



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Le altre galassie

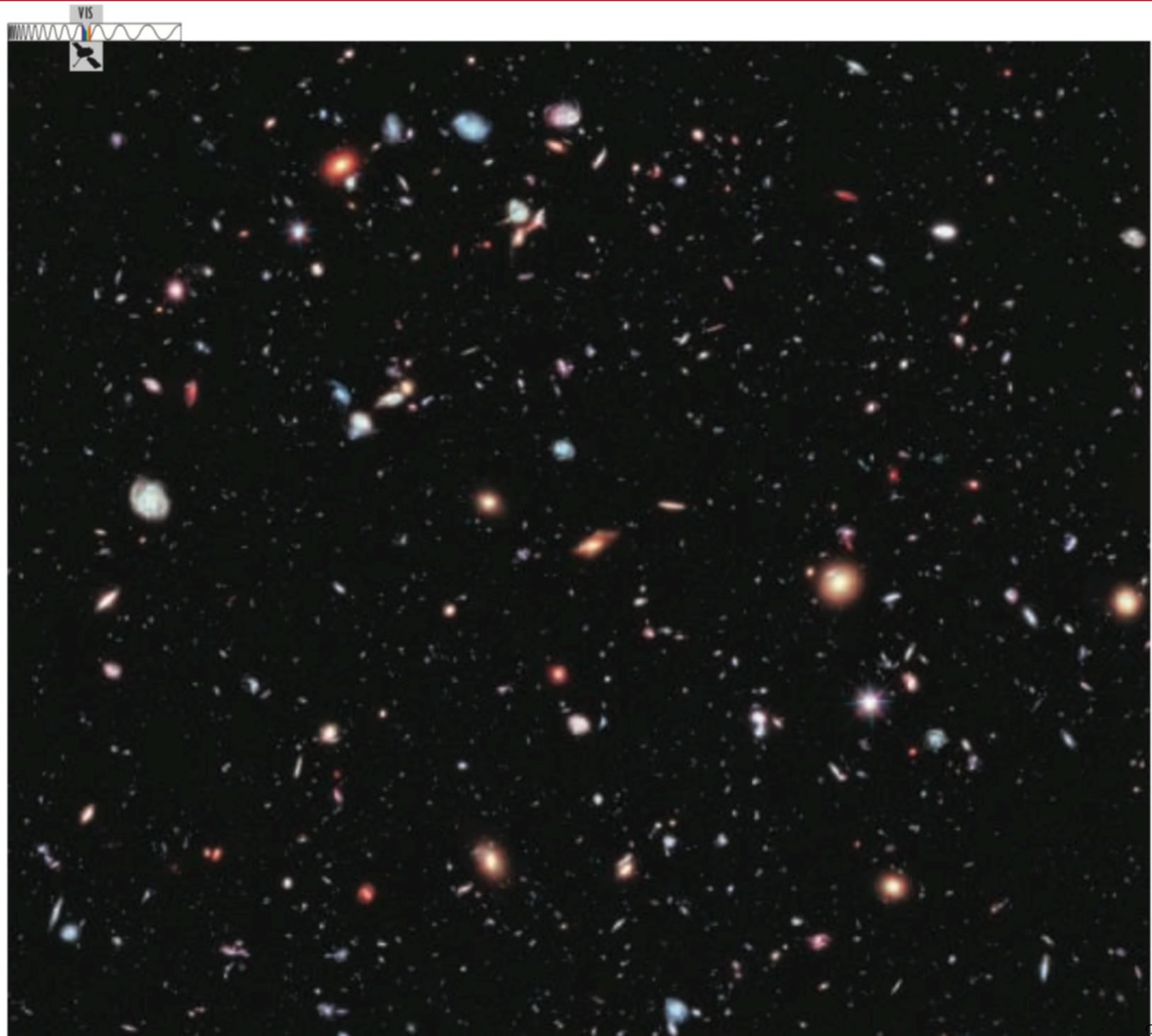
Argomento 8

Materiale da

Cap. 20 “The cosmic perspective”, by J. O. Bennett, M. O. Donahue, N. Schneider & M. Voit
e Cap. 3 “Extragalactic Astronomy and Cosmology”, by P. Schneider, 2nd edition

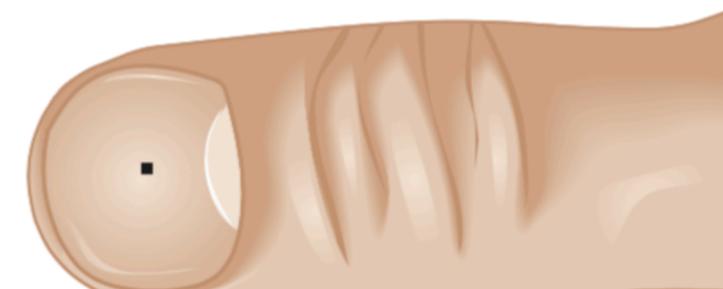


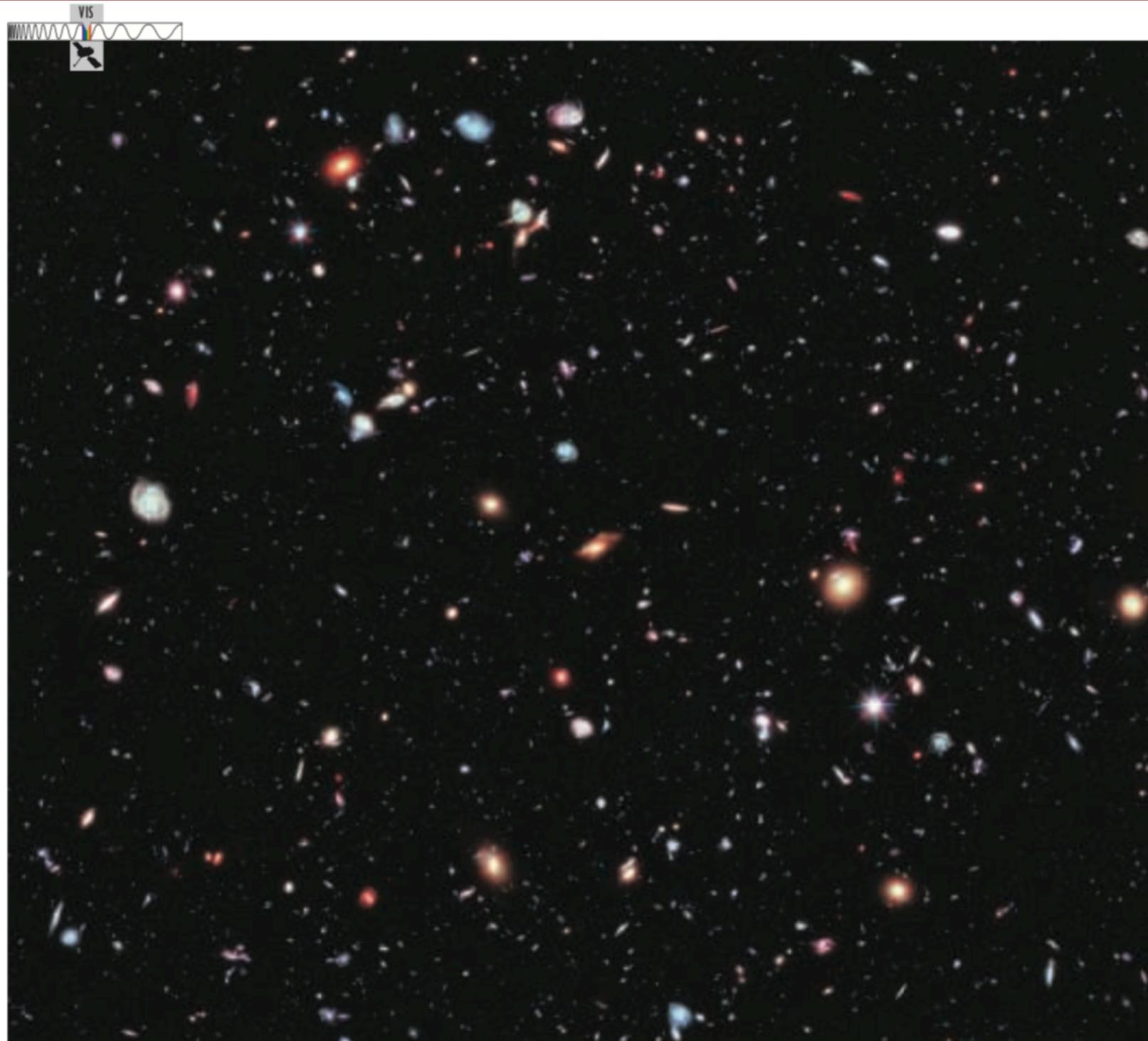
- Galassie nell'Universo locale
 - Spirali
 - Ellittiche
 - S0
 - Irregolari
- Sequenza morfologica di Hubble
- Correlazioni tra morfologia e proprietà fisiche



Hubble eXtreme Deep Field

- 23 giorni di esposizione con Hubble Space Telescope
- L'area in cielo è grande come il puntino sull'unghia in basso (ad una distanza di un braccio), un decimo della luna piena
- Ciascuno delle migliaia di punti luminosi nell'immagine è una galassia distante
- Immagini come queste ci permettono di calcolare il numero totale di galassie nell'Universo (circa 100 miliardi)





- Le galassie in quest'immagine hanno proprietà molto diverse:
- colori (bianco, rosso, blu, giallo...)
- magnitudine
- dimensione
- forma
- “clustering”: quanto sono distribuite in gruppi
- Studiando tali proprietà possiamo ricostruire l'evoluzione delle galassie



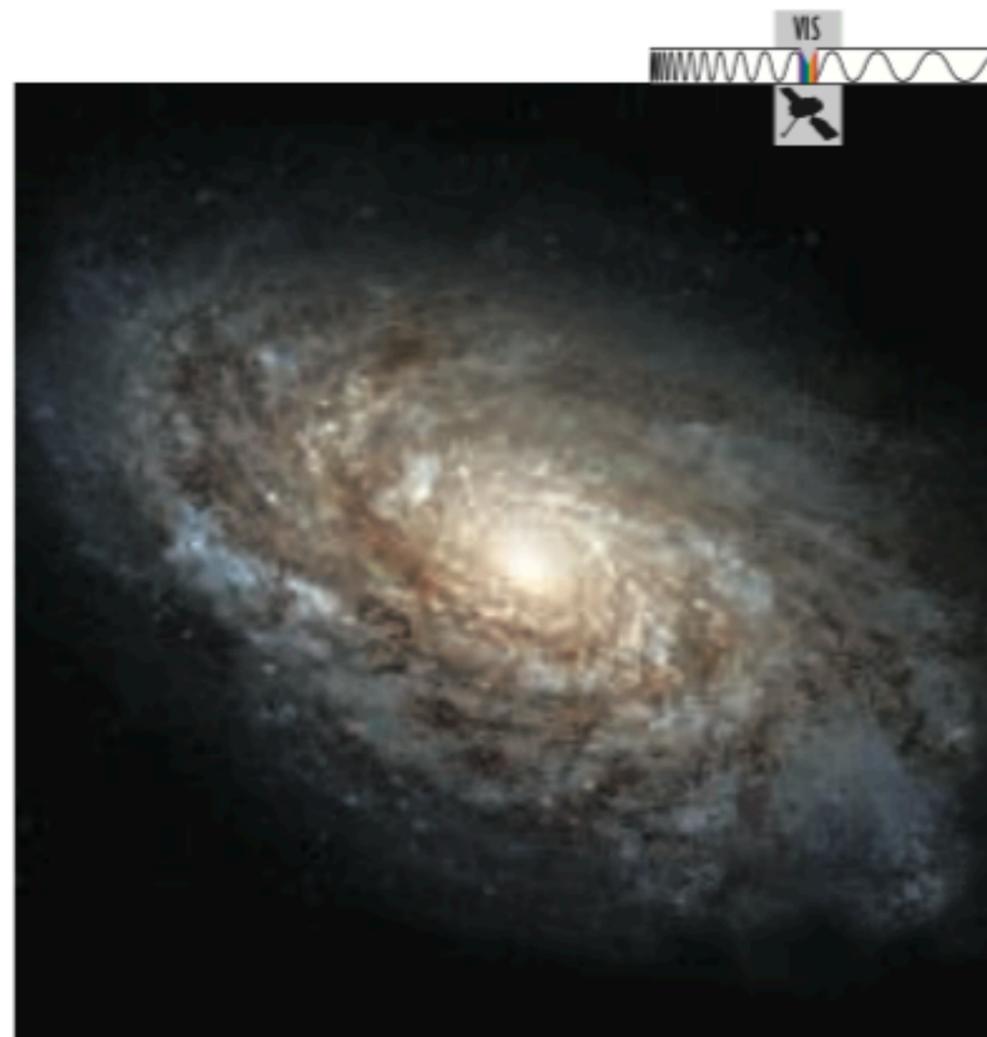
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Galassie nell'Universo locale

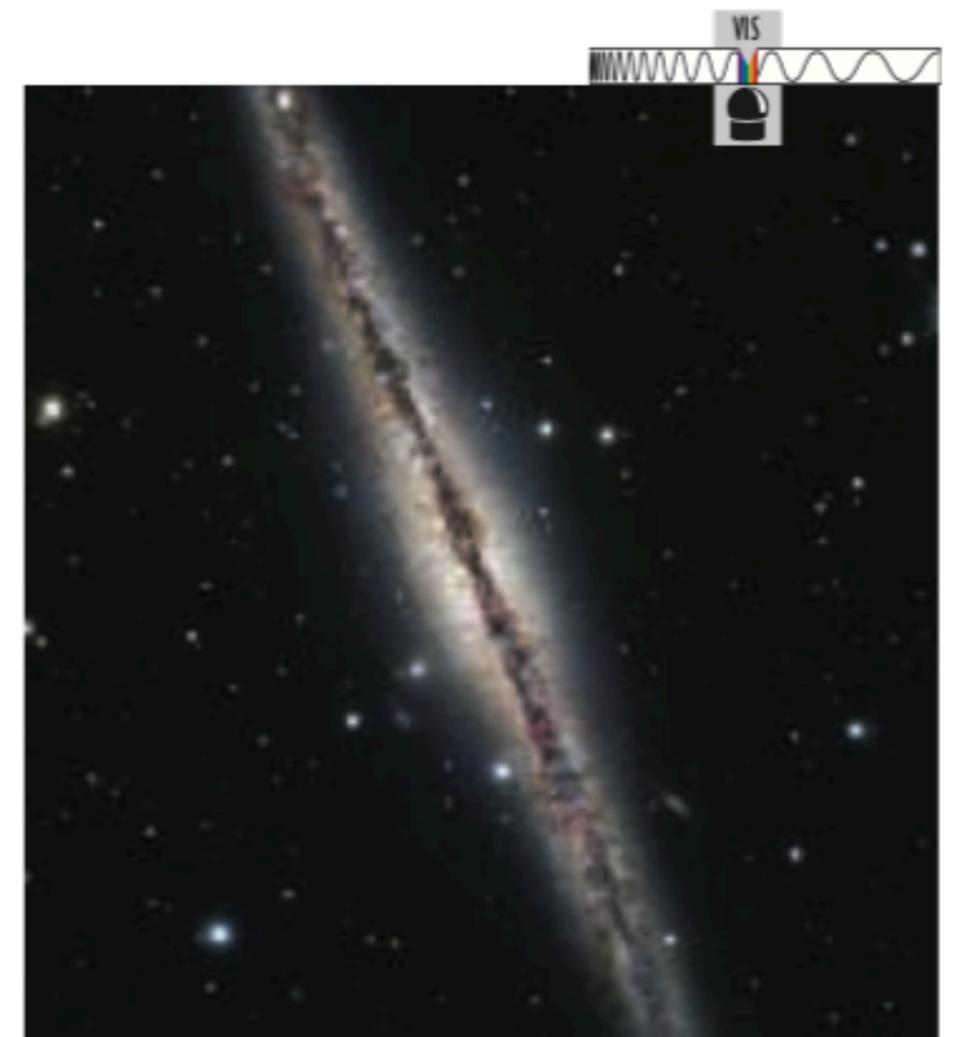
Galassie a spirale



a M101, a face-on spiral galaxy.

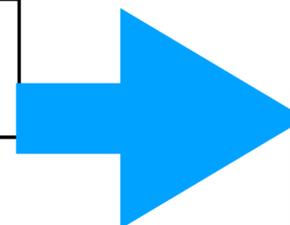


b NGC 4414, a spiral galaxy whose disk is somewhat tilted to our line of sight.



c NGC 891, a spiral galaxy seen nearly edge-on. Note the central streak of dust associated with the disk.

