



# La Misura del Mondo

## 6 - Le Galassie

Bruno Marano

Dipartimento di Astronomia  
Università di Bologna



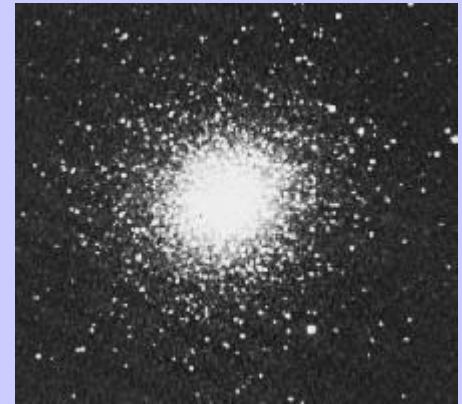
## La Galassia e le nubi di Magellano

© Tom Polakis

Bruno Marano  
La Misura del Mondo 6

# Le nebulose

L'idea ottocentesca che l'Universo si identificasse col sistema di stelle di cui il sole era parte fu messa in crisi dallo studio di tenui sorgenti di luce di aspetto diffuso, simili a nubi luminose, definite per questo “nebulose”. Le più famose e brillanti erano note da secoli (l'esistenza della nebulosa nella costellazione di Andromeda fu per la prima volta registrata dall'astronomo persiano Al-Sufi nel 964 d.C.). Molte erano state catalogate dall'astronomo Messier nel XVIII secolo. Diverse, di forma sferoidale (Messier 3 e Messier 15, per esempio), apparvero essere costituite di stelle già con telescopi di modesta portata. Alcune, tra cui la famosa Messier 51, erano state osservate visualmente dal Lord Rosse attorno al 1850 col più grande telescopio dell'epoca e mostravano avere una struttura a spirale.



Prima immagine di una  
nebulosa a spirale (M51)

