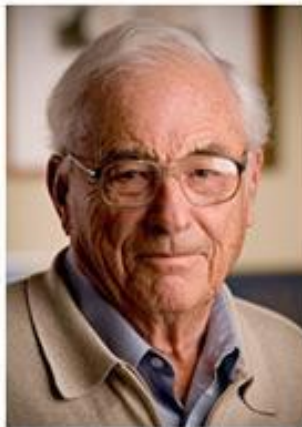


Photo: Richard Epworth

Charles K. Kao

1/2 of the prize



Copyright © National Academy of Engineering

Willard S. Boyle

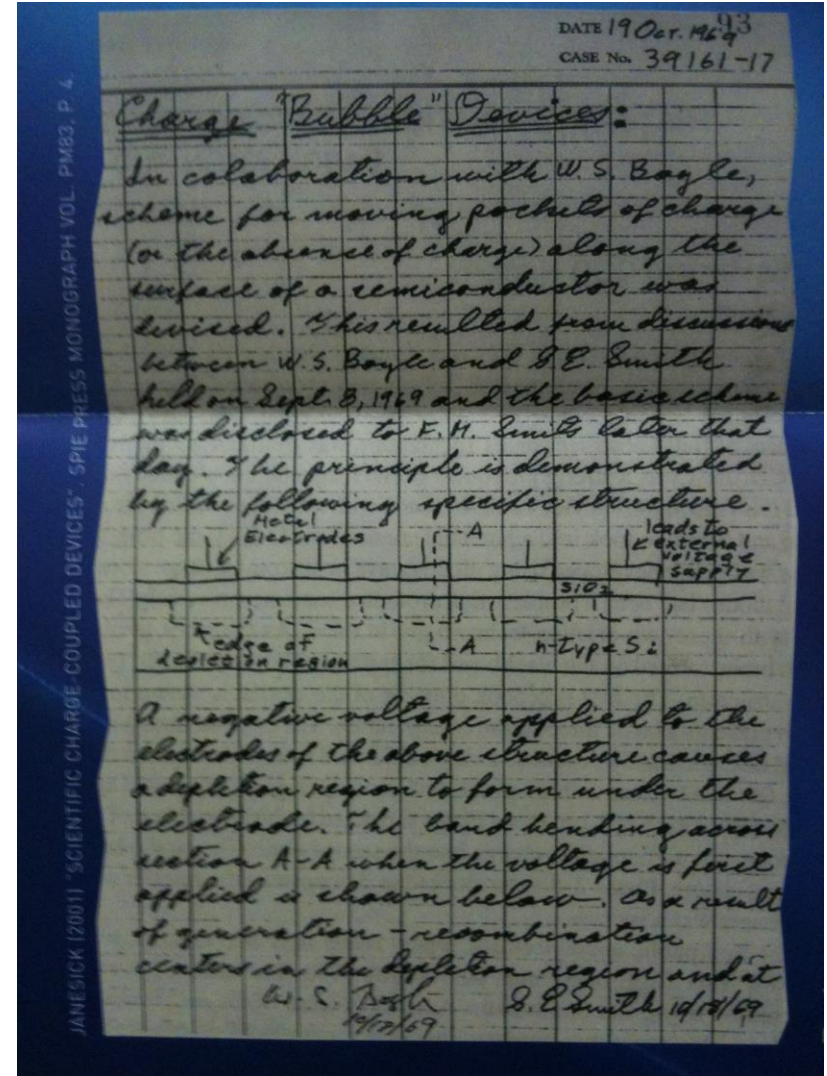
1/4 of the prize



Photo: National Inventors Hall of Fame Foundation/SCANPIX