Sono simili alla nostra galassia



La via lattea è una galassia piuttosto comune



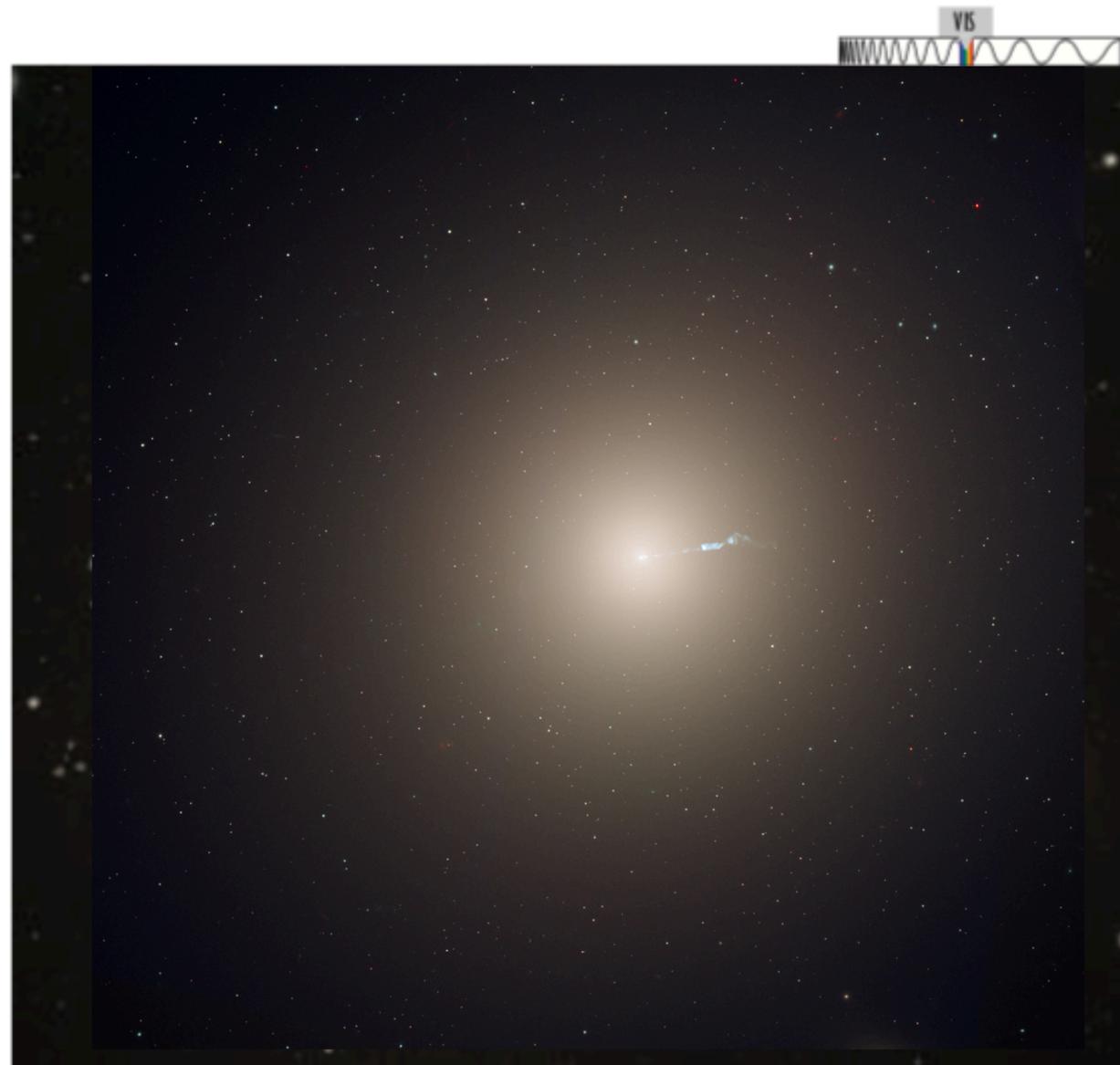
Galassie a spirale barrate



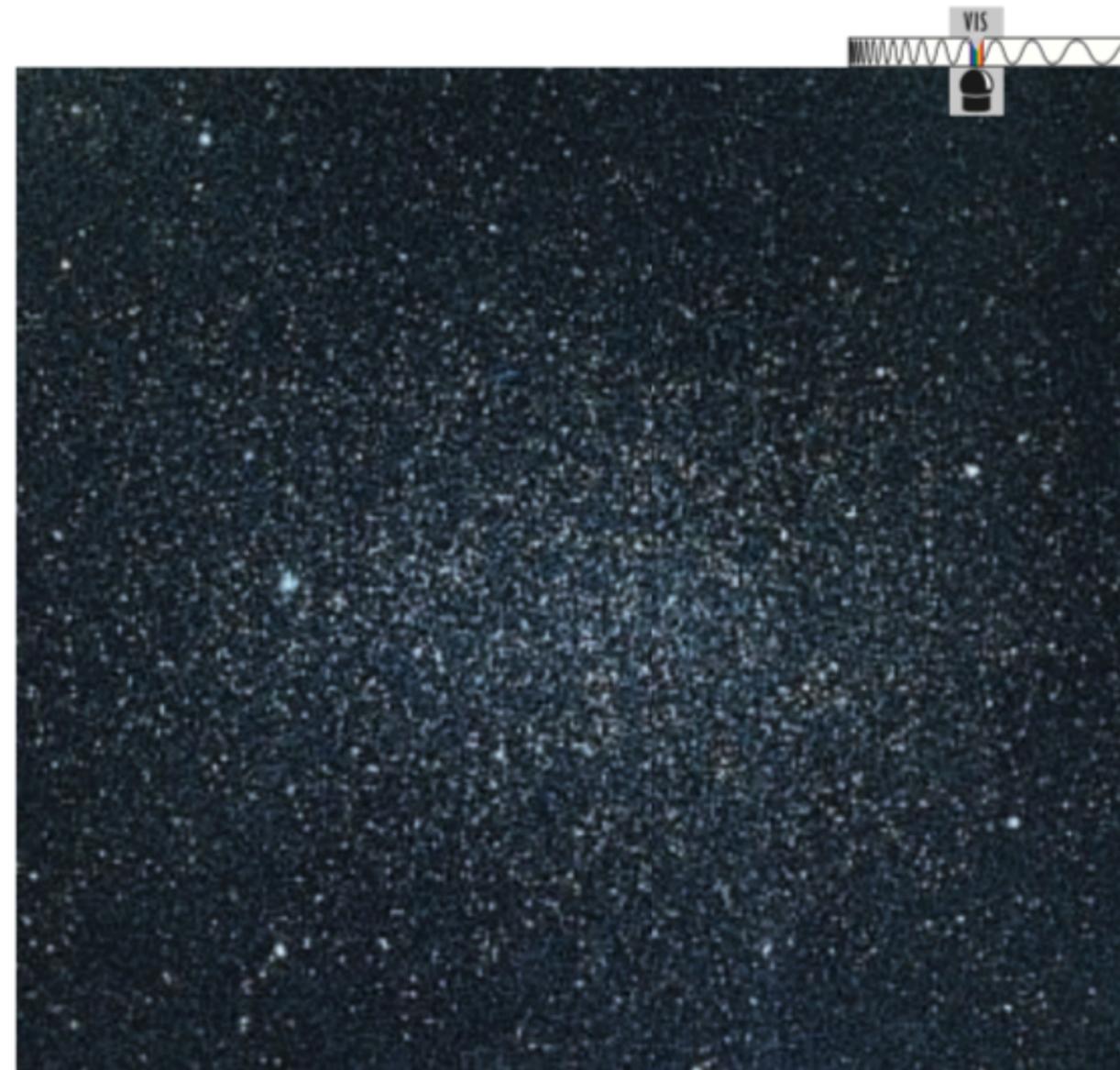
Sono galassie a spirale in cui i bracci partono da una barra centrale

FIGURE 20.4 NGC 1300, a barred spiral galaxy about 110,000 light-years in diameter.

Galassie ellittiche



a M87, a giant elliptical galaxy in the Virgo Cluster, is one of the most massive galaxies in the universe. The region shown is more than 300,000 light-years across.



b Leo I is one of at least a dozen dwarf elliptical galaxies in the Local Group. It is only about 2500 light-years across.

Galassie intermedie



FIGURE 20.3 NGC 4594 (the Sombrero Galaxy) is a spiral galaxy with a large bulge and a dusty disk that we see almost edge-on. A much larger but nearly invisible halo surrounds the entire galaxy. The bulge and halo together make up the spheroidal component of the galaxy. This image shows a region of the galaxy about 82,000 light-years across.

Alone molto brillante

Galassie a spirale con bulge molto prominenti

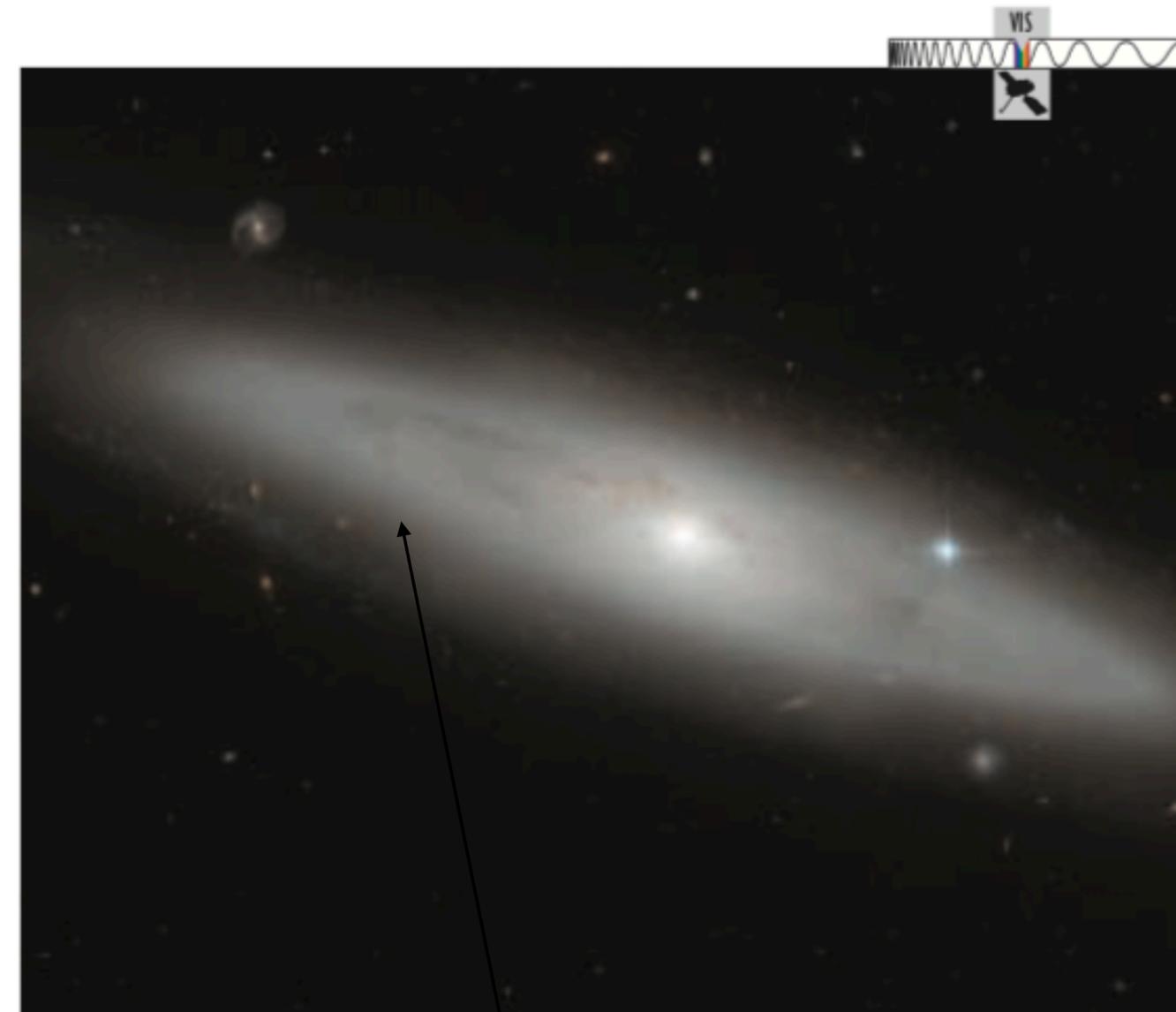


FIGURE 20.5 The lenticular galaxy NGC 4866. A few streaks of dusty gas can be seen in this galaxy's disk, but it does not contain any noticeable spiral arms. The region pictured is about 75,000 light-years across.

Disco privo di bracci

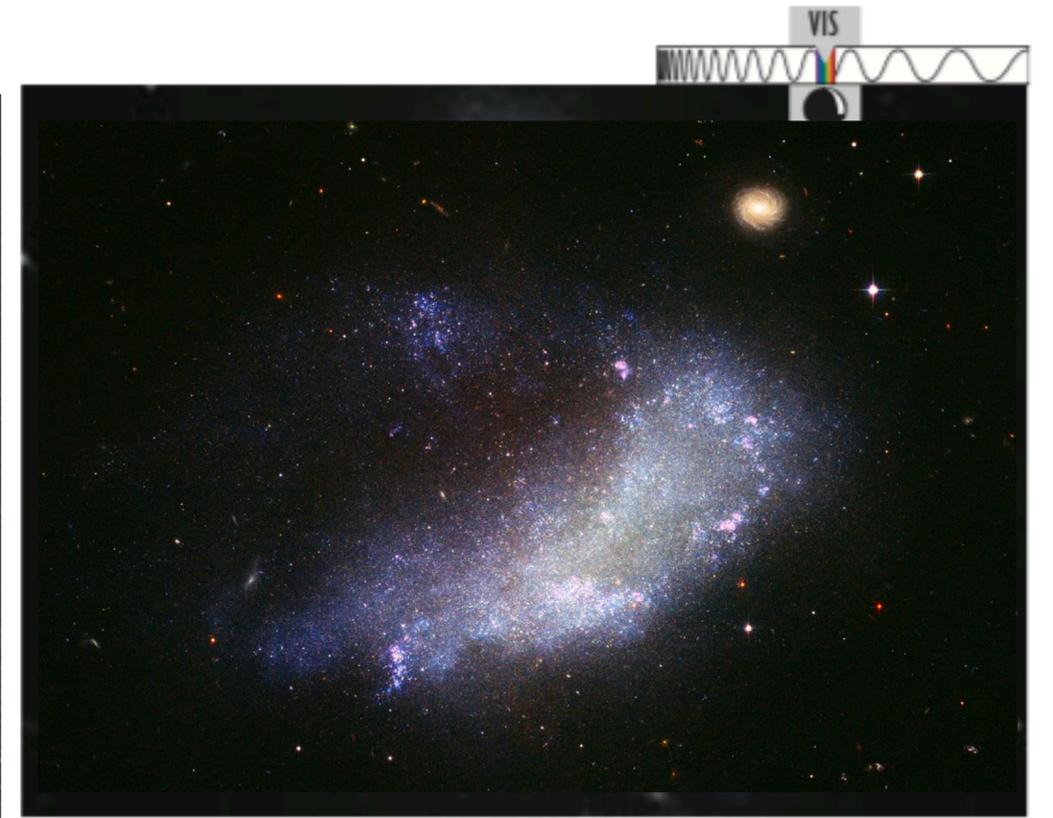
Galassie irregolari



a The Large Magellanic Cloud, a small companion to the Milky Way. It is about 30,000 light-years across.



b The Small Magellanic Cloud, a smaller companion to the Milky Way. It is about 18,000 light-years across.



c NGC 1427A, an irregular galaxy with scattered patches of star formation. The region pictured is about 50,000 light-years across.

Galassie senza una forma definita
Ricche di stelle giovani
Ricche di gas e polvere

Nell'universo locale, ci sono
essenzialmente 2 tipi di galassie

Galassie a spirale



Ruotano, bracci a spirale, colori blu...