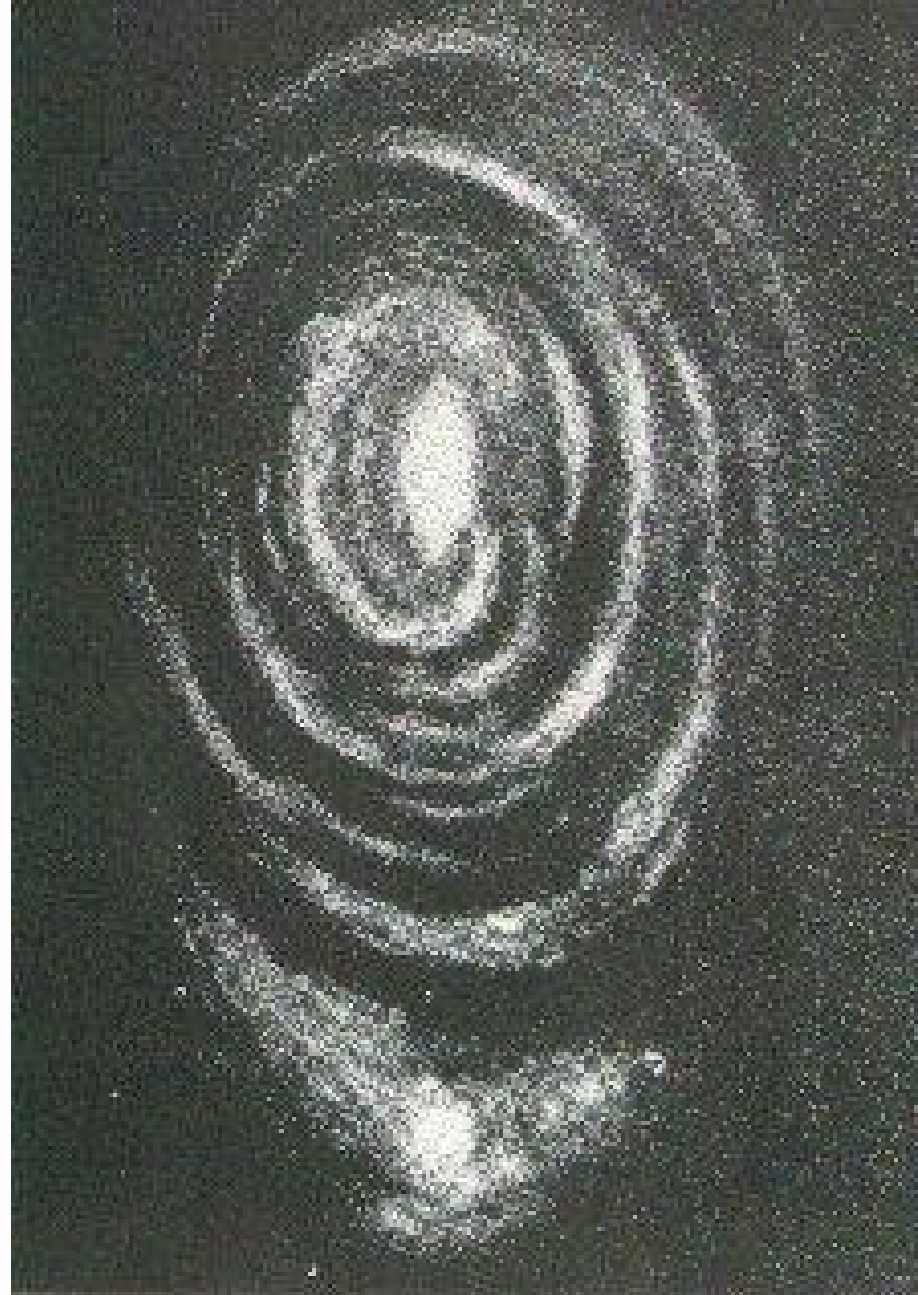
Lord Rosse (Irlanda)  
1850 c.a



Il Marconi  
tura del Mondo 6



Il confronto con un'immagine  
fotografica moderna



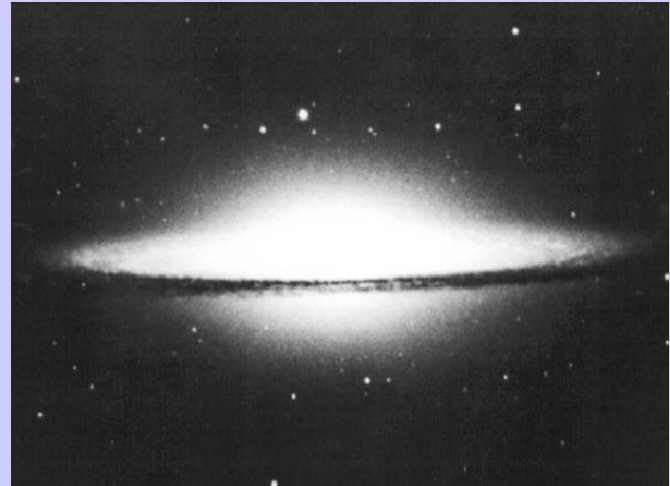


L'osservazione fotografica o digitale rende ben osservabile la struttura di molte nebulose, che all'osservazione visuale risultano sorgenti di luce diffuse e informi.

Molte hanno nomi di fantasia, o riferiti alla costellazione di cui fan parte, accanto a neutri nomi di catalogo (la nebulosa di Andromeda, per esempio, è individuata dalla sigla NGC224).

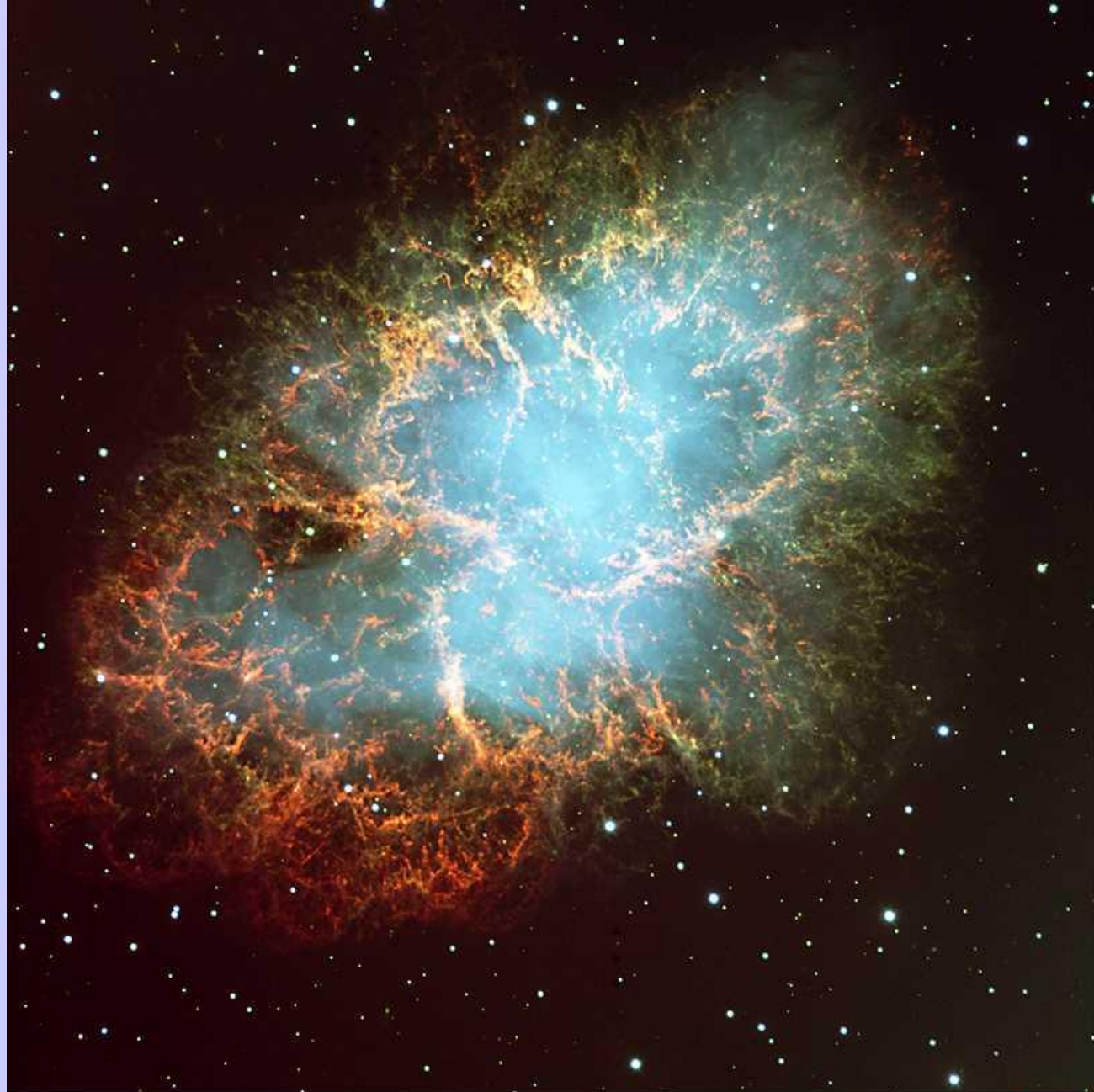


La nebulosa  
“America del Nord”



Il “Sombrero”

# La nebulosa del Granchio (ESO)



The Crab Nebula in Taurus (VLT KUEYEN + FORS2)

La nebulosa  
“Testa di Cavallo”





# La nebulosa di Andromeda

(Mt. Palomar)



# La nebulosa del Centauro





Giant Interacting Galaxies NGC 6872 / IC 4970  
(VLT ANTU + FORS1)

ESO PR Photo 20b/99 ( 30 April 1999 )

© European Southern Observatory







Spiral Galaxy NGC 1232 - VLT UT 1 + FORS1



# C'è qualcosa oltre i limiti della Via Lattea?

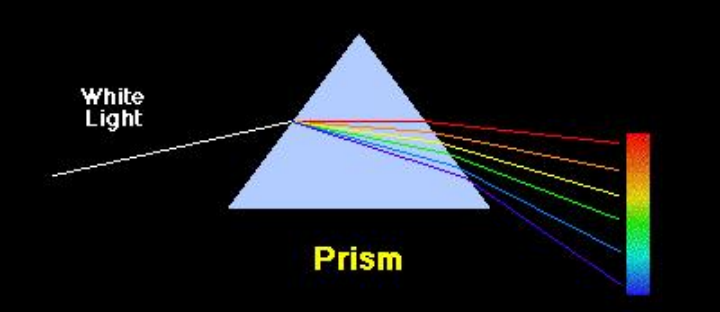
Nel XIX secolo si sviluppò un intenso dibattito: le “nebulose” erano aggregazioni di gas appartenenti alla nostra Galassia? O non erano piuttosto sistemi di stelle così lontani per cui le singole stelle erano non osservabili con gli strumenti disponibili? Lo stesso era accaduto con la Via Lattea prima di Galileo e con gli ammassi globulari fino alla costruzione di telescopi abbastanza potenti. Potevano le “nebulose” essere risolte in stelle da telescopi più potenti?