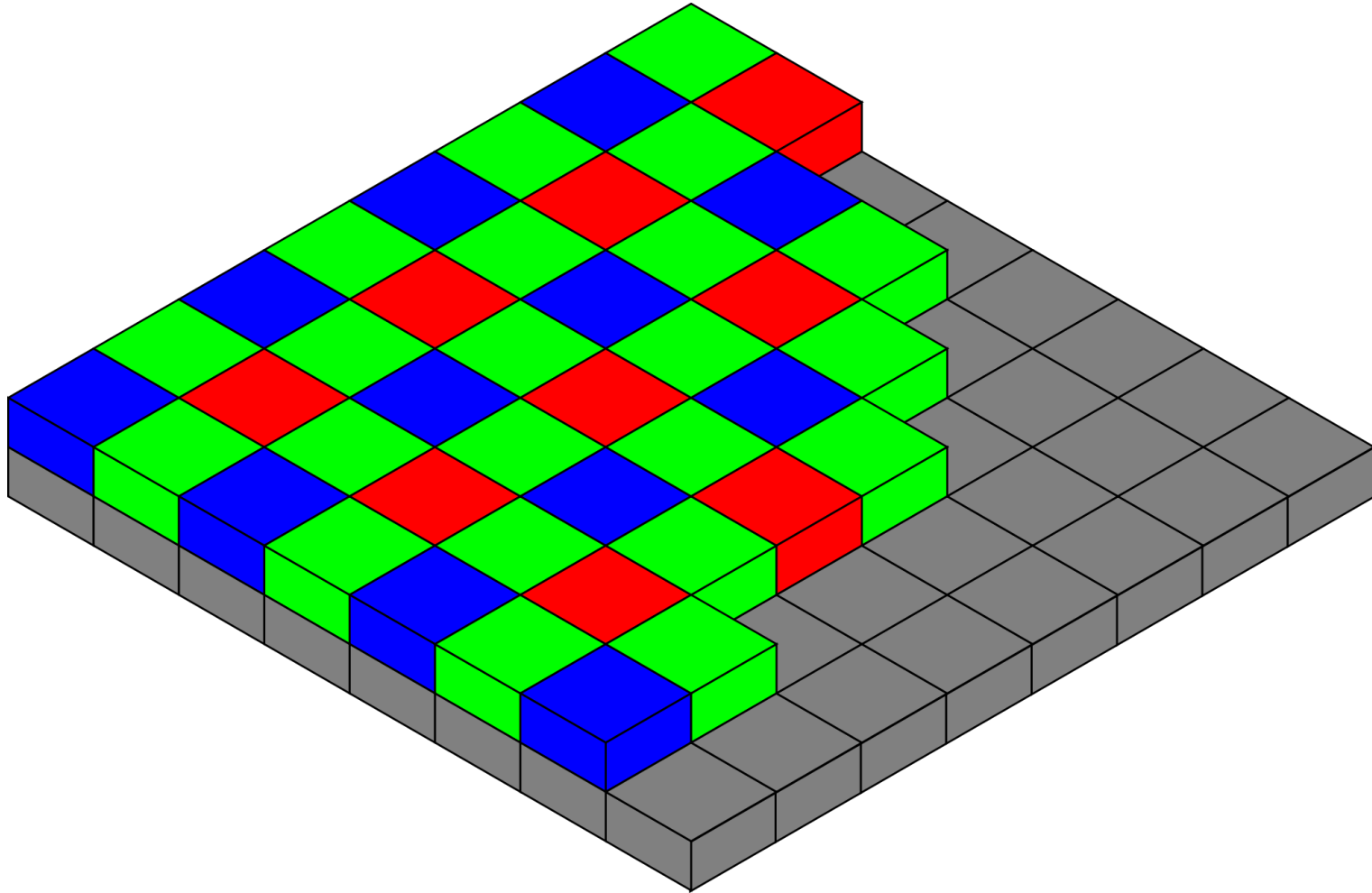
George E. Smith

1/4 of the prize



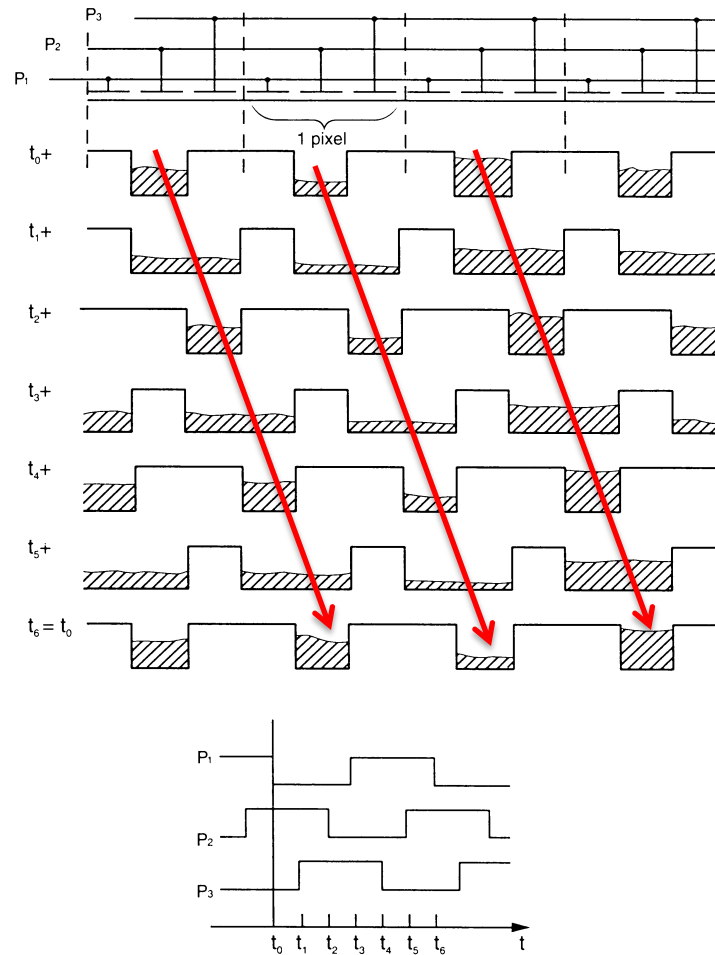


to be continued...



Matrice di Bayer

Meccanismo di Readout di una colonna



Al termine di un ciclo di clock la carica si è spostata di un pixel