Galassie ellittiche

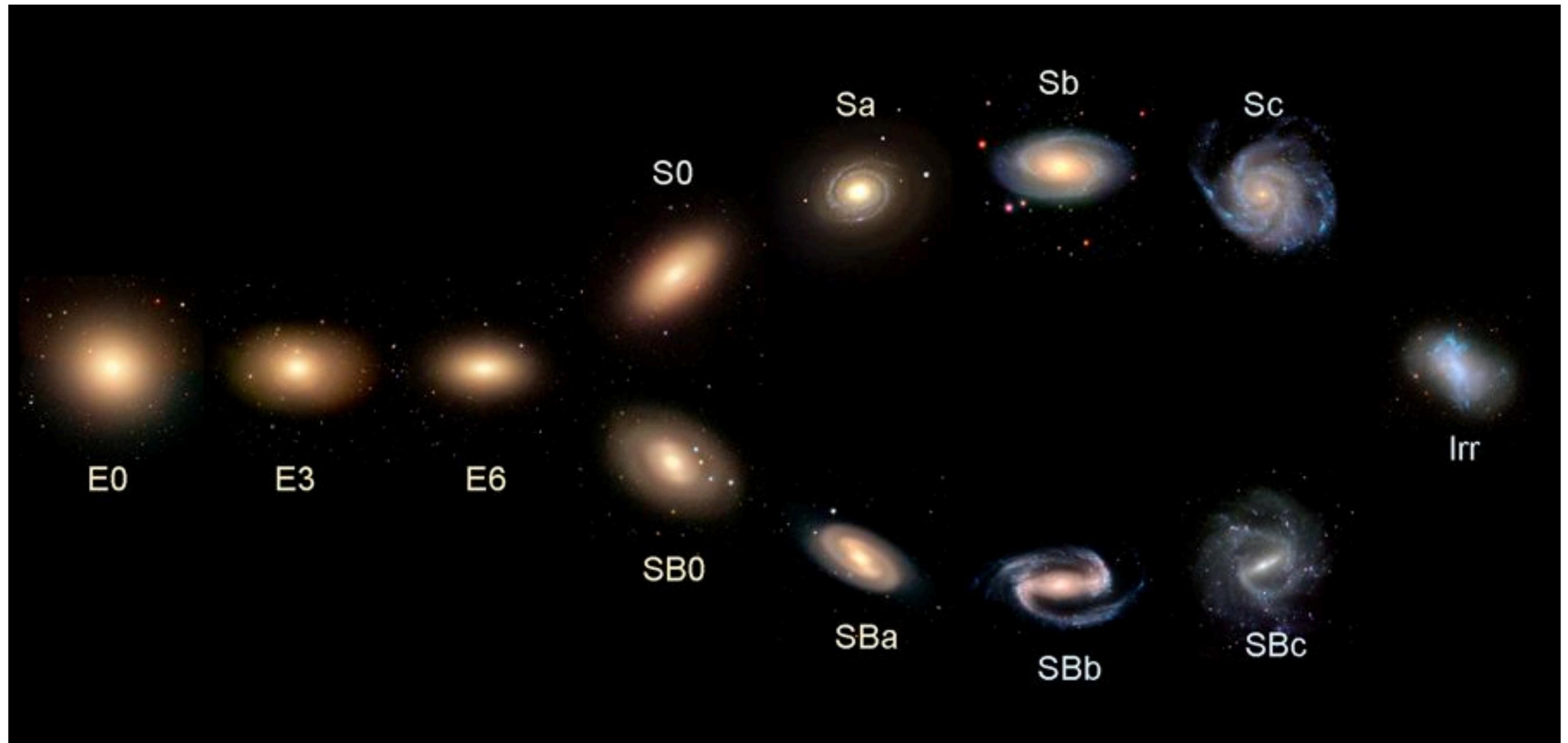


Moti caotici, luce smooth, colori rossi



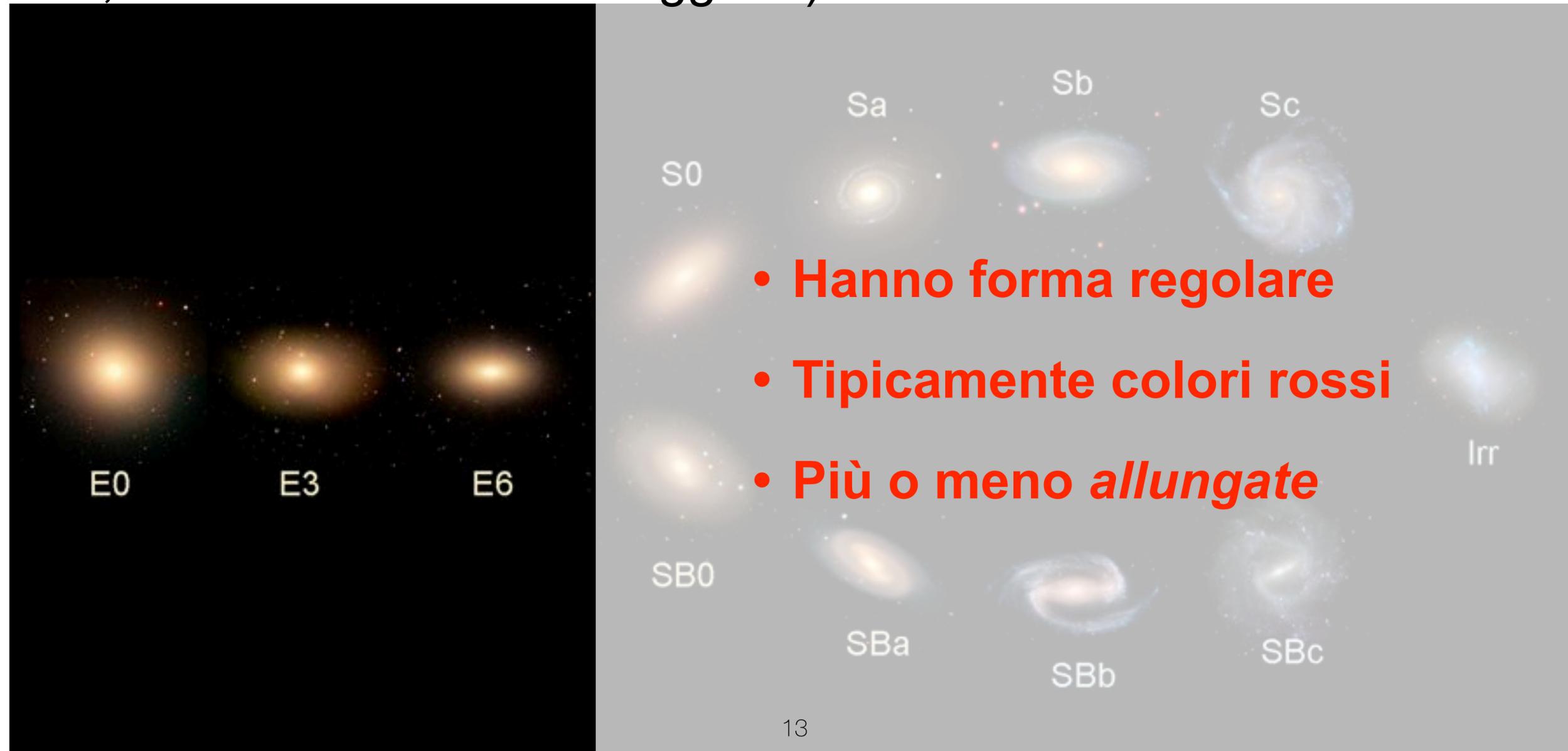
Hubble sequence

Classificazione morfologica, basata
sulla forma della distribuzione della luce



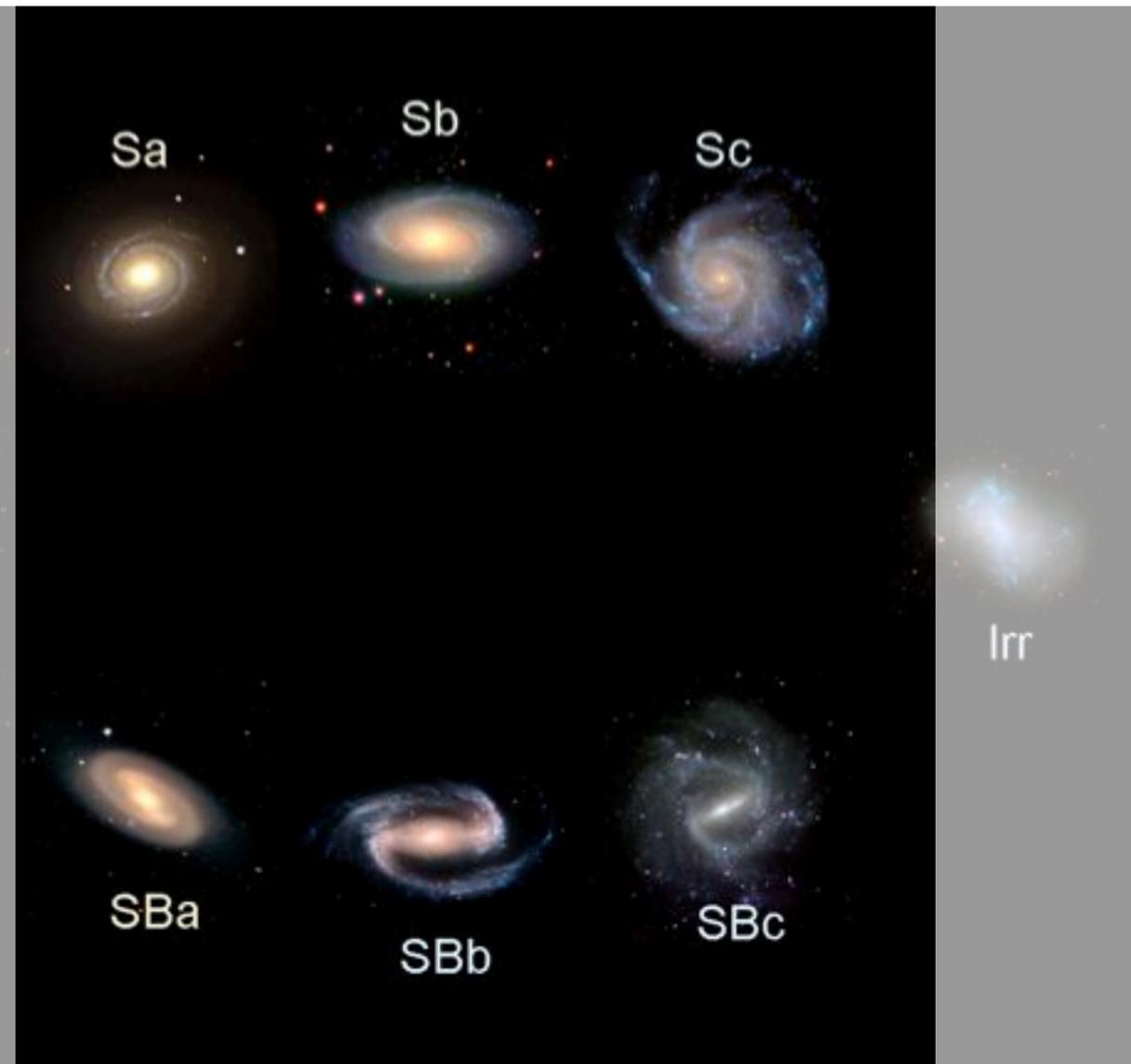
Hubble sequence

Da una parte abbiamo le galassie ellittiche: si indicano con la lettera E seguita da un numero, che è legato all'*ellitticità* ($1-b/a$, b e a assi minore e maggiore)



Dall'altra le galassie a spirale

- Hanno un disco con bracci di spirale
- Hanno un bulge rosso
- Possono o meno avere una barra
- Hanno colori blu

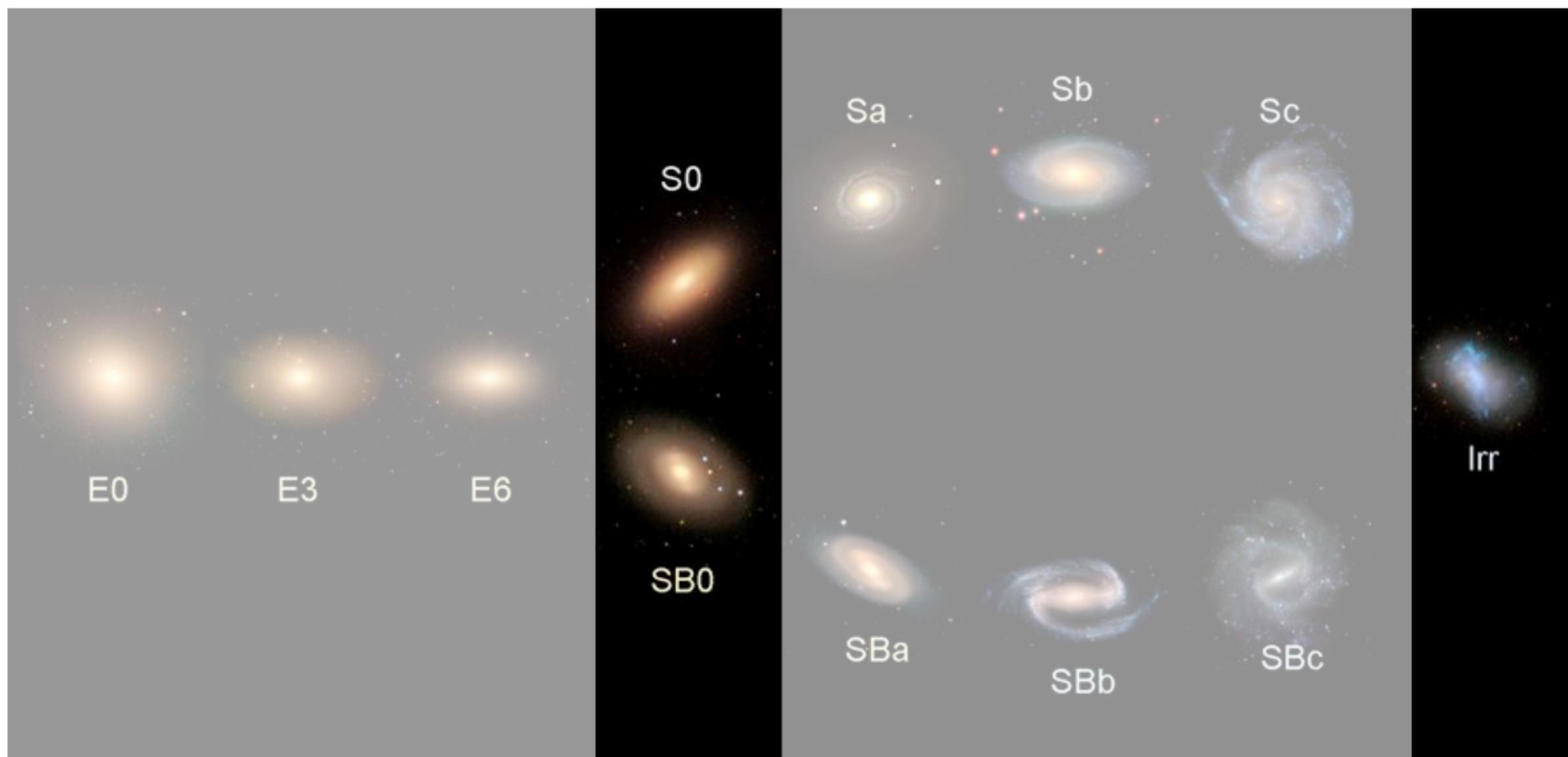


Si indicano con *S* (o *SB*, se è presente una barra) seguita da *a*, *b*, *c* o *d*, che indica la prevalenza del **bulge** o del **disco**

Hubble sequence

Classi *speciali*

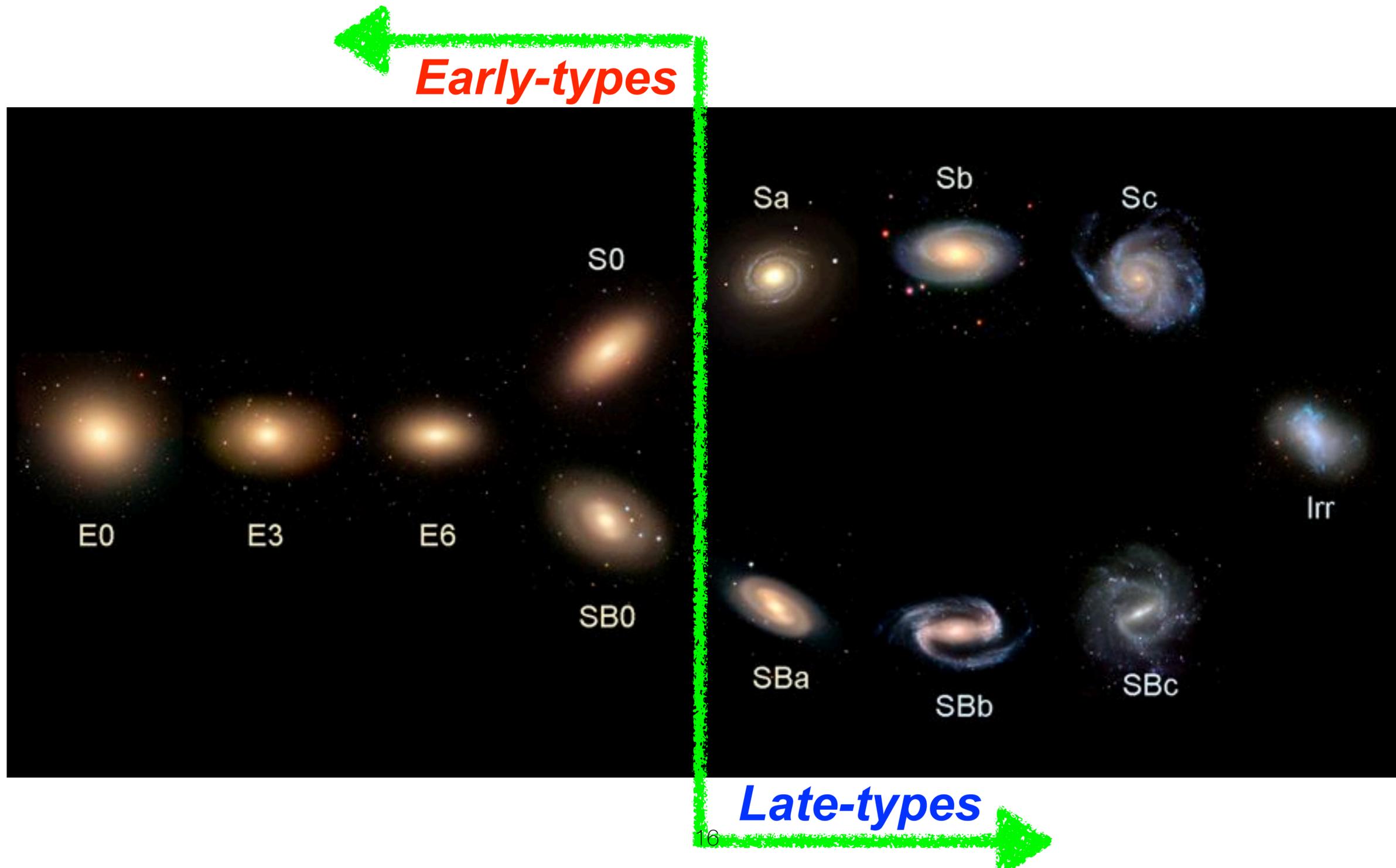
S0, SB0: transizione tra spirali e ellittiche



Senza forma particolare: *Irr*



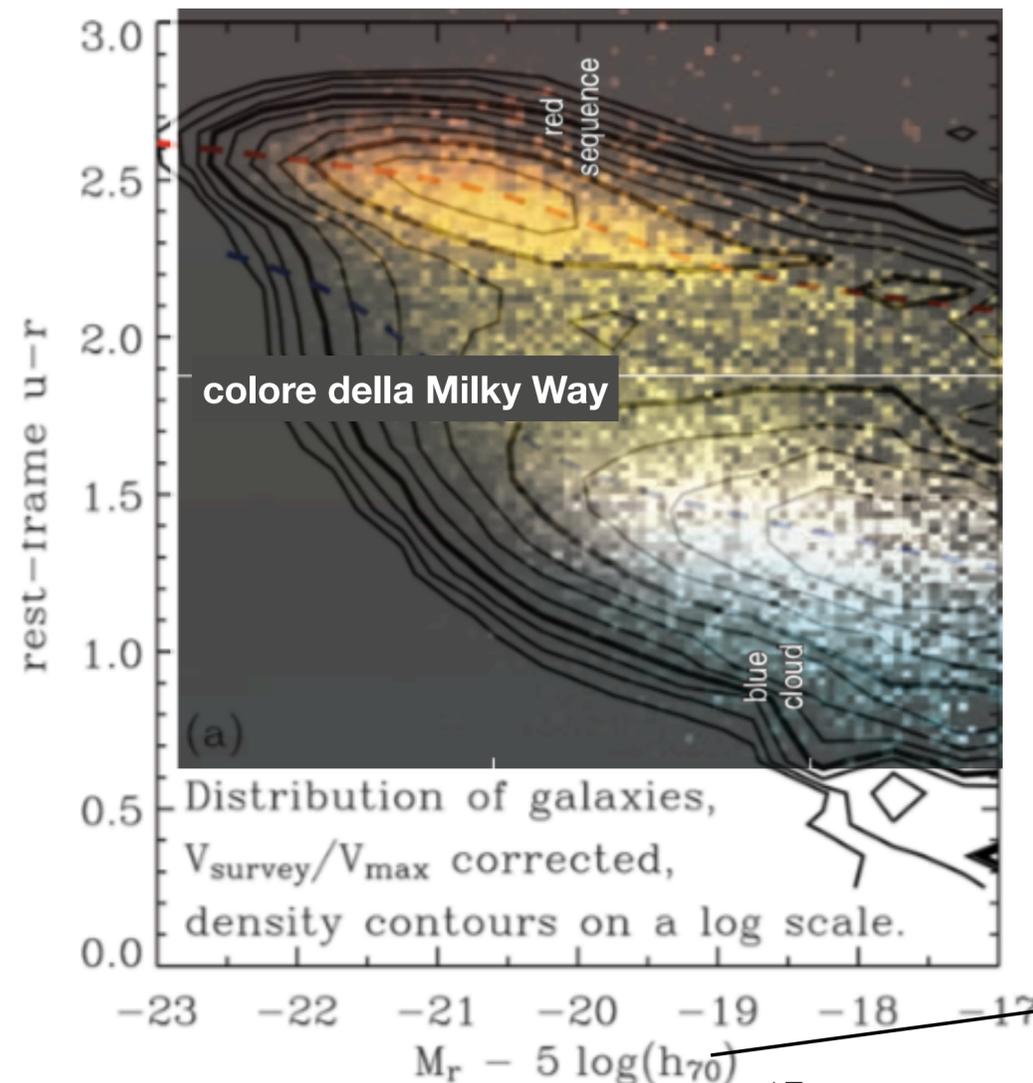
Hubble sequence



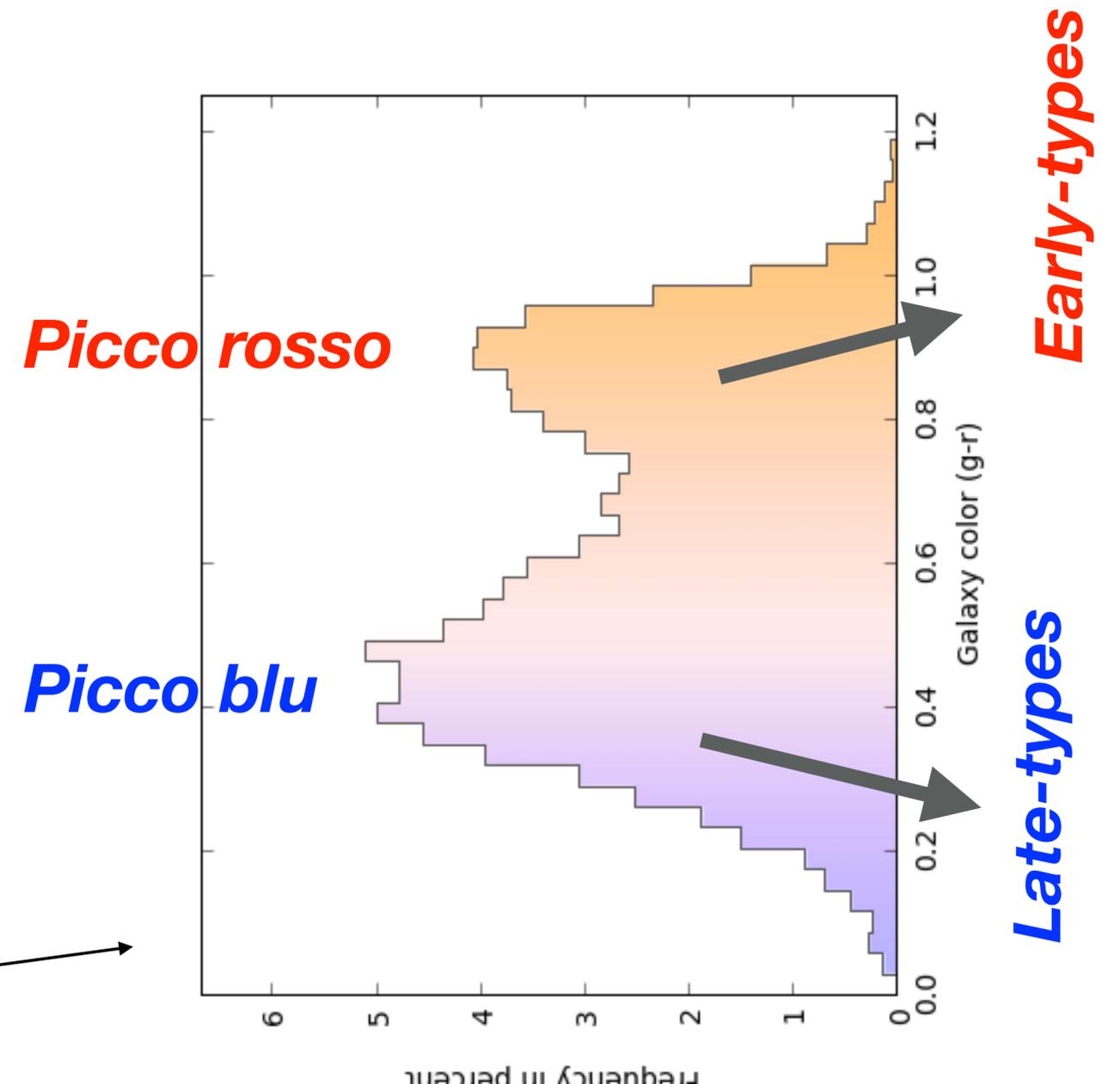
La distribuzione bimodale dei colori

Se mettiamo in un diagramma colore-magnitudine assoluta le galassie vicine, otteniamo una distribuzione bimodale

n.b.: il colore è la pendenza della distribuzione spettrale di energia tra queste bande; colore rosso significa più flusso nella seconda banda; più blu significa più flusso nella prima banda