# Riconoscere le stelle nelle nebulose: “forza bruta” e “astuzia”

L'inizio della astronomia fotografica permise, all'inizio del XX secolo, di concludere che molte nebulose presentavano una tipica struttura a spirale; anche coi telescopi più potenti dell'epoca non era possibile verificare se fossero composte di singole stelle. Restavano due possibilità: una era che fossero agglomerati gassosi interni o adiacenti alla nostra Galassia; l'altra che si trattasse di sistemi di stelle tanto lontani da non consentire che le singole stelle, incluse le più brillanti, fossero osservabili al telescopio. Se questa seconda ipotesi era corretta, queste “nebulose” dovevano trovarsi all'esterno del nostro sistema di stelle (la Galassia) e ben lontane dai suoi confini. Per verificarla occorreavano telescopi più potenti, capaci di osservare stelle molto deboli.

In alternativa, si poteva svelare la presenza di stelle, senza “vederle”, attraverso le proprietà della luce emessa dalle galassie. L'analisi della luce scomposta (“spettro”) della nebulosa di Andromeda mostrò che essa era senza dubbio costituita di stelle, prima che la tecnica consentisse di osservarle direttamente.

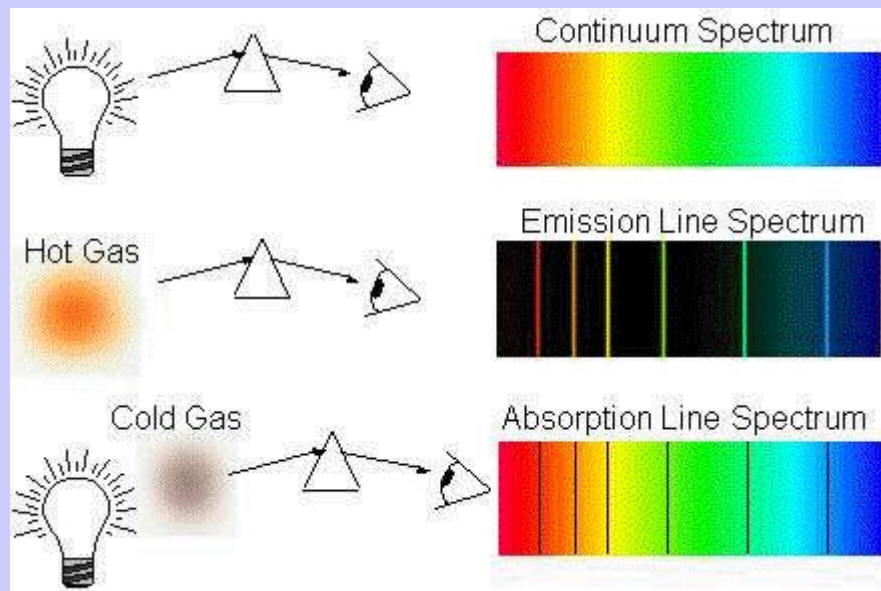


# Spettri

Corpo solido: spettro continuo

Gas diffuso caldo: “righe” di emissione, no continuo

Stella: spettro continuo con “righe” di assorbimento



- Parte delle nebulose mostra uno spettro a righe: sono costituite di gas diffuso
- Altre mostrano uno spettro tipicamente dovuto a stelle: tra queste tutte le nebulose a spirale e molte nebulose sferoidali
- Andromeda fu la prima nebulosa che risultò sulla base dello spettro della sua luce esser composta principalmente di stelle (1912)

# Dalla Galassia alle Galassie

Nel corso degli anni '20 un acceso dibattito, inizialmente confinato all'astronomia nordamericana, portò alla conclusione che le “nebulose spirali” erano al di fuori della nostra galassia e costituivano degli “universi isola”, simili alla nostra Galassia. Erano, cioè, *Galassie*: il termine, che un tempo, al singolare, indicava un unico sistema nel cielo, il nostro sistema di stelle, si trasformò per indicare la moltitudine di sistemi di stelle che costituivano l'Universo.

Quanto erano lontani?

*Una stima indiretta (Opik, 1920) poneva Andromeda a 450Kpc, pari a 20 volte il diametro della Galassia (non male, data l'epoca e il metodo, ora il valore accettato è 750 Kpc).*