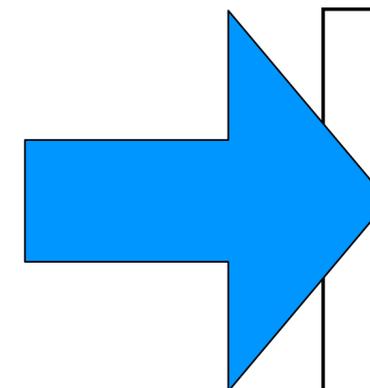
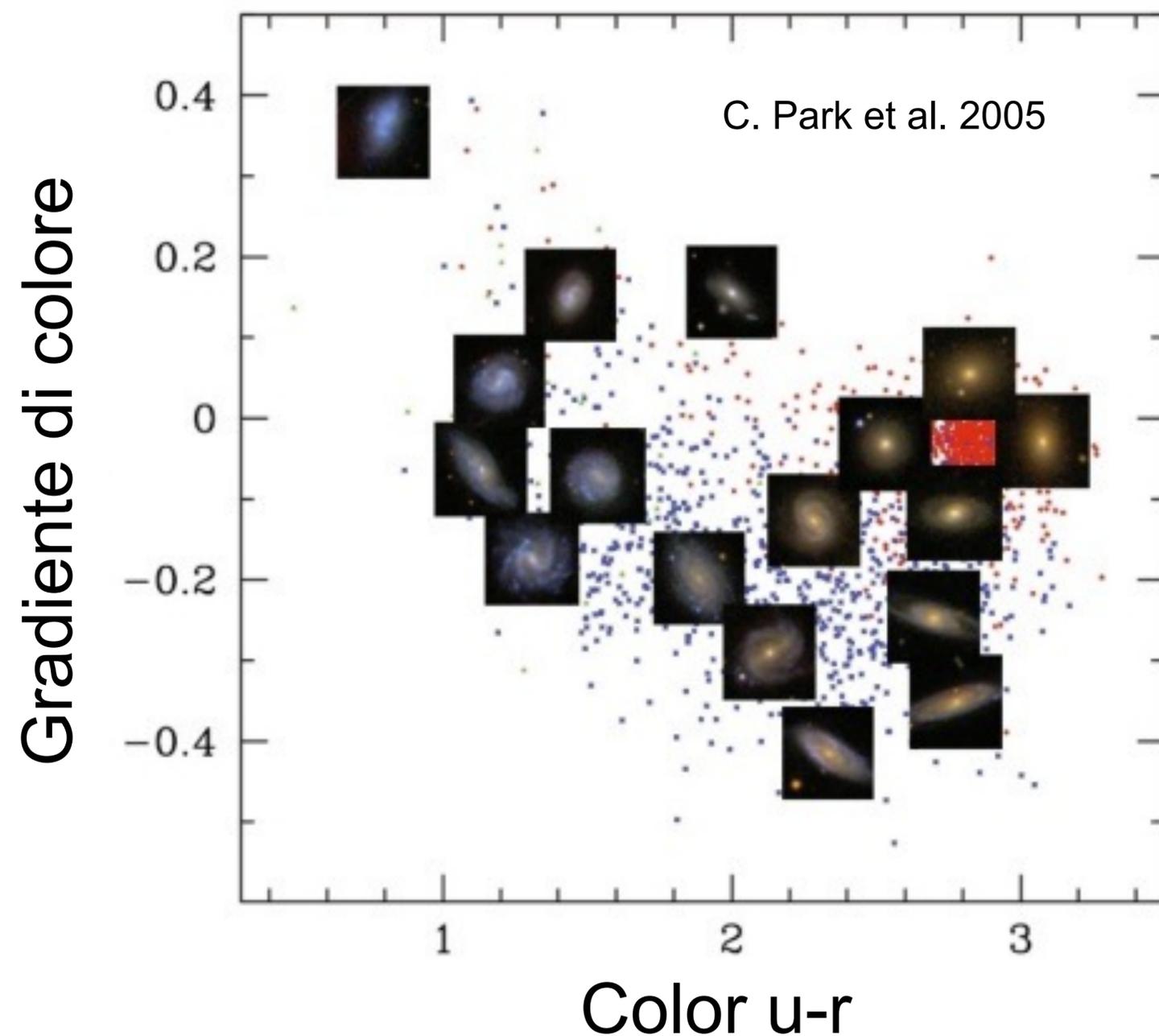


Baldry+04





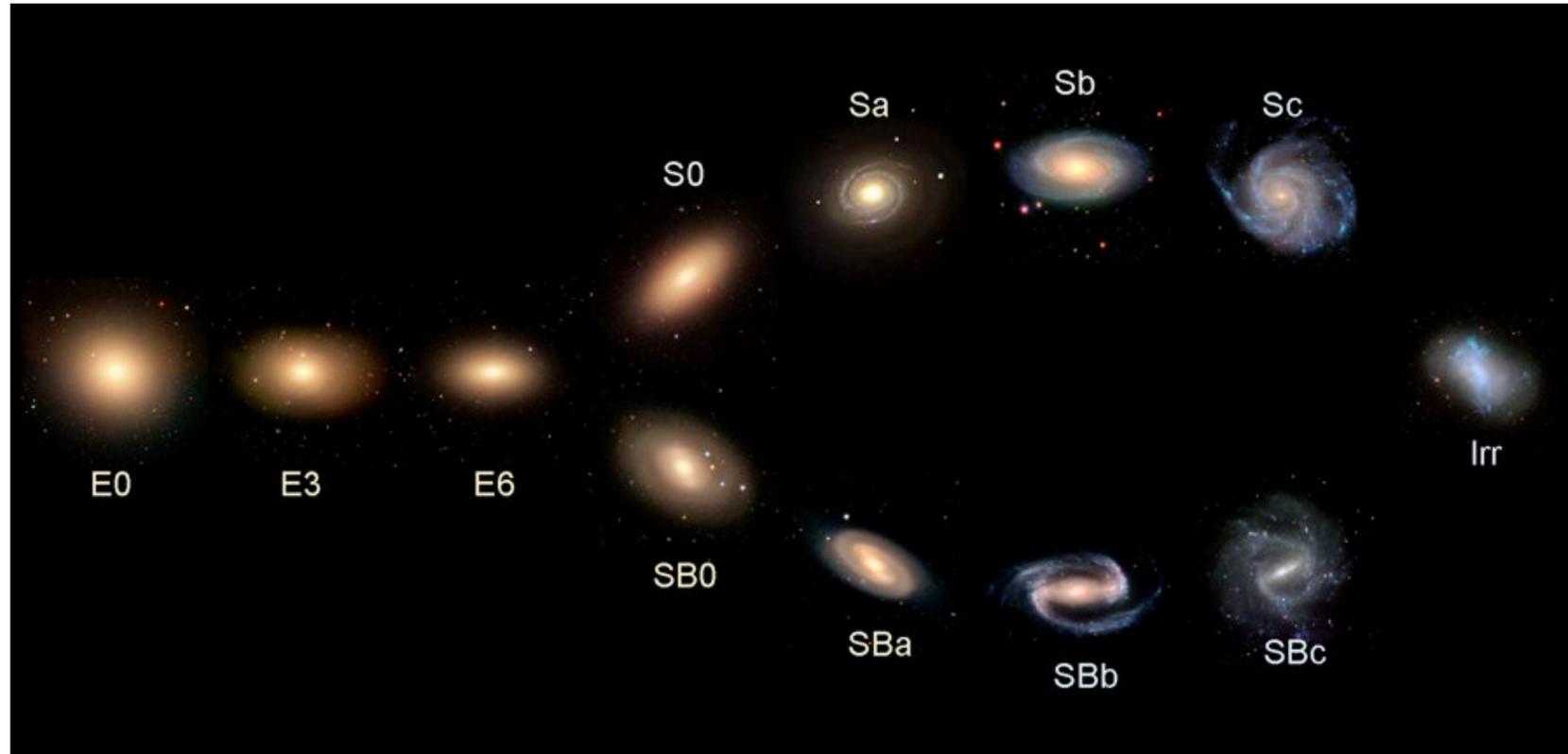
Hubble sequence



**Early-types: rosse,
nessun gradiente di
colore
→ stelle omogenee**

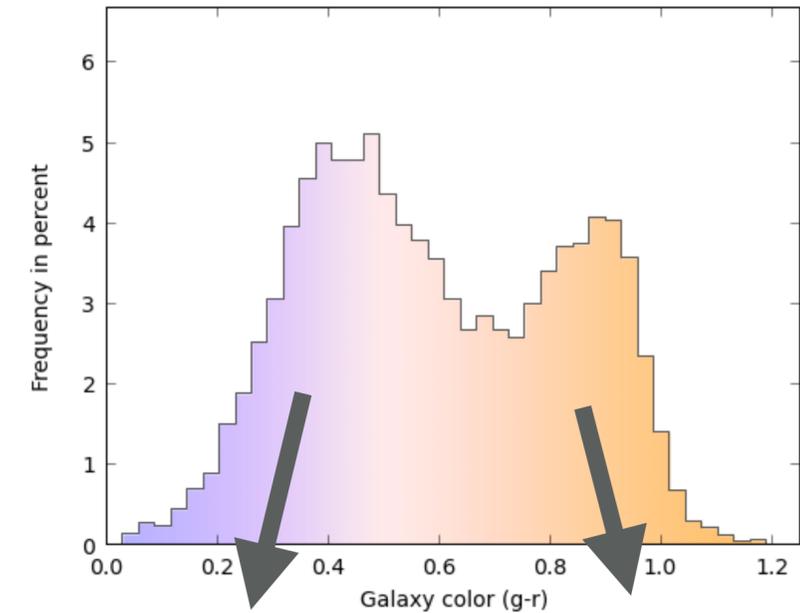
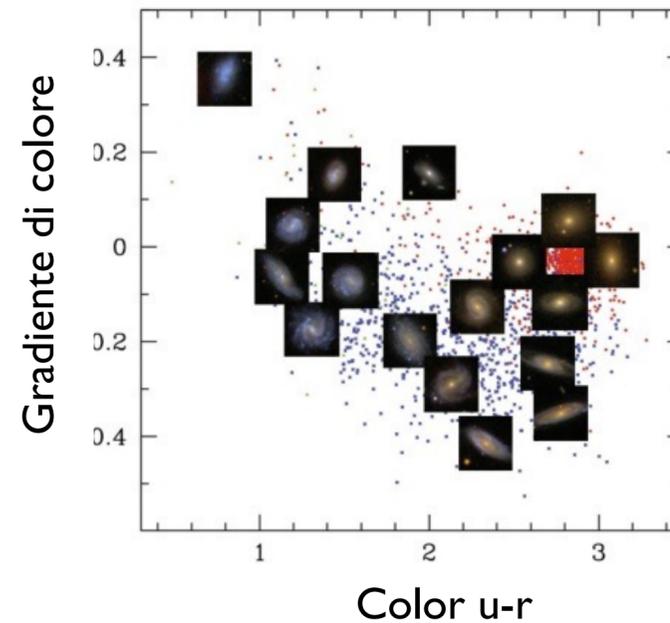
**Late-types: blu, gradienti
di colore molto vari
→ proprietà e popolazioni
stellari più complesse**

Hubble sequence



Quindi abbiamo una
classificazione
morfologica...

...che si correla con
colori, luminosità, ...



Late-types

Early-types

Galassie ellittiche



S0



Ellittiche



Dwarf ellipticals

	S0	E	dE
M_B	-17 to -22	-15 to -23	-13 to -19
$M (M_\odot)$	10^{10} - 10^{12}	10^8 - 10^{13}	10^7 - 10^9
D_{25} (kpc)	10-100	1-200	1-10
$\langle M/L_B \rangle$	~ 10	10-100	1-10

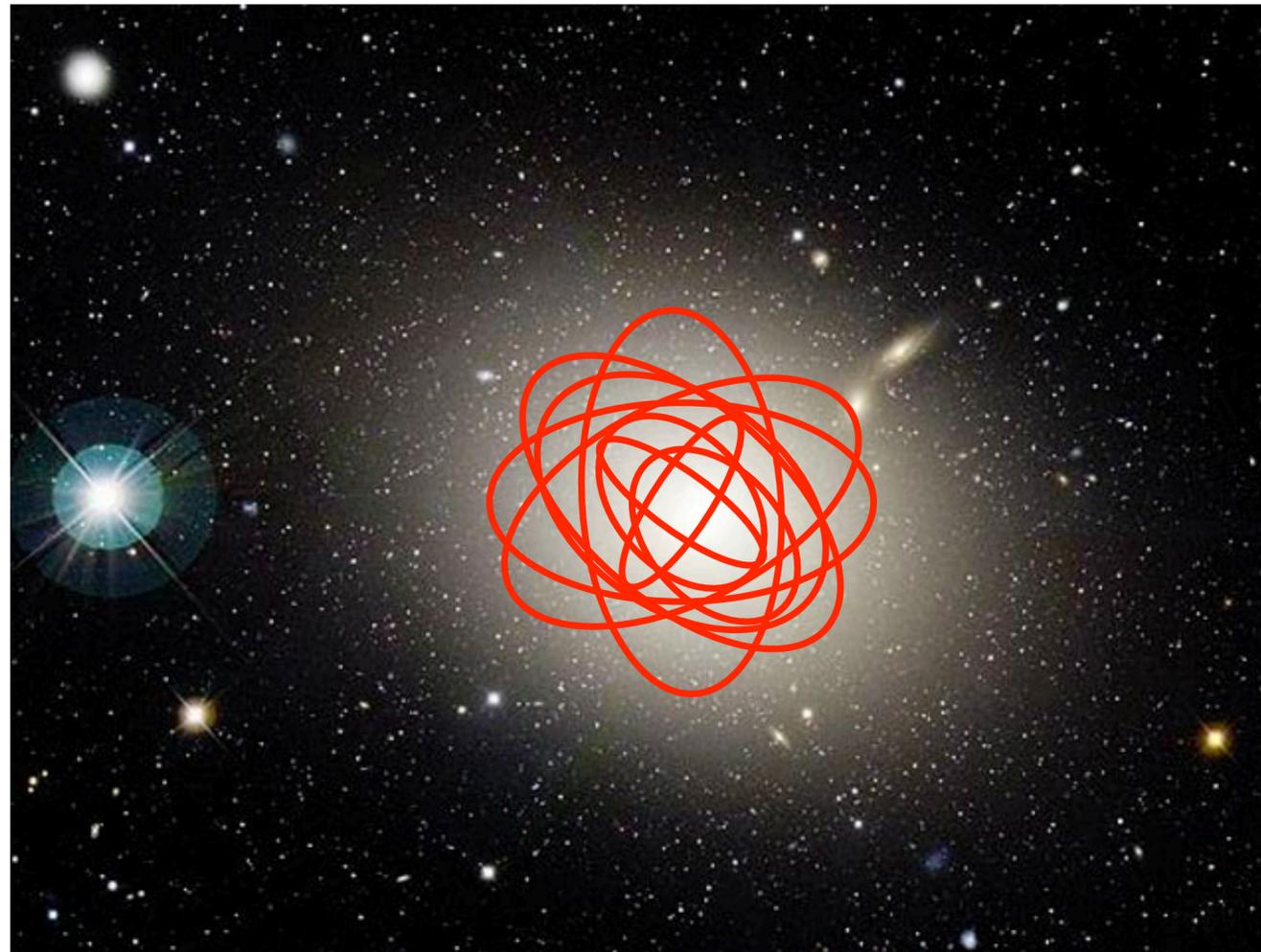
**Sono (quasi)
prive di gas e
polvere**



Sono le galassie più massicce e brillanti

Galassie ellittiche: dinamica

Equilibrio tra l'attrazione gravitazionale e i moti casuali delle stelle



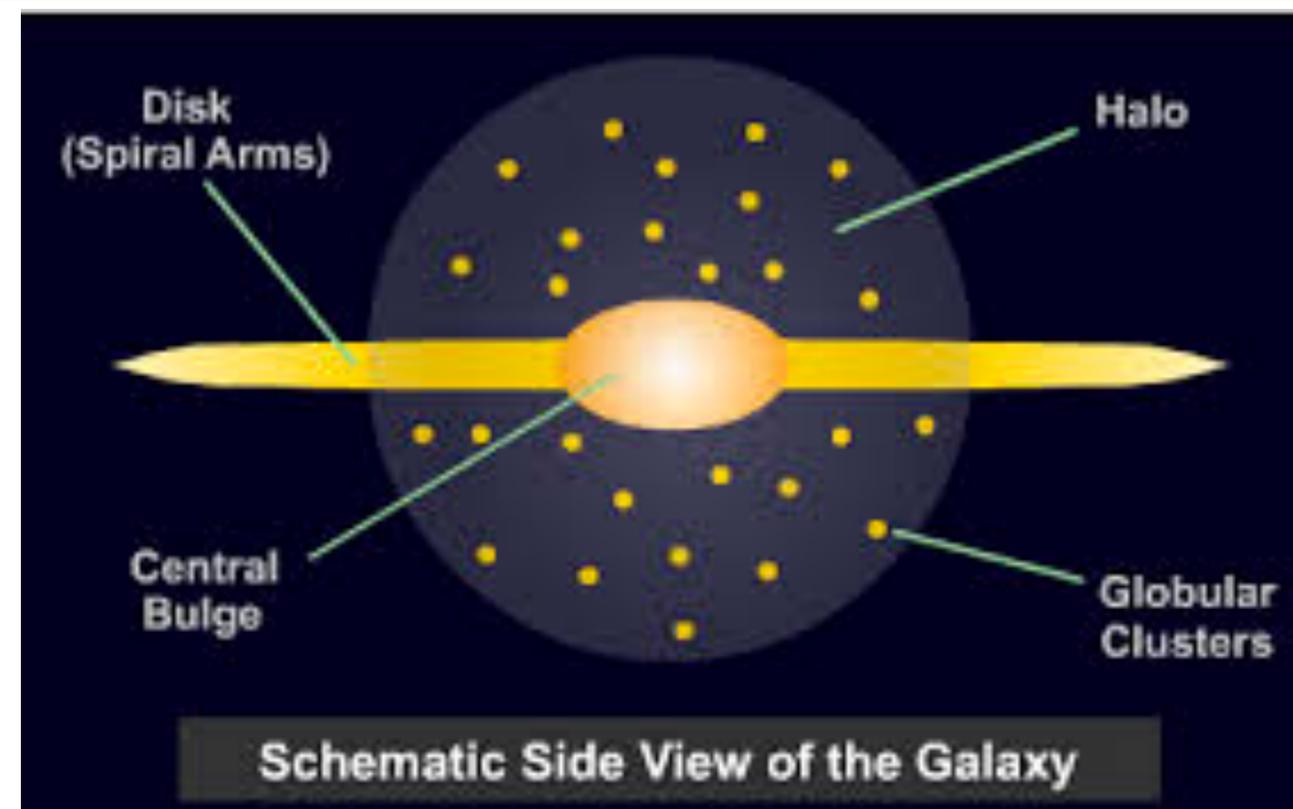
$$M_{\text{dyn}} = \frac{\beta \sigma_e^2 R_e}{G}$$