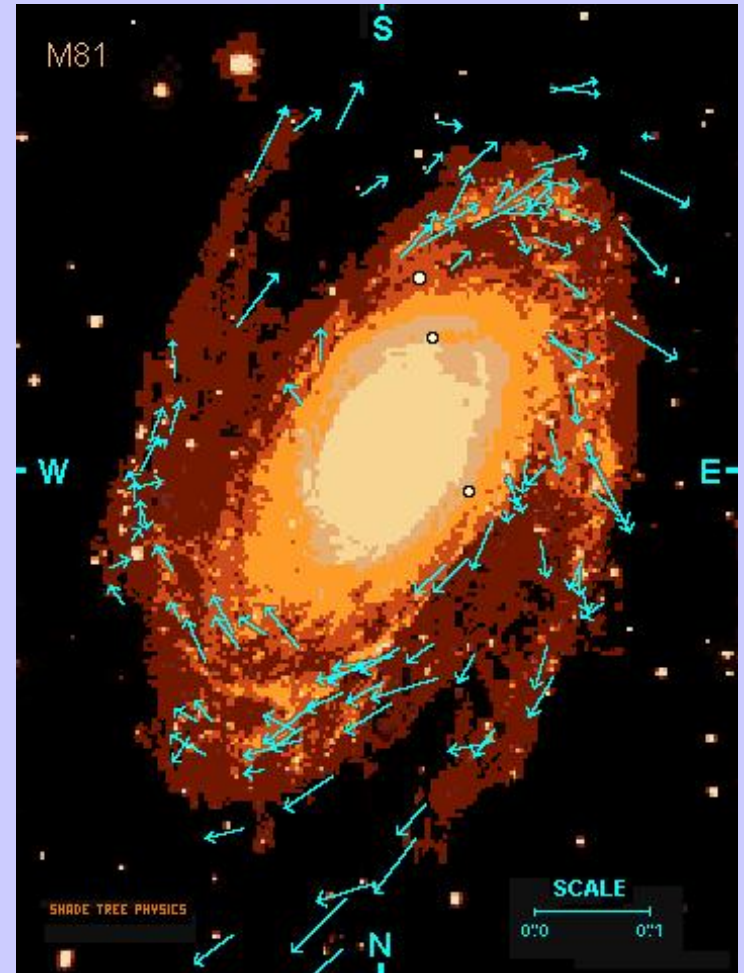
Come si muovevano?

Erano tutti d'accordo sulla loro natura?



# Si fanno anche errori....

Nel 1916 fu pubblicato uno studio dei “moti propri”, cioè dei moti sul piano del cielo, in alcune nebulose a spirale. La velocità associata al “moto proprio” cresce al crescere della distanza della sorgente. Ponendo le nebulose in questione fuori dalla nostra galassia le velocità risultavano confrontabili con la velocità della luce. Conclusione: non erano “Universi isola” esterni alla Galassia, ma oggetti molto più vicini. Risultò poi che quelle misure erano in errore. I moti propri non erano osservabili: le galassie ci appaiono in realtà “immobili” nel cielo.



# Un esempio di Galassia risolta in stelle (IC5152, European Southern Observatory)



Nota: la stella brillante appartiene alla Via Lattea. E' quindi "davanti" a IC5152. I suoi "baffi" sono un artefatto dovuto al telescopio.

# L'effetto Doppler,

ovvero come misurare la velocità di una sorgente tramite la sua luce

Nel tempo  $(t_{S1}-t_{S0})$  la sorgente S, in moto rispetto a A con velocità  $V$ , emette  $n$  onde (“colpi”), che si propagano a velocità  $c$  verso A.

L'onda emessa al tempo  $t_{S0}$  viene ricevuta da O dopo un tempo  $t_{A0} = t_{S0} + d/c$  (1);

L'onda emessa al tempo  $t_{S1}$  viene ricevuta da O dopo un tempo  $t_{A1} = t_{S1} + [d - V \cdot (t_{S1}-t_{S0})]/c$  (2).

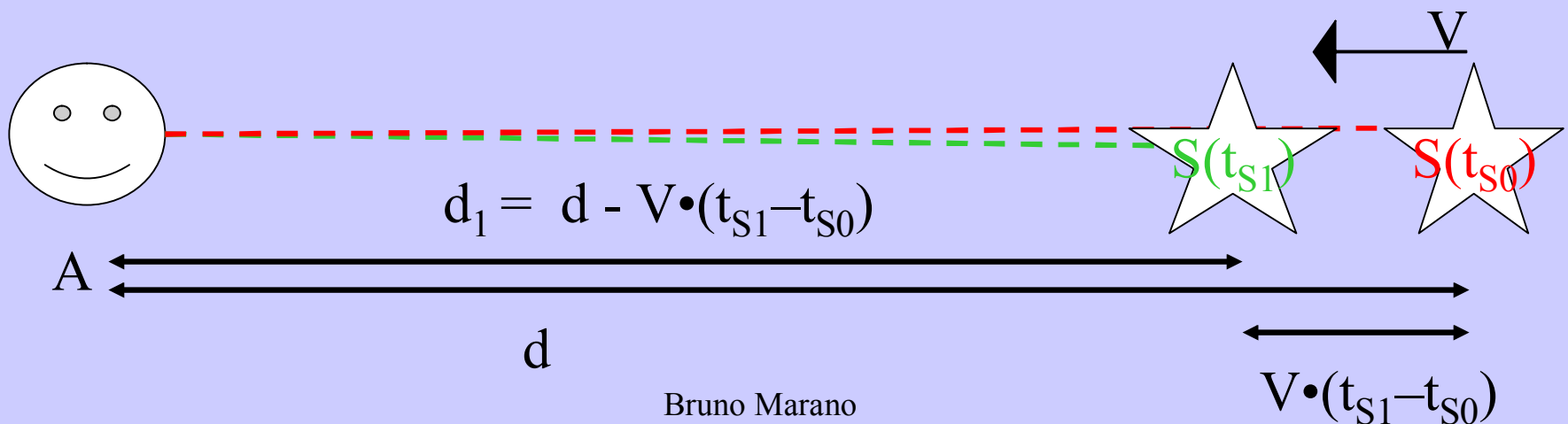
Lo stesso numero  $n$  di onde è quindi ricevuto da A in un tempo che si ottiene sottraendo (1) da (2):

$$t_{A1} - t_{A0} = (t_{S1} - t_{S0}) \cdot [1 - V/c]$$

In arrivo il tempo che intercorre tra il primo e l'ultimo “colpo” è minore che in partenza:

la frequenza delle onde in partenza è  $\nu = n / (t_{S1} - t_{S0})$ ; in arrivo è  $\nu' = n / (t_{A1} - t_{A0}) = \nu / [1 - V/c]$ .

Se S si allontanasse da A, la frequenza sarebbe diminuita  $\nu' = \nu / [1 + V/c]$ .



*segue*

## L'effetto Doppler,

ovvero come misurare la velocità di una sorgente tramite la sua luce

Frequenza  $\nu$  e lunghezza d'onda  $\lambda$  della luce sono connesse dalla relazione  $c = \nu \cdot \lambda$ , con  $c$  costante. Ne segue che, per effetto della velocità relativa tra sorgente  $S$  e osservatore  $A$ , la lunghezza d'onda cambia dal valore originale  $\lambda$  al valore  $\lambda'$ , con

$$\lambda' = \lambda \cdot [1 + V/c] \quad \text{cioè} \quad (\lambda' - \lambda) / \lambda = V/c$$

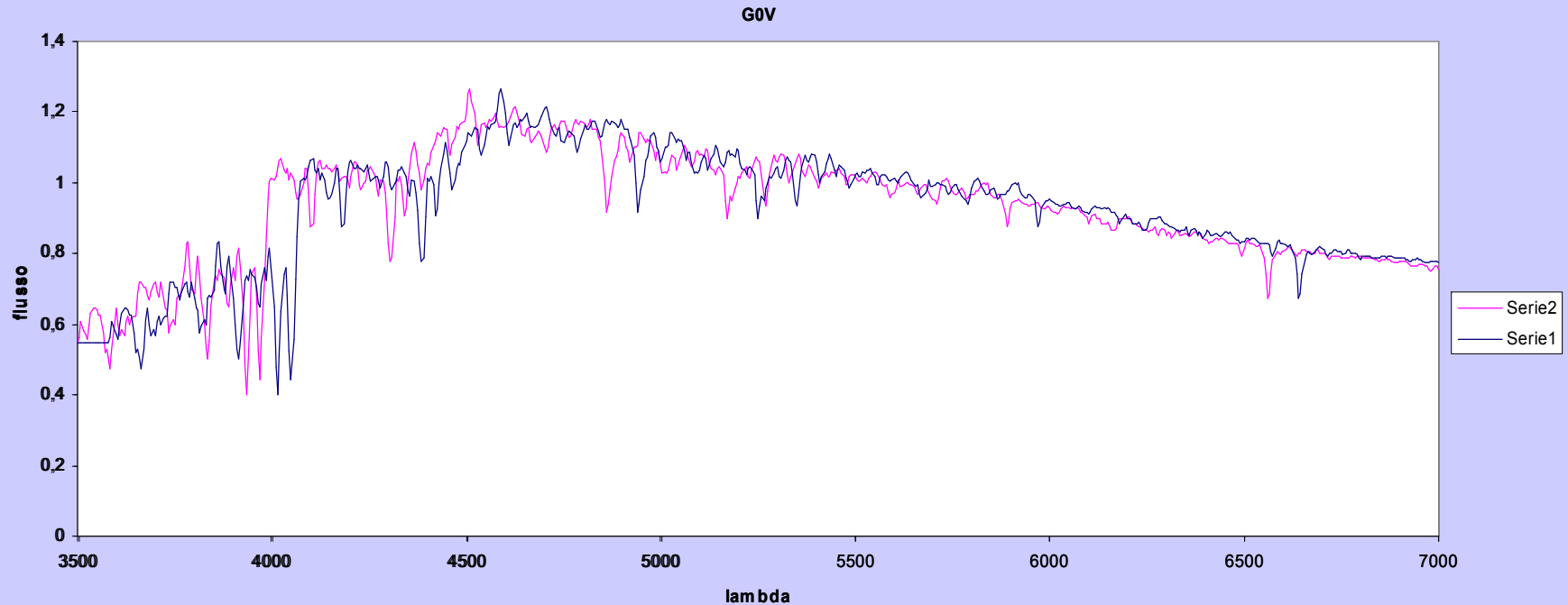
La misura di  $\lambda'$  e  $\lambda$  consente quindi di misurare  $V$ . Occorre identificare una riga di lunghezza d'onda nota  $\lambda$  in laboratorio e riconoscerla alla lunghezza d'onda  $\lambda'$ .

Questa tecnica fu usata per misurare la velocità delle stelle, usando righe di assorbimento dovute a elementi noti (p.e. H, Ca, Na, Mg). Per le stelle si ottengono velocità dell'ordine di 10-100 Km/sec (non sorprendenti, la stessa Terra gira attorno al Sole con velocità di 30 Km/sec).

La stessa tecnica applicata alla nebulosa di Andromeda mostrò che essa si avvicina con velocità di 50 Km/sec. Nulla di strano. Ma quando Hubble iniziò a misurare le velocità di un certo numero di nebulose più deboli e più lontane, queste mostrarono velocità enormi, tutte regolarmente in allontanamento.