*Più grande la
massa, maggiore σ*

Le ellittiche sono supportate dai moti casuali

Galassie a spirale

Sono composte tipicamente da un bulge e un disco (più un alone di stelle, qui quasi invisibile)



A volte è presente una barra centrale





Galassie a spirale

	Sa	Sb	Sc	Sd/Sm	Im/Ir
M_B	-17 to -23	-17 to -23	-16 to -22	-15 to -20	-13 to -18
$M (M_\odot)$	10^9-10^{12}	10^9-10^{12}	10^9-10^{12}	10^8-10^{10}	10^8-10^{10}
$\langle L_{\text{bulge}}/L_{\text{tot}} \rangle_B$	0.3	0.13	0.05	-	-
Diam. ($D_{25,\text{kpc}}$)	5-100	5-100	5-100	0.5-50	0.5-50
$\langle M/L_B \rangle (M_\odot/L_\odot)$	6.2 ± 0.6	4.5 ± 0.4	2.6 ± 0.2	~ 1	~ 1
V_{max} range(km s^{-1})	163-367	144-330	99-304	-	50-70
$\mu_{0,B}$ (mag arcsec^{-2})	21.52 ± 0.39	21.52 ± 0.39	21.52 ± 0.39	22.61 ± 0.47	22.61 ± 0.47
$\langle B - V \rangle$	0.75	0.64	0.52	0.47	0.37
$\langle M_{\text{gas}}/M_{\text{tot}} \rangle$	0.04	0.08	0.16	0.25 (Scd)	-

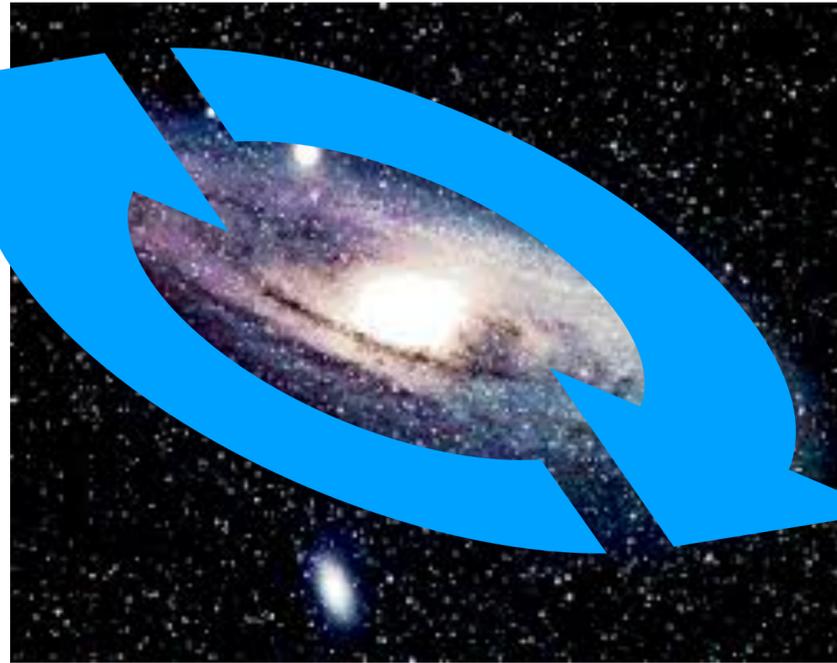
Sono meno massicce delle ellittiche

Ruotano velocemente

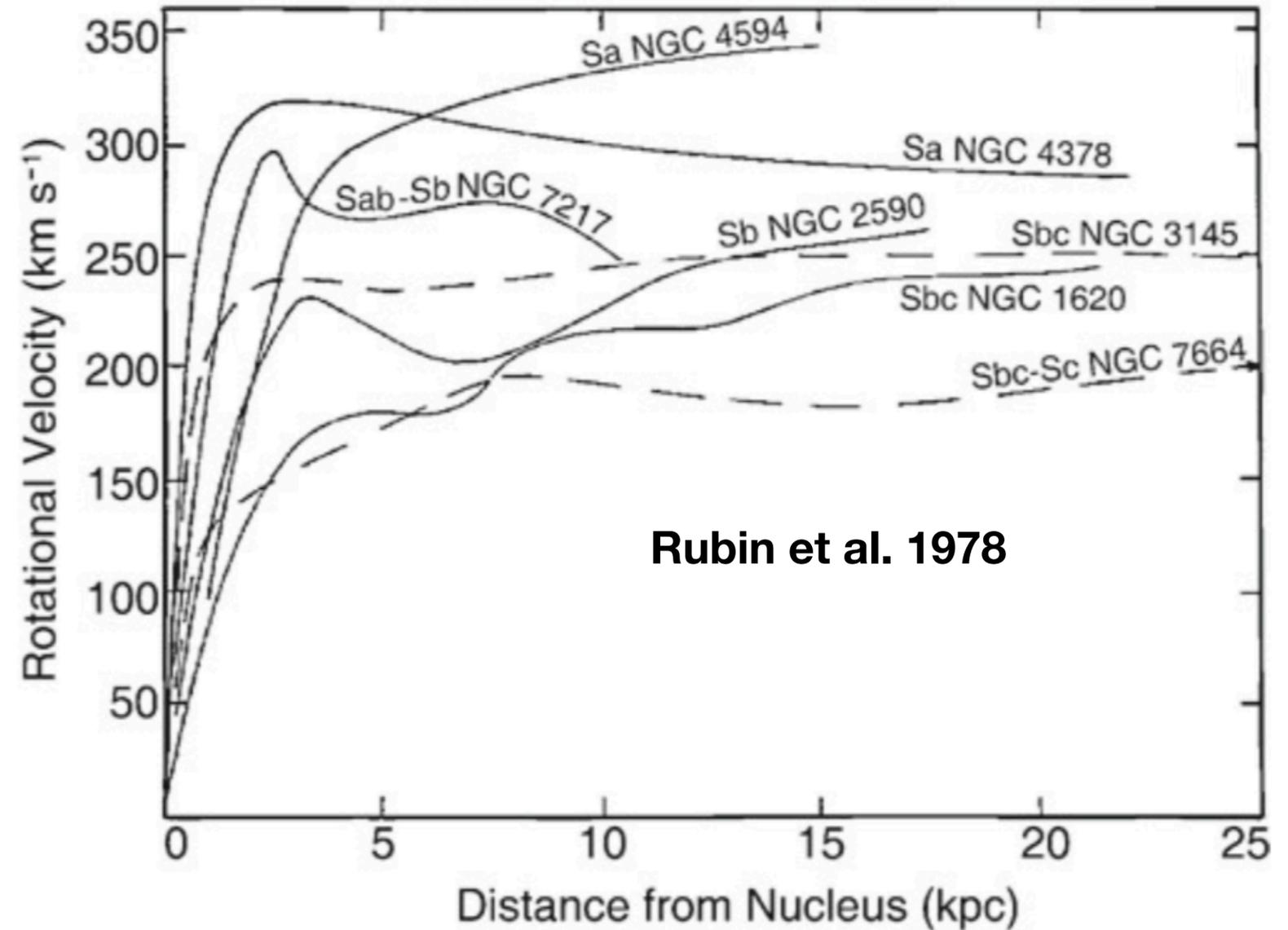
Hanno colori blu

Sono ricche di gas

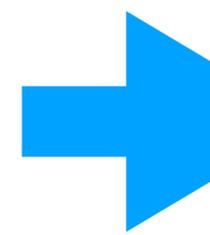
Galassie a spirale: dinamica



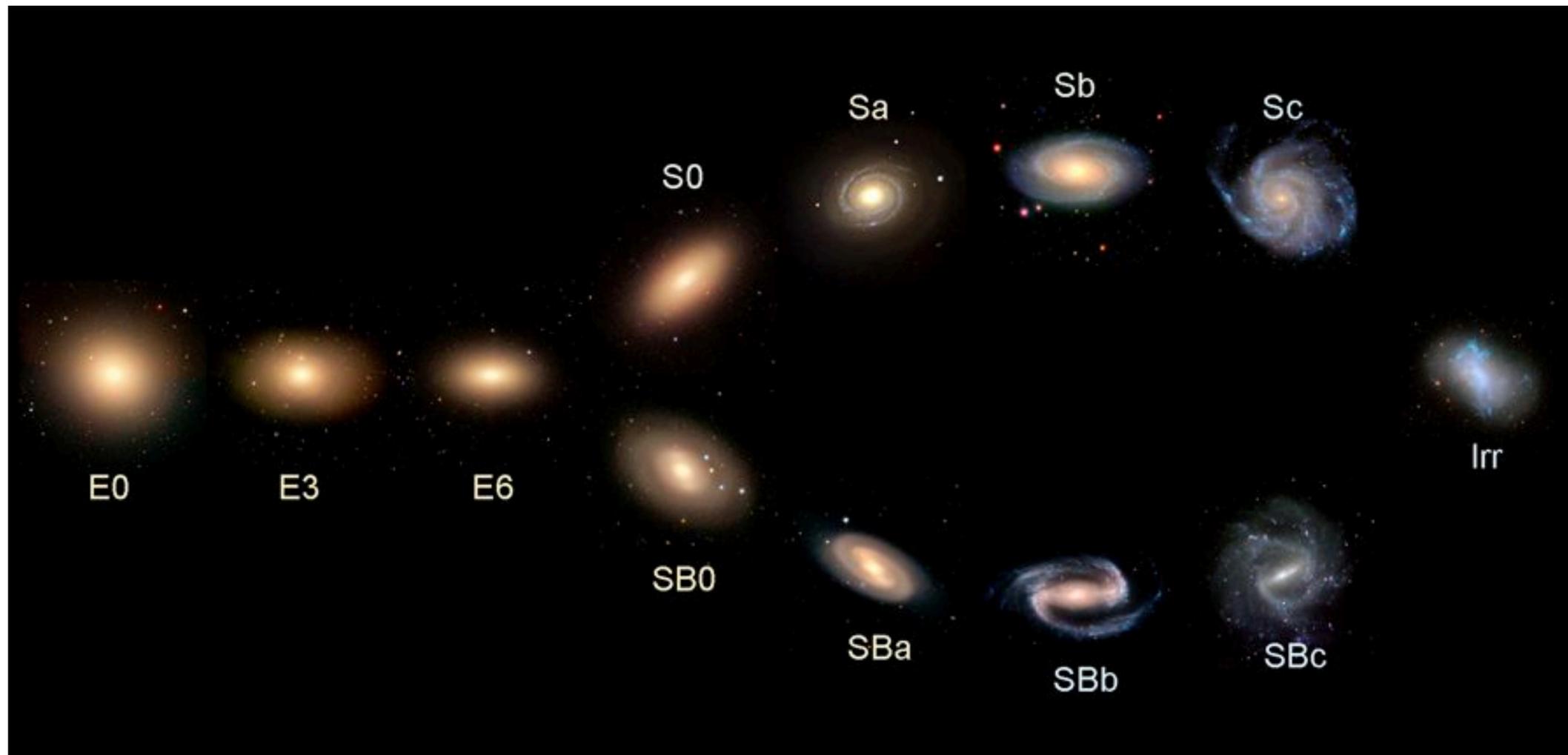
Le stelle nel disco
girano in moti
circolari ordinati



Le curve di rotazione restano piatte a grandi distanze dal centro



l'evidenza di Dark Matter è universale



L'origine fisica di questa sequenza è uno degli argomenti di ricerca più studiati in astronomia oggi

In conclusione possiamo dire che la sequenza morfologica di Hubble, nonostante sia definita puramente in base alla forma delle galassie, contiene molte informazioni fisiche, perché le classi morfologiche correlano con quantità fisiche come massa, luminosità, dinamica, età popolazioni, [...]



- Galassie a diversa lunghezza d'onda
 - Xray
 - UV
 - ottico
 - infrarosso
 - radio
- Sintesi di popolazioni stellari
 - IMF
 - popolazioni singole
 - popolazioni composte
 - massa, tasso di formazione stellare (SFR)



Galassie a diverse lunghezze d'onda



Via lattea

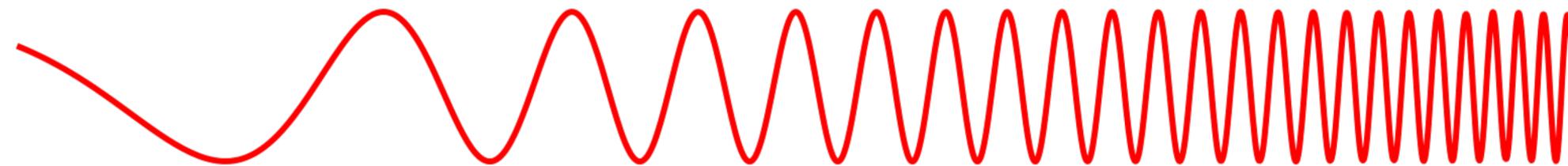
Lunghezza d'onda



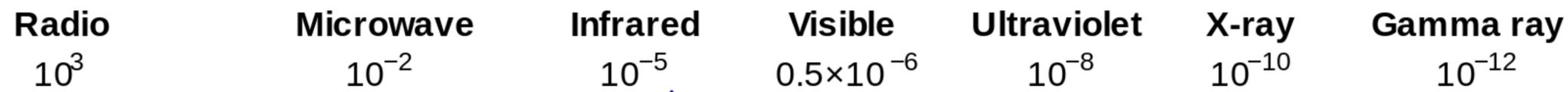
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Spettro elettromagnetico

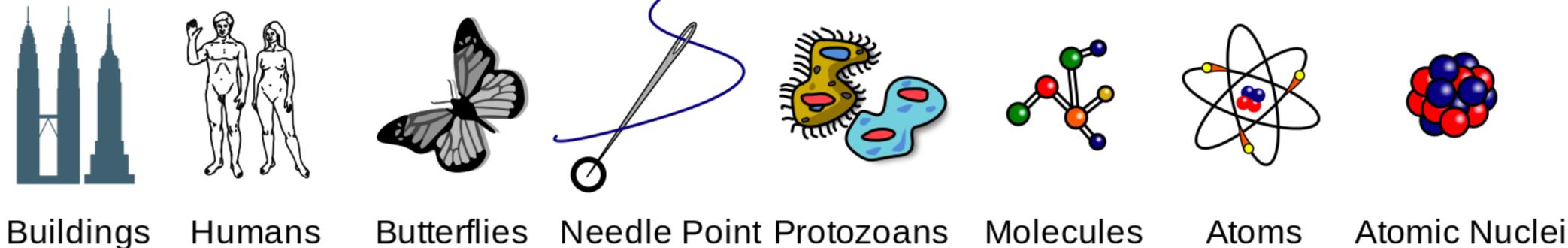
Penetrates Earth's
Atmosphere?



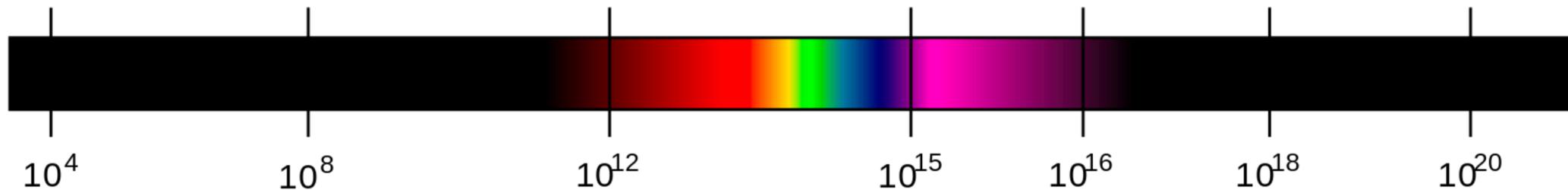
Radiation Type
Wavelength (m)



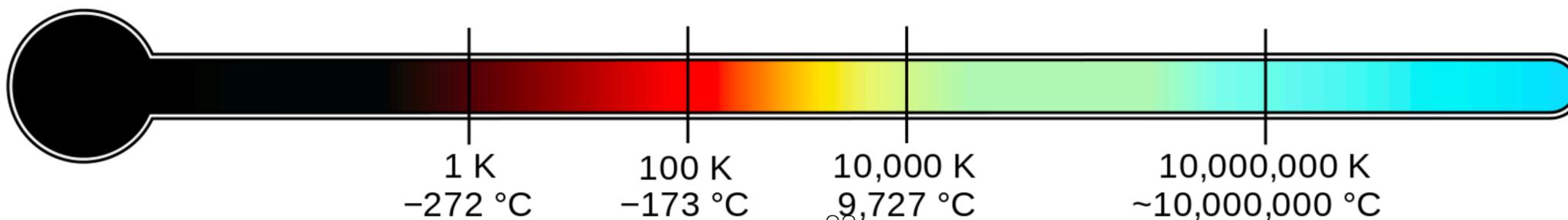
Approximate Scale
of Wavelength



Frequency (Hz)



Temperature of
objects at which
this radiation is the
most intense
wavelength emitted