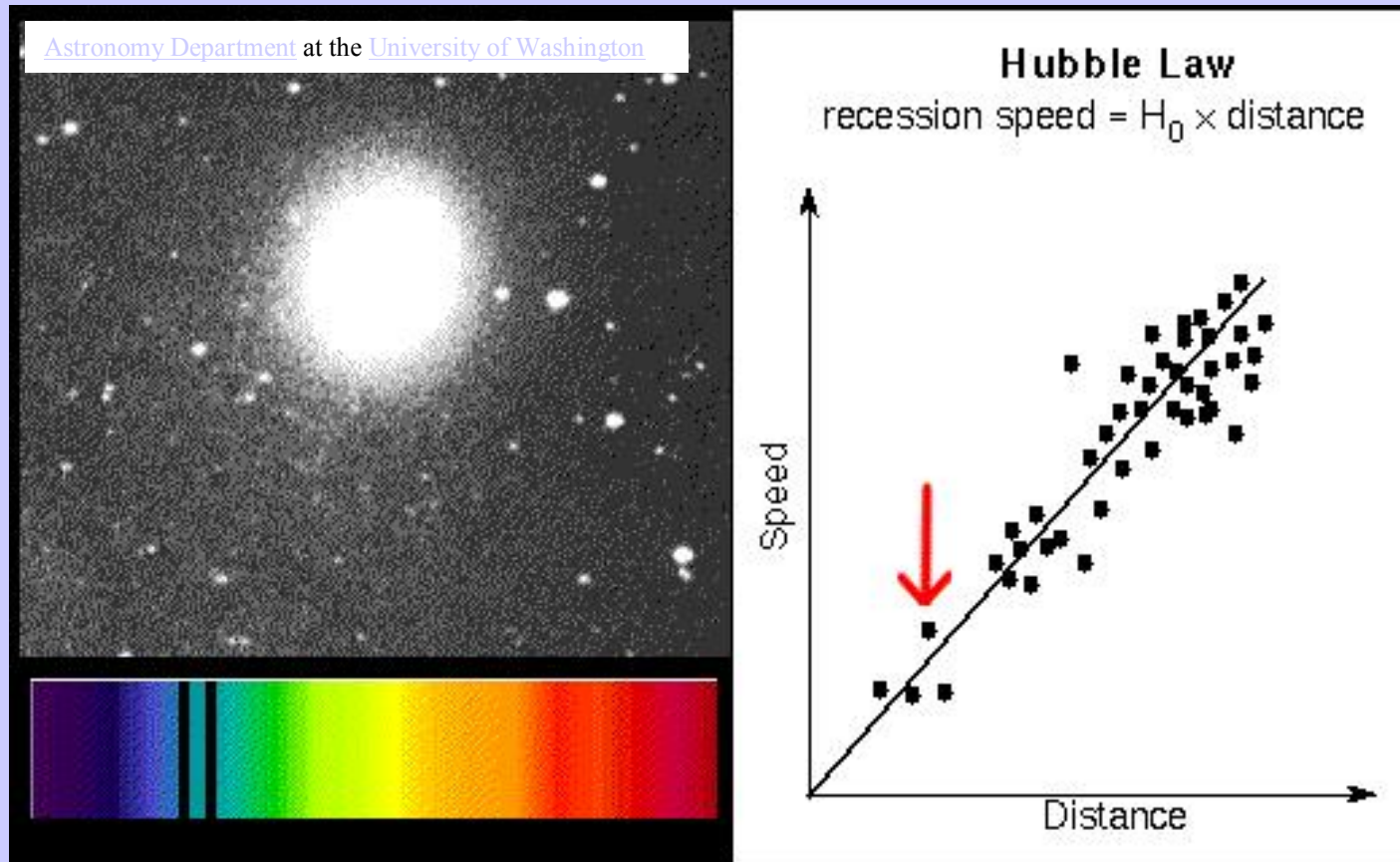


# Spettro della luce di una stella di tipo solare



Un secondo spettro, di cui è riconoscibile lo spostamento in  $\lambda$ ,  
simula una diversa velocità

La misura di Hubble fu basata inizialmente sulla identificazione di due righe caratteristiche del Calcio dette K e H, che sono generate in stelle di tipo solare, in galassie sferoidali dominanti ammassi di galassie. La luminosità delle galassie venne assunta come indicatore di distanza



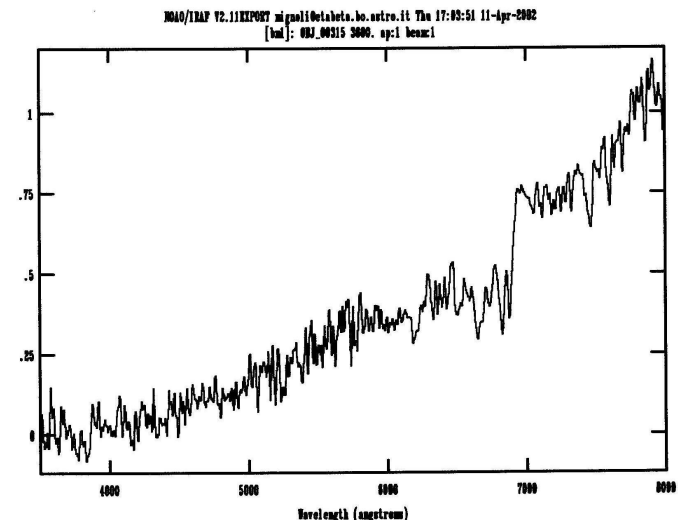
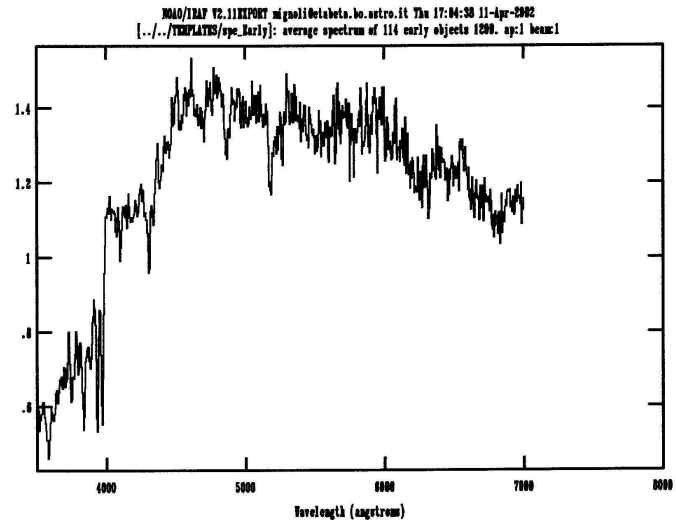
*Lasciate scorrere l'animazione*

Un esempio più  
“professionale”:

L'immagine in alto mostra  
lo spettro di una galassia  
locale ( $v=0$  Km/sec)

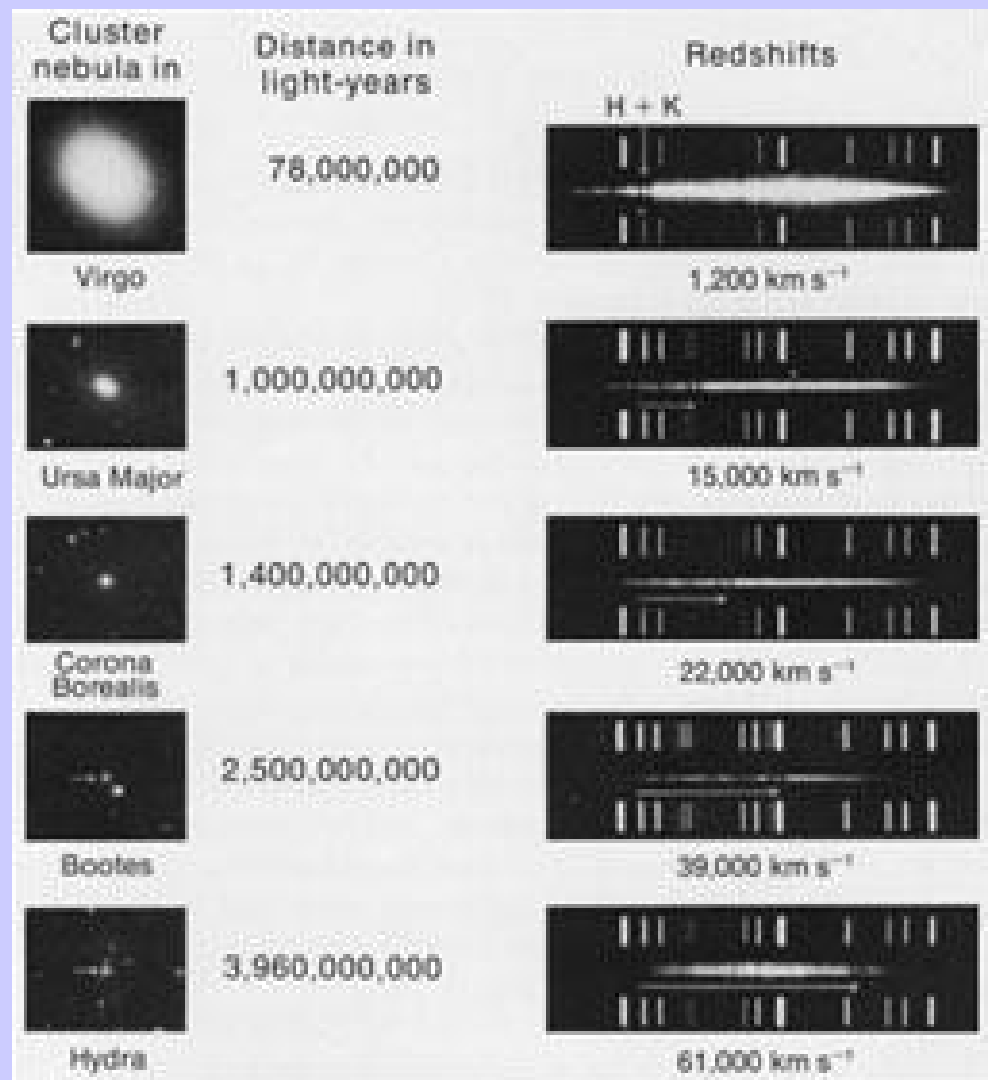
L'immagine in basso mostra  
lo stesso spettro, “spostato  
verso il rosso”, che mostra  
una velocità di allontanamento  
pari a  $2/3$  della velocità della  
luce.

Un poco di esperienza consente  
di identificare le stesse righe  
spostate in lunghezza d'onda



## Velocità di Galassie progressivamente più distanti (Hubble)

Si noti che le velocità sono una frazione significativa di  $c$ , la velocità della luce (300000 Km/s). In Hydra un insieme di 100 miliardi di stelle si allontana con velocità  $0.4c$ .