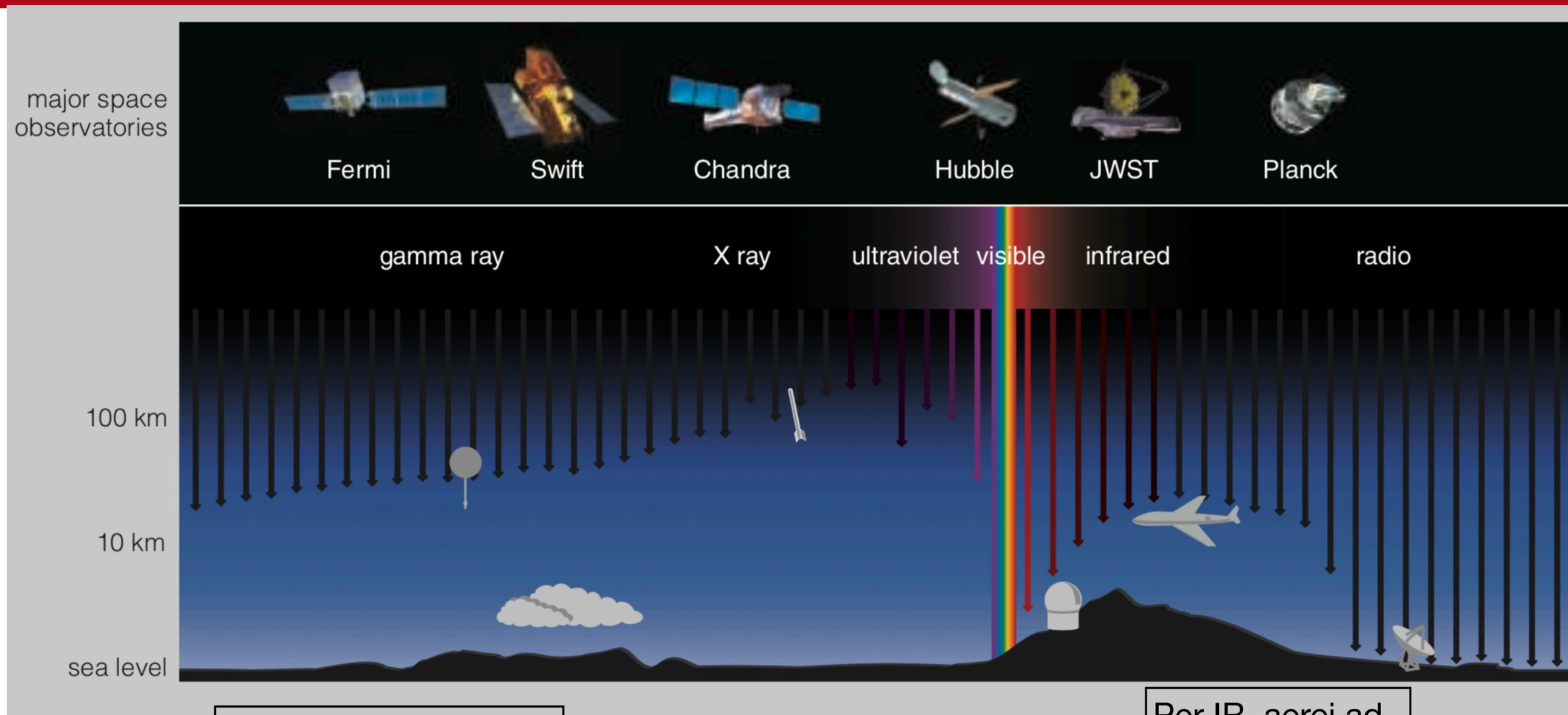


$$E = h\nu$$

$$\nu = c/\lambda$$



Lo spettro elettromagnetico



Questo diagramma mostra fino a che profondità nell'atmosfera fotoni di diverse λ possono penetrare

Per raggi gamma o X posso lanciare palloni o razzi nell'alta atmosfera, ma meglio lo spazio

Per UV, solo spazio

Per ottico, terra o spazio

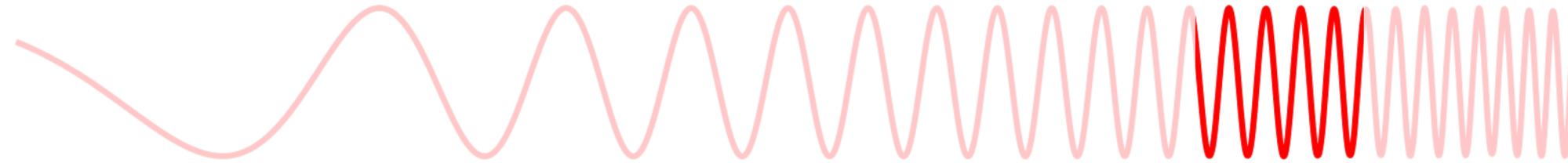
Per IR, aerei ad alta quota o spazio

Per radio, terra o spazio

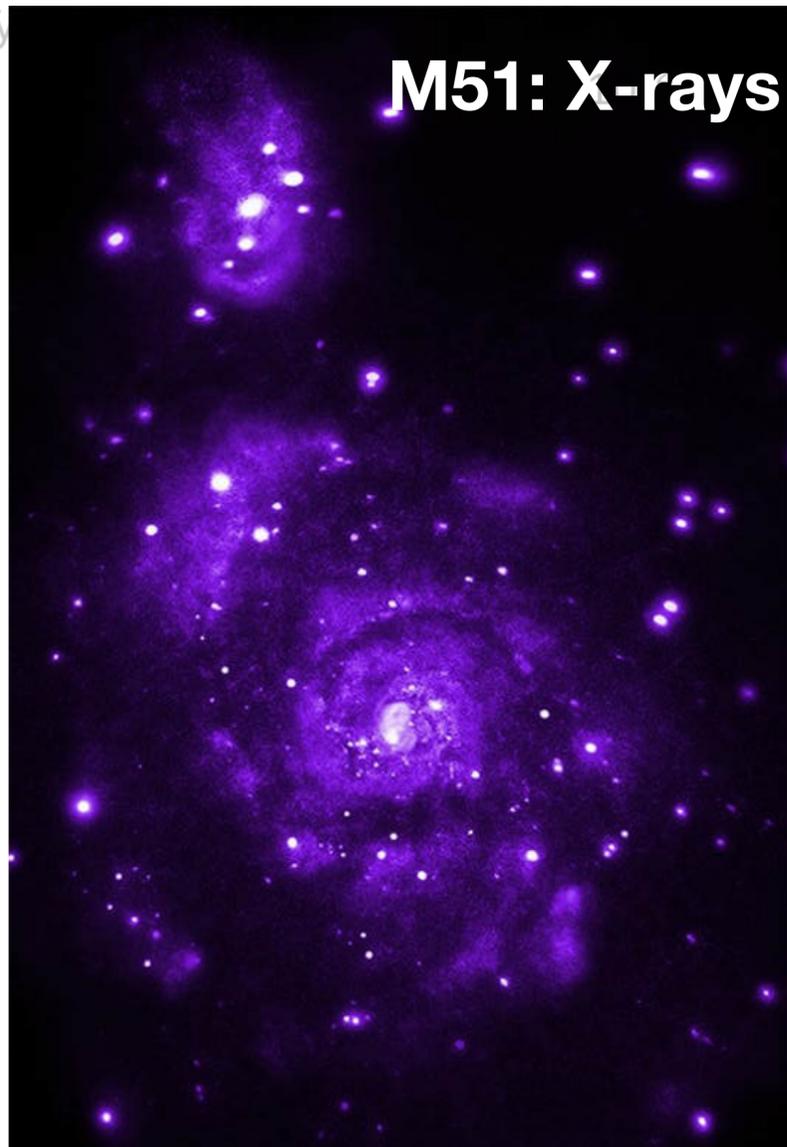


Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type
Wavelength



M51: X-rays

Infrared
 10^{-5}

Visible
 0.5×10^{-6}

Ultraviolet
 10^{-8}

X-ray
 10^{-10}

Gamma ray
 10^{-12}

Sorgenti compatte:
binarie X, nuclei
galattici attivi (BH)

Componente diffusa:
plasma caldo, associato
a stelle giovani

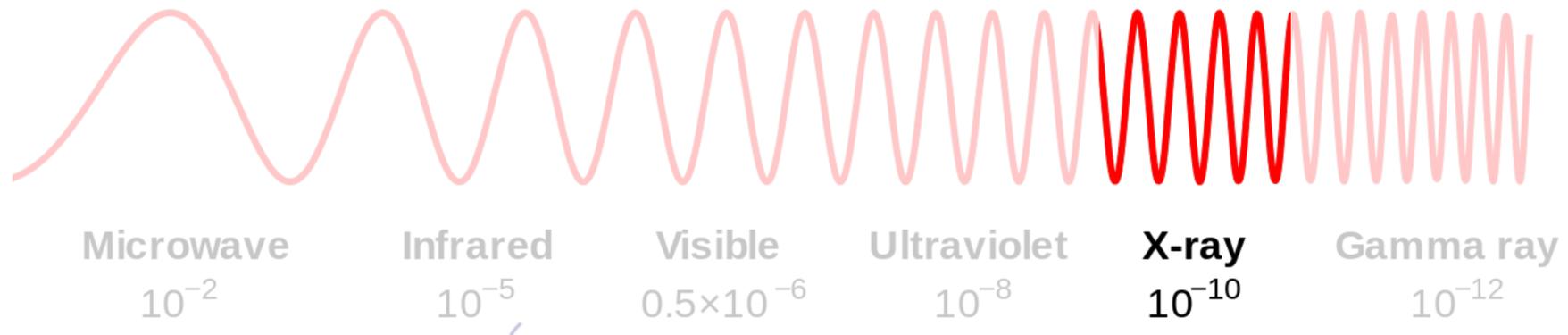
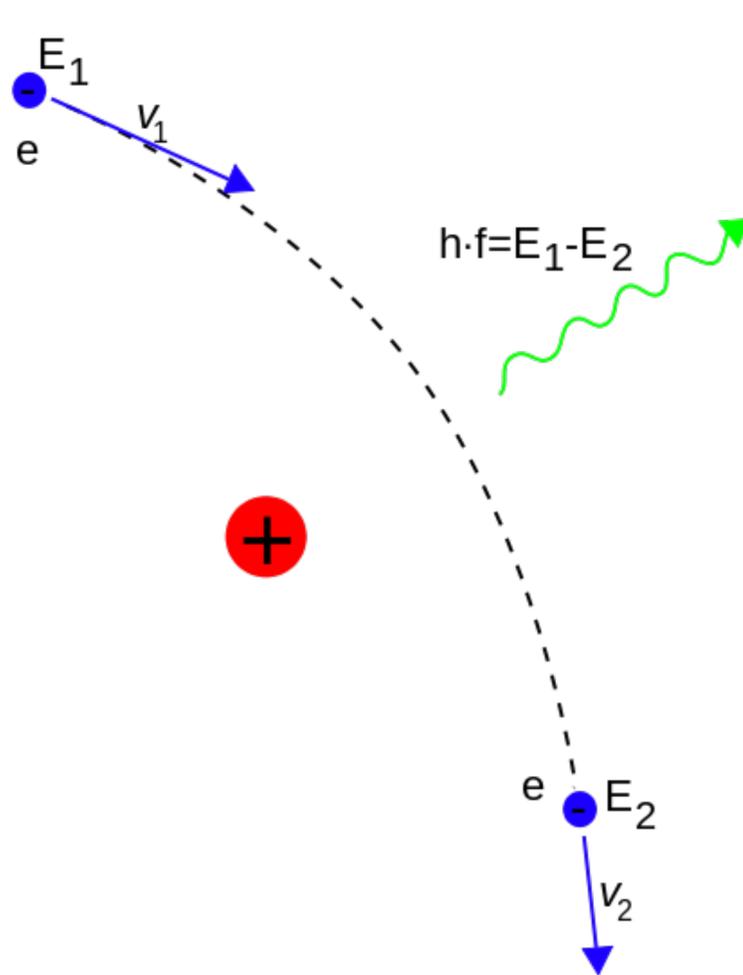


Satellite Chandra

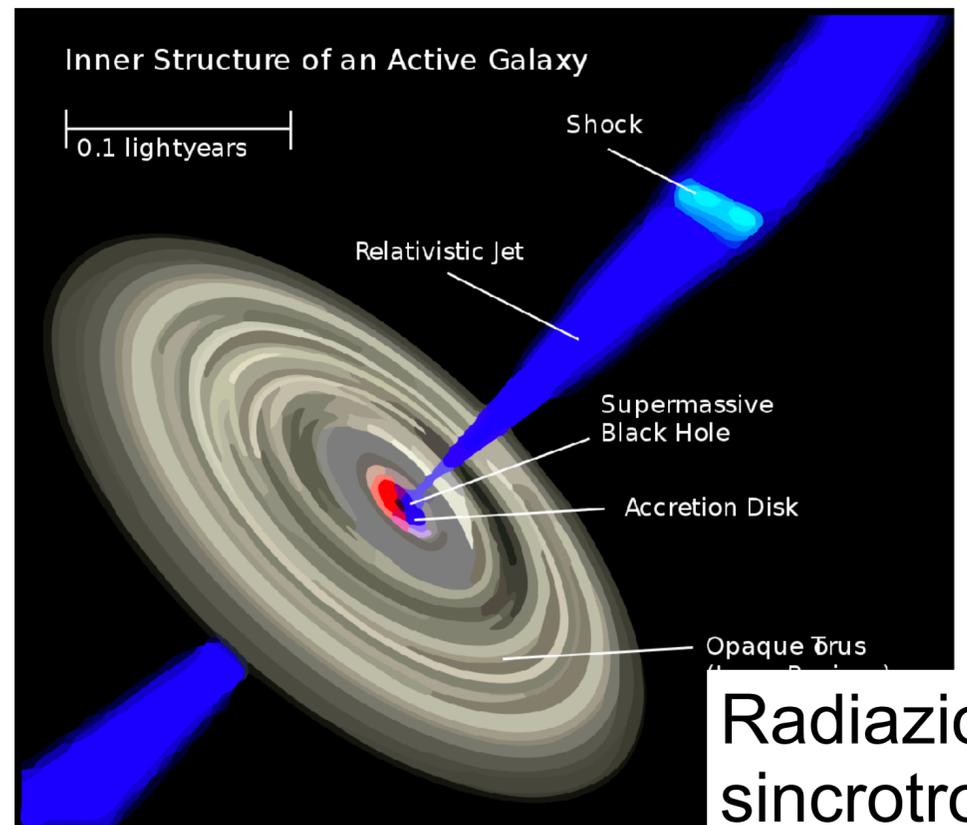
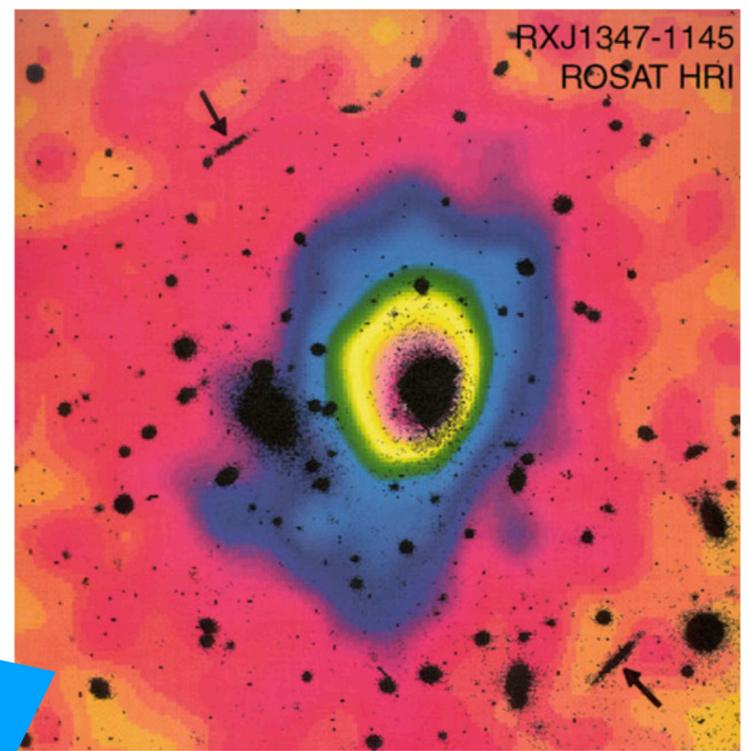


Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's



Microwave 10^{-2} Infrared 10^{-5} Visible 0.5×10^{-6} Ultraviolet 10^{-8} X-ray 10^{-10} Gamma ray 10^{-12}



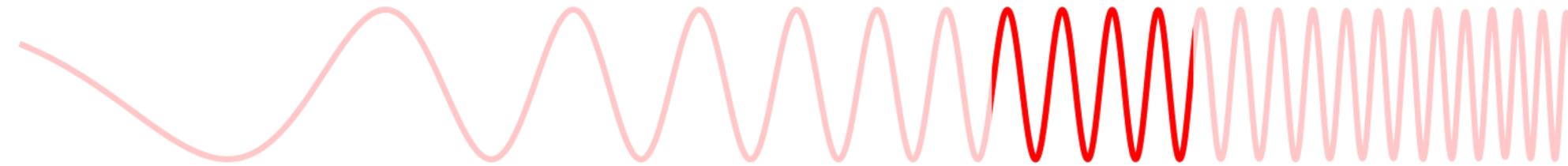
Radiazione di free-free, di frenamento; tipica in plasmi caldi

Radiazione di sincrotrone, Compton inverso, da elettroni relativistici

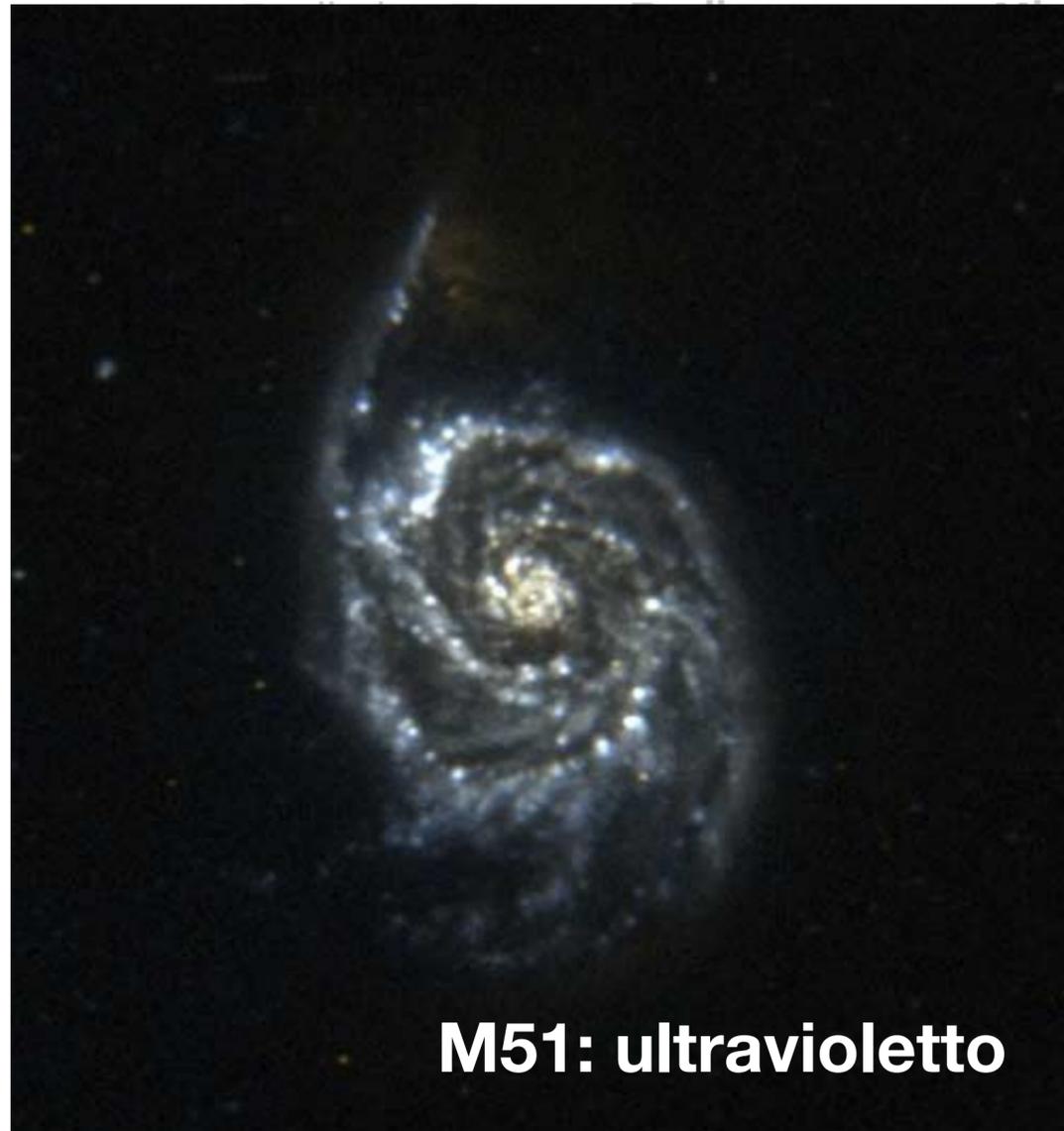


Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?