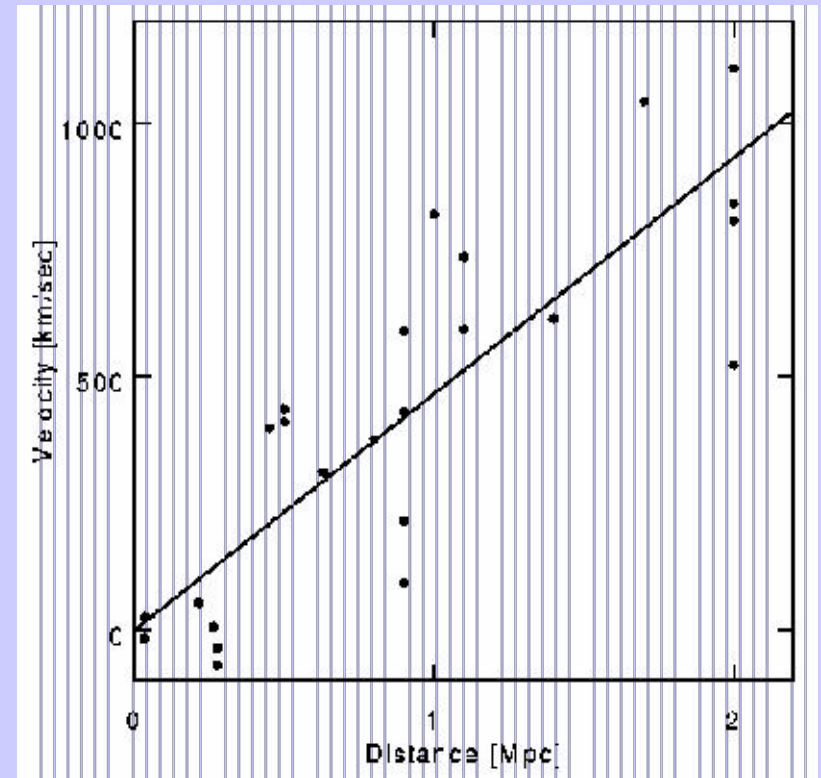


***Non è una espansione nello spazio, ma dello spazio.***

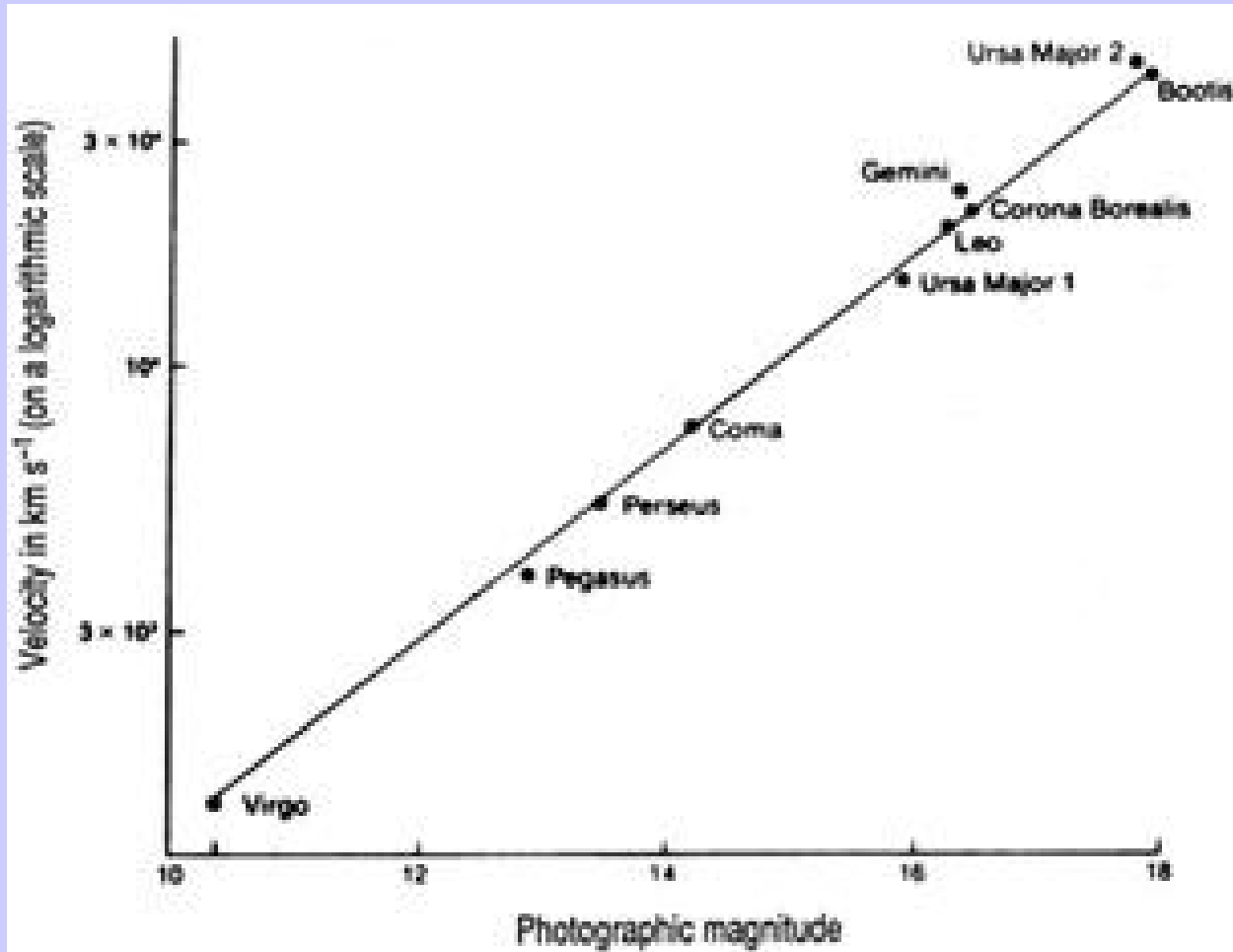


# Il diagramma originale di Hubble (1926)

- Era basato su una trentina di galassie (ottenere lo spettro di ciascuna galassia era una osservazione al limite delle possibilità tecniche)
- Mostrava velocità eccezionalmente alte (fino a 1000Km/sec) per le galassie più lontane

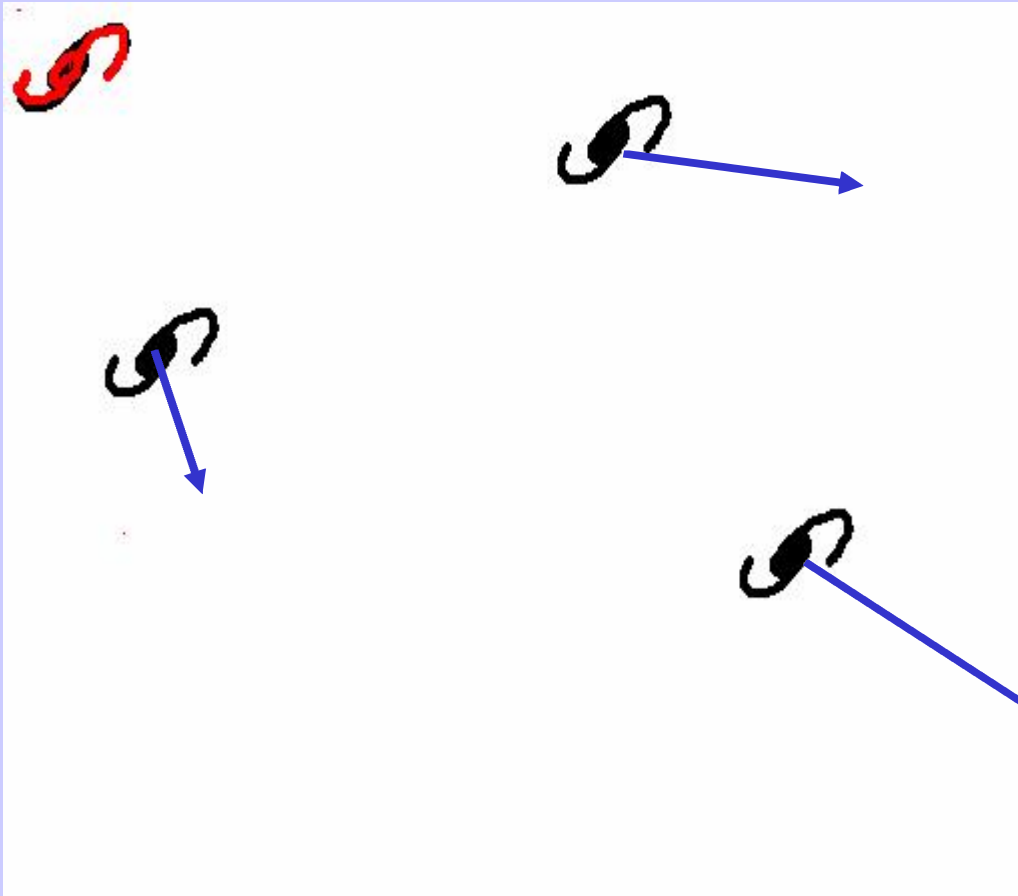


## Il diagramma di Hubble negli anni '60



C'è una relazione stretta tra velocità e distanza (indicata dalla magnitudine)

# Legge di Hubble



$$V = H \times D$$

La velocità di allontanamento  
è proporzionale alla distanza.  
La costante di proporzionalità  
H è detta “**costante di Hubble**”