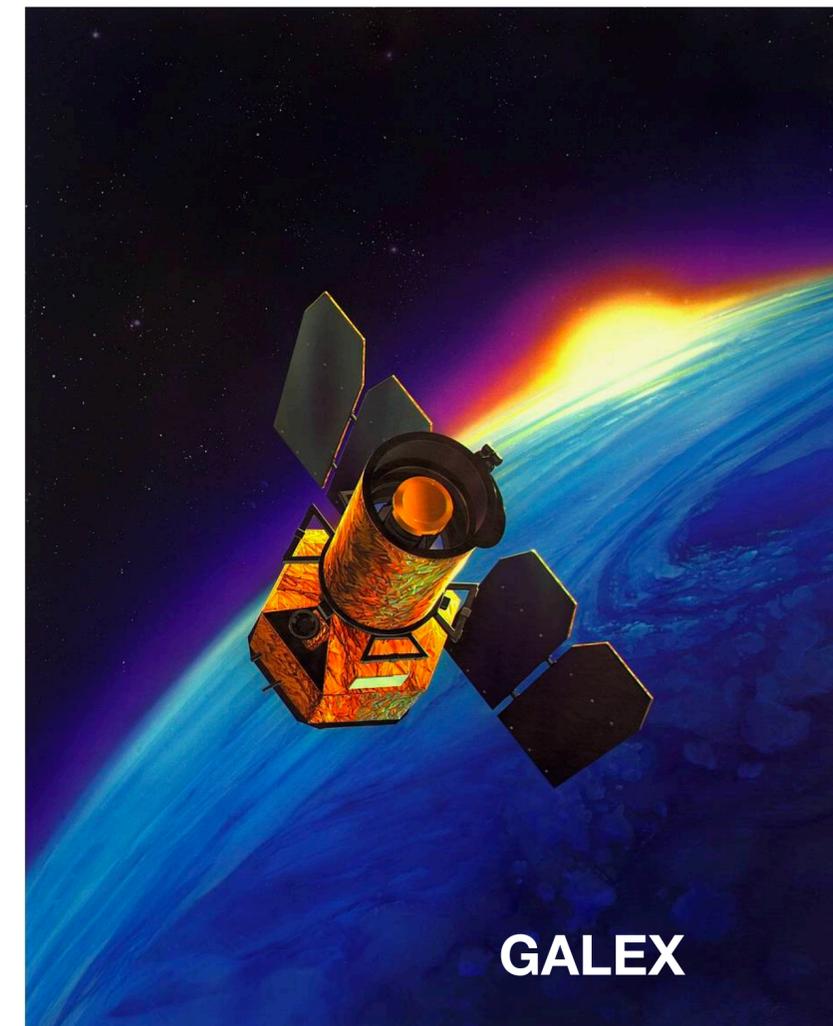


Radio wave 10^{-2} Infrared 10^{-5} Visible 0.5×10^{-6} Ultraviolet 10^{-8} X-ray 10^{-10} Gamma ray 10^{-12}



M51: ultravioletto

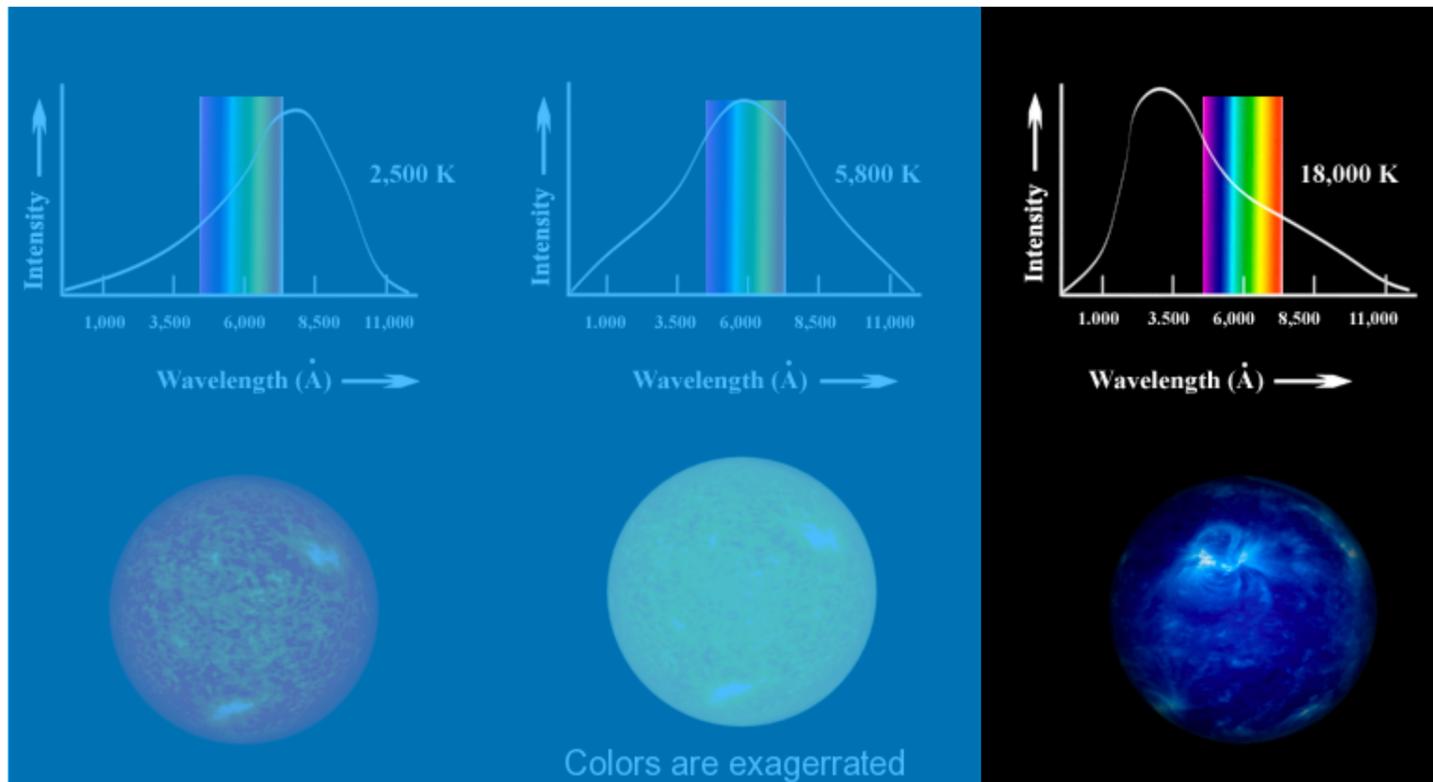
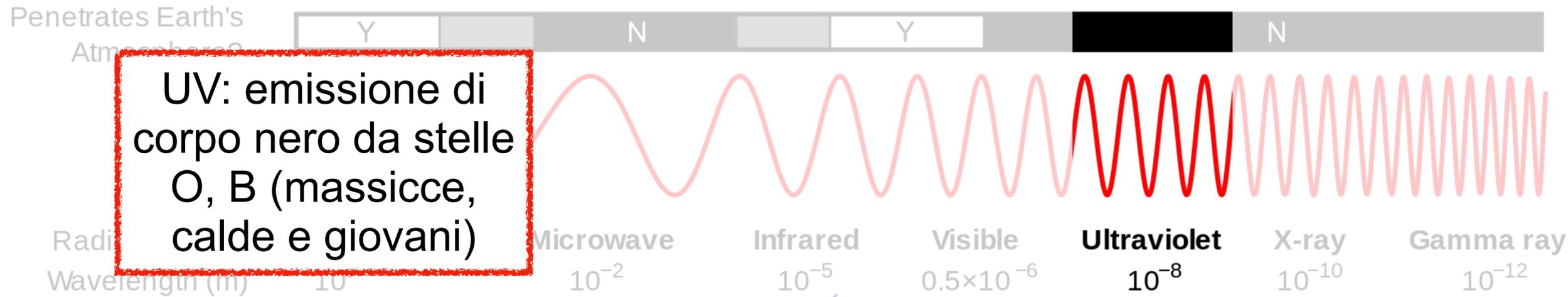
UV: emissione di
corpo nero da stelle
O, B (massicce,
calde e giovani)



GALEX



Galassie a diverse lunghezze d'onda

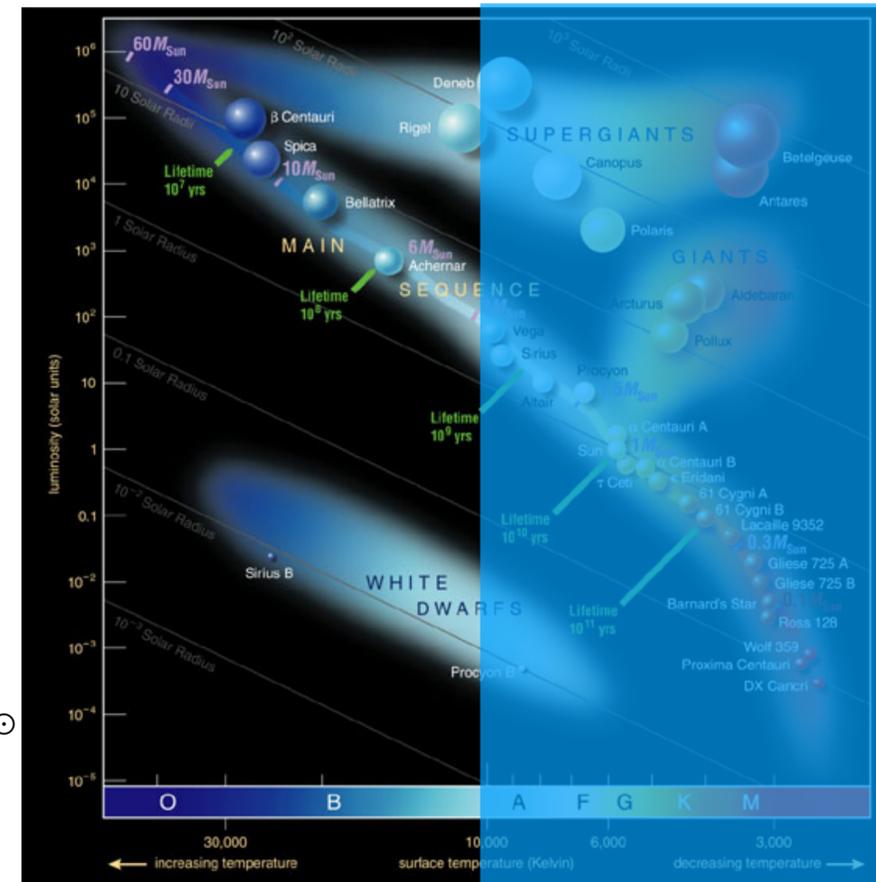


Nonostante le stelle OB siano poco numerose, sono brillantissime; 1 stella O ha la luminosità di 10^6 soli

$10^6 L_{\odot}$

$1 L_{\odot}$

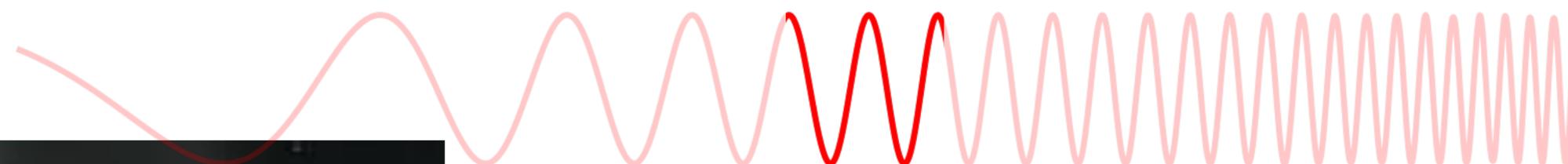
$10^{-4} L_{\odot}$





Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type
Wavelength (m)

Radio
 10^3

M51: ottico

ve

Infrared
 10^{-5}

Visible
 0.5×10^{-6}

Ultraviolet
 10^{-8}

X-ray
 10^{-10}

Gamma ray
 10^{-12}



Ottico: emissione
termica di stelle
intermedie



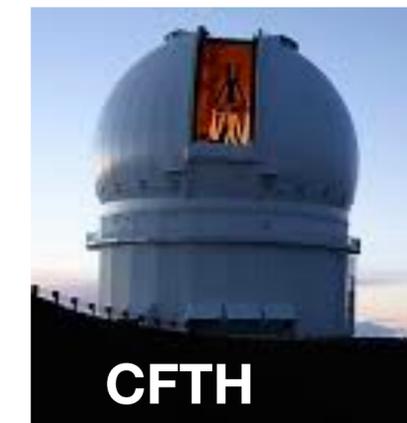
Subaru



HST



VLT

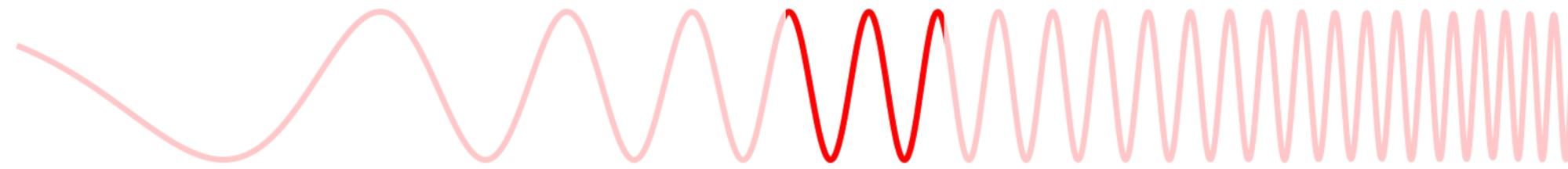


CFT



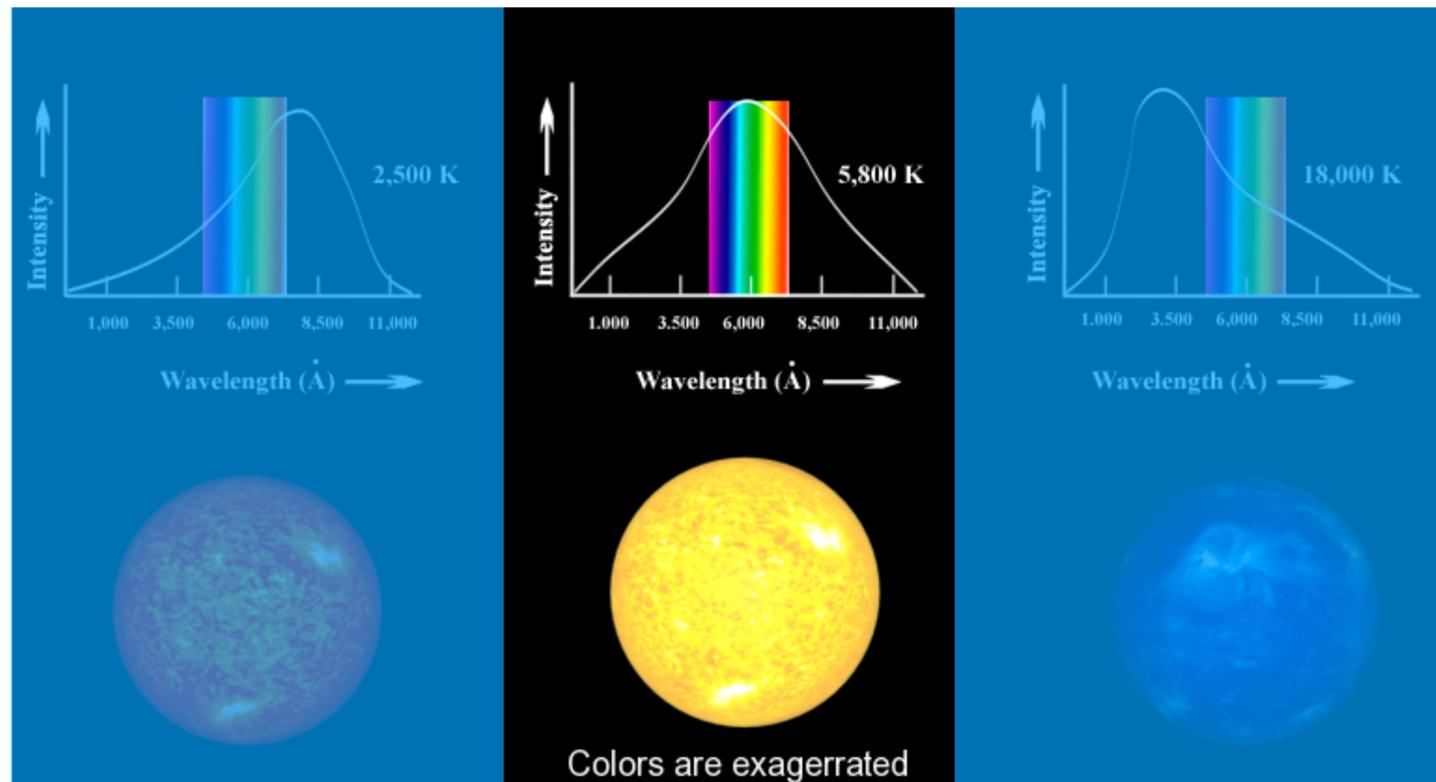
Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type
Wavelength (m)

Radio	Microwave	Infrared	Visible	Ultraviolet	X-ray	Gamma ray
10^3	10^{-2}	10^{-5}	0.5×10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-12}

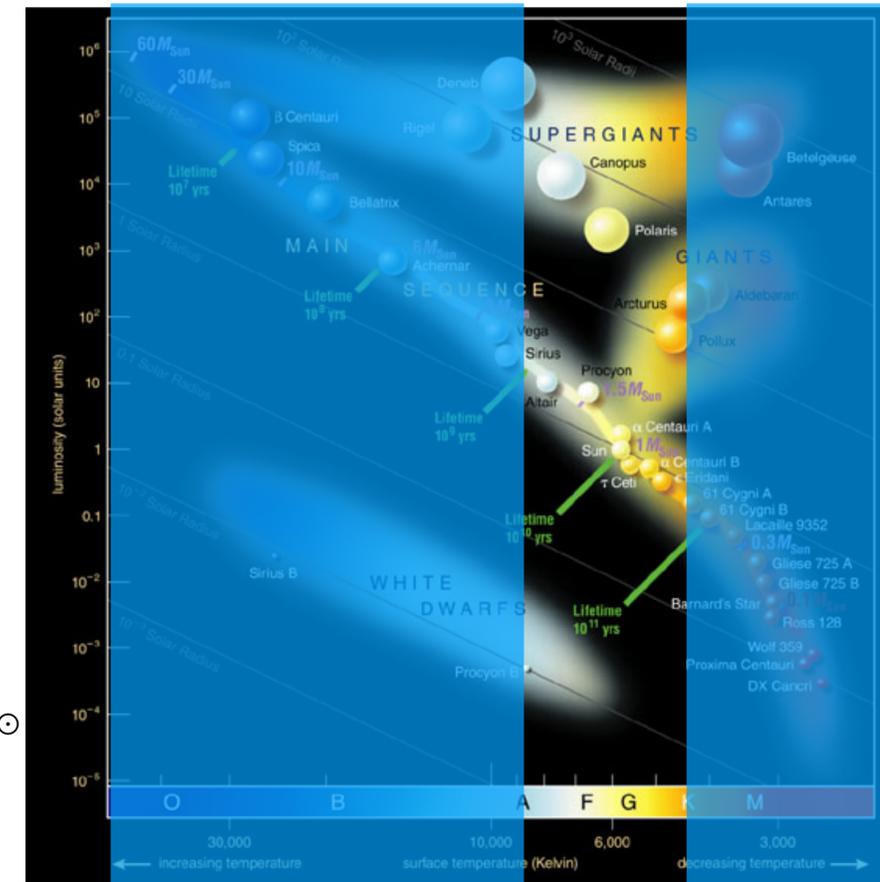


Ottico: emissione
termica di stelle
intermedie

$10^6 L_{\odot}$

$1 L_{\odot}$

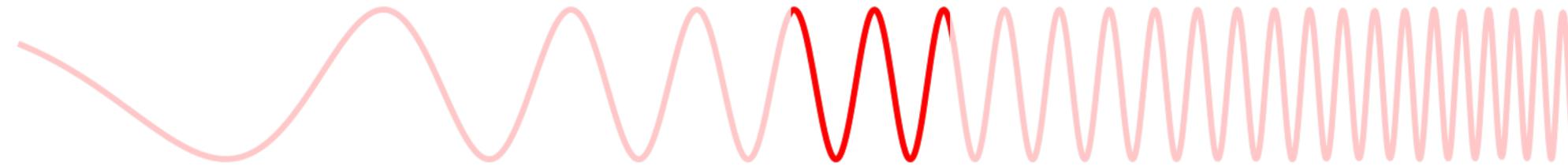
$10^{-4} L_{\odot}$





Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type

Radio

Microwave

Infrared

Visible

Ultraviolet

X-ray

Gamma ray

10^{-2}

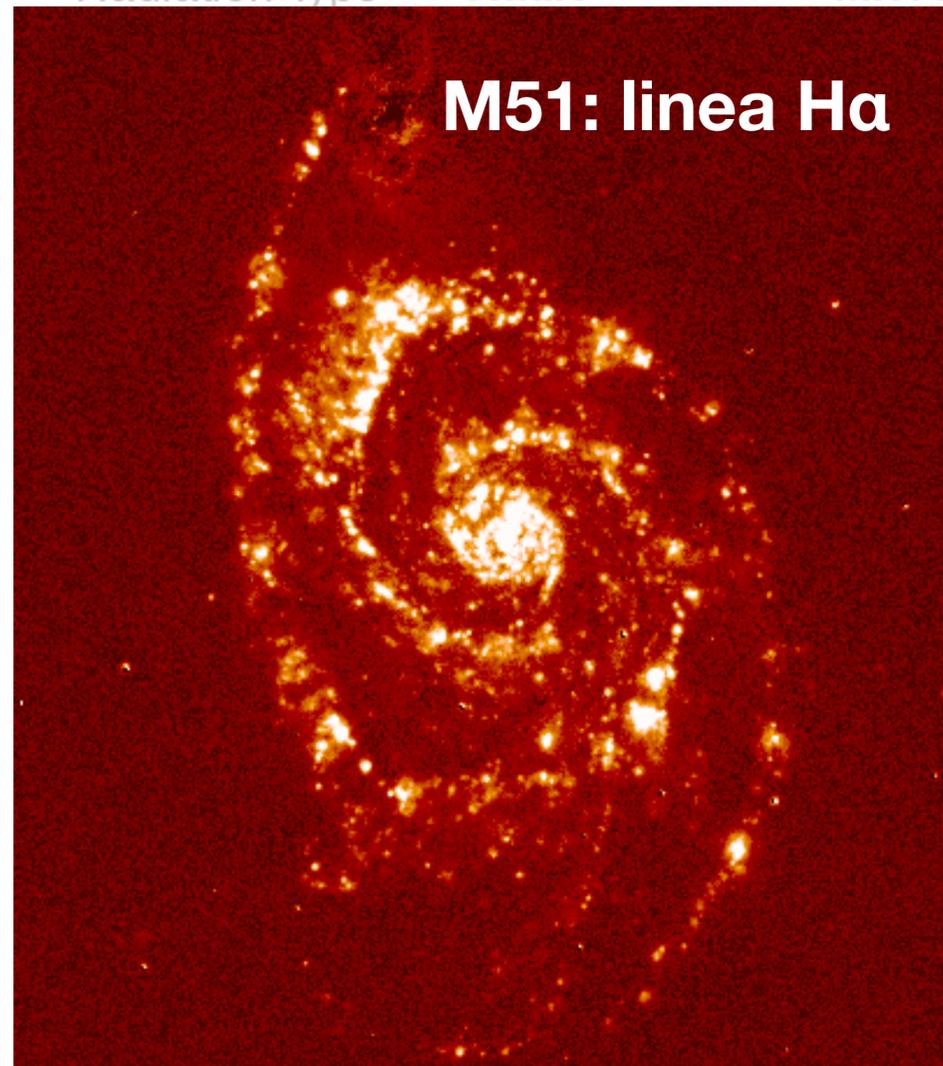
10^{-5}

0.5×10^{-6}

10^{-8}

10^{-10}

10^{-12}



Riga H α :
radiazione
ionizzante da
stelle calde

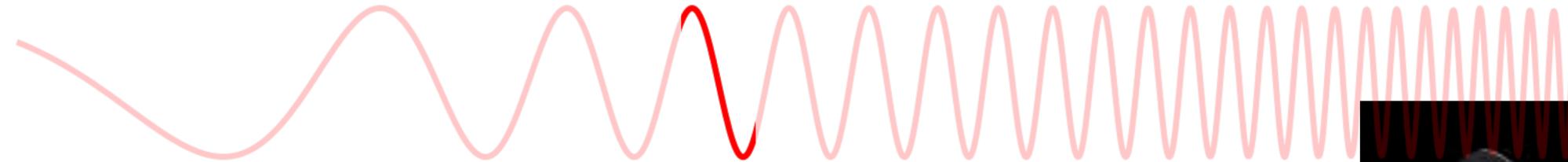


Nubi di ionizzazione



Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type

Radio

Microwave

Infrared

Visible

Ultraviolet

X-ray

Wavelength (m)

10^3

10^{-2}

10^{-5}

0.5×10^{-6}

10^{-8}

10^{-10}

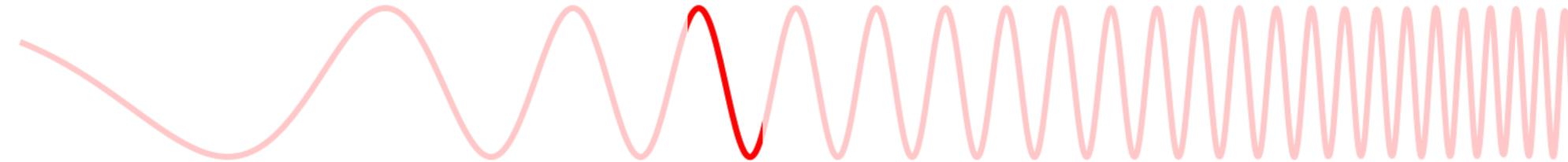
Continuo NIR:
emissione termica di
stelle M, K



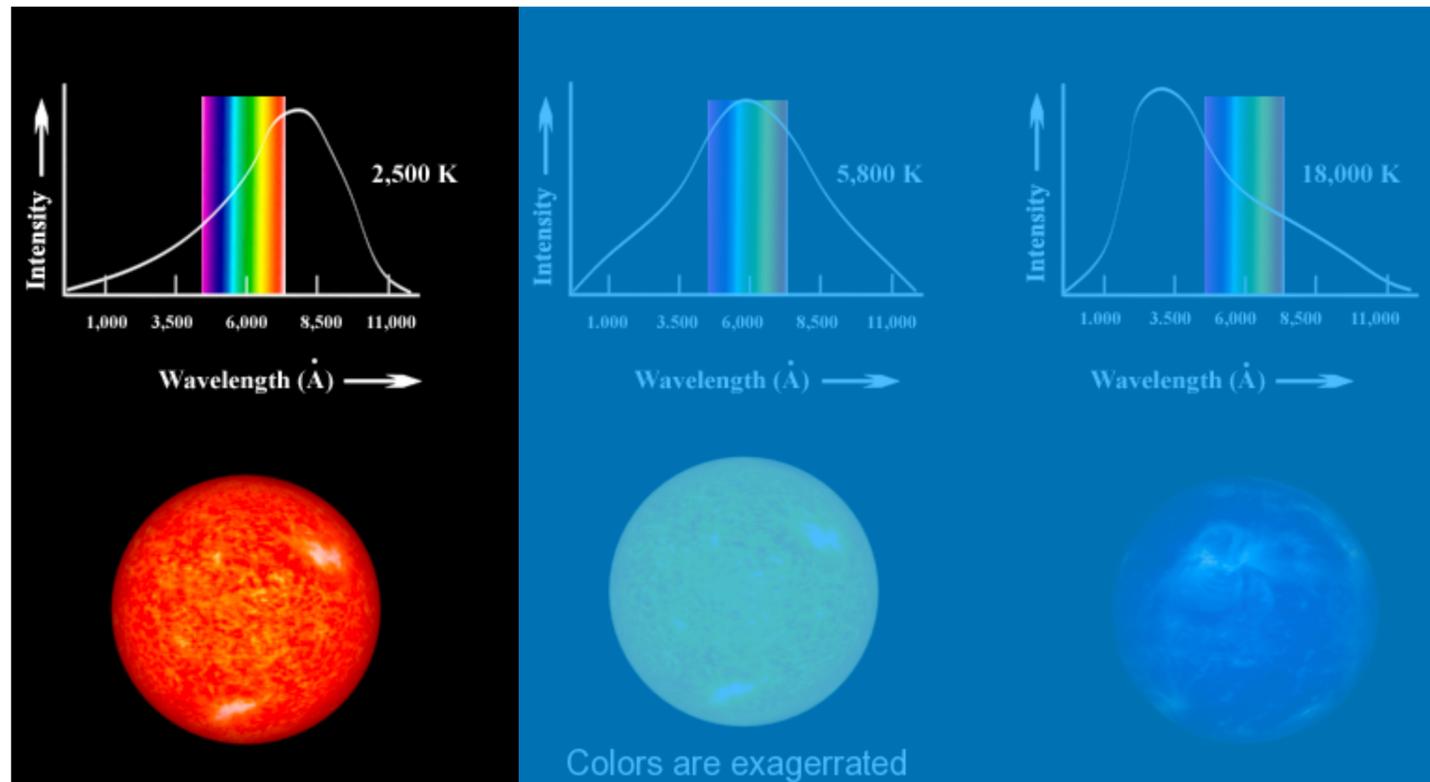


Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type	Radio	Microwave	Infrared	Visible	Ultraviolet	X-ray	Gamma ray
Wavelength (m)	10^3	10^{-2}	10^{-5}	0.5×10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-12}

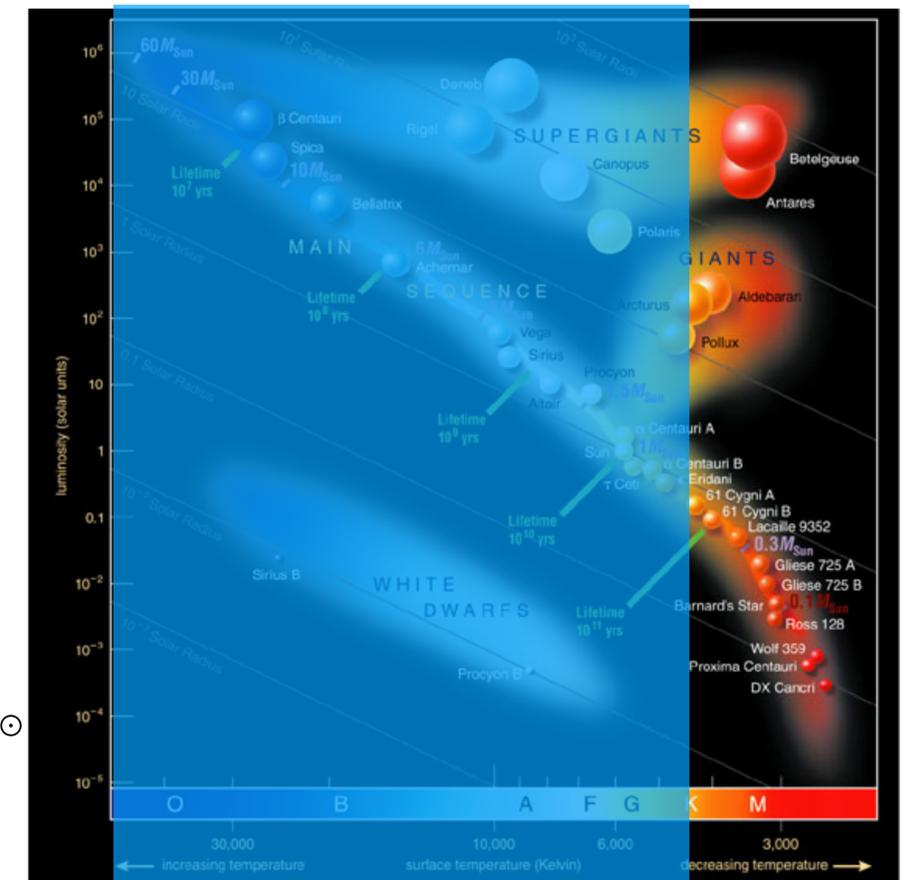


Continuo NIR:
emissione termica di
stelle M, K

$10^6 L_{\odot}$

$1 L_{\odot}$

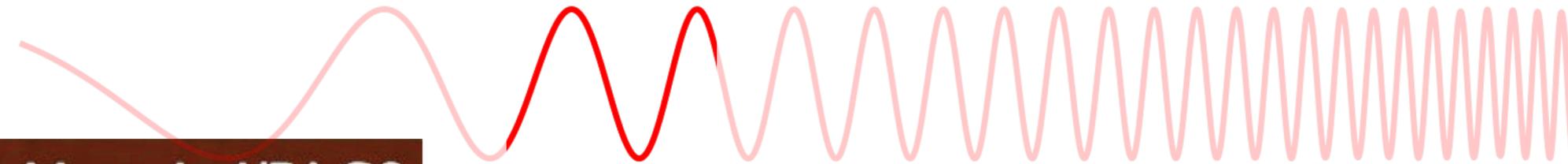
$10^{-4} L_{\odot}$





Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Herschel/PACS

Radiation Type
Wavelength (m)

Radio 10^3 Microwave 10^{-4} **Infrared** 10^{-5} Visible 0.5×10^{-6} Ultraviolet 10^{-8} X-ray 10^{-10} Gamma ray

Continuo FIR:
emissione termica
della polvere

M51: lontano infrarosso

ESA & The PACS Consortium



Spitzer



Herschel



Galassie a diverse lunghezze d'onda

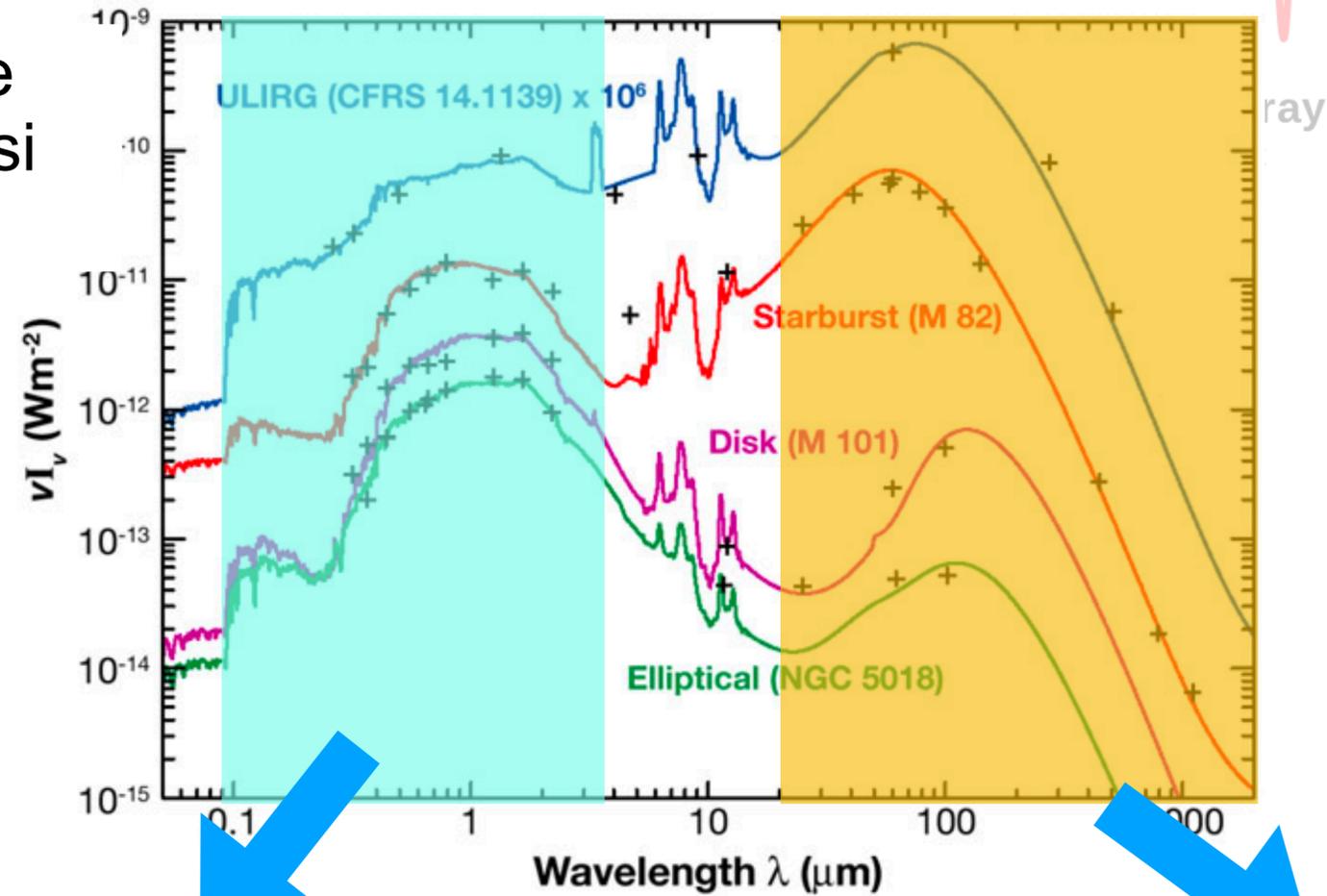
Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type
Wavelength (m)



La polvere assorbe
luce UV e ottica e si
scalda



Emette radiazione di
corpo nero T~30K

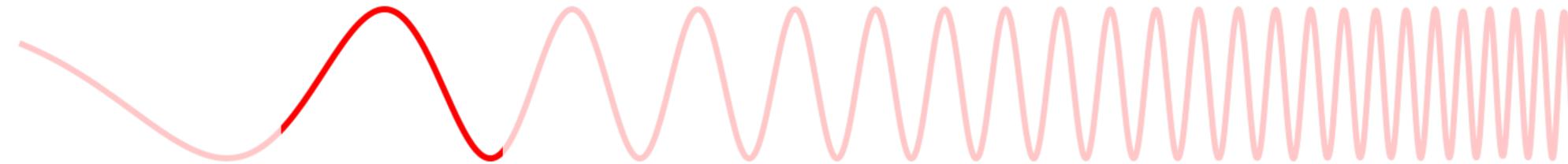
Emissione stellare
diretta

Continuo FIR:
emissione termica
della polvere



Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type

Radio

Microwave
 10^{-2}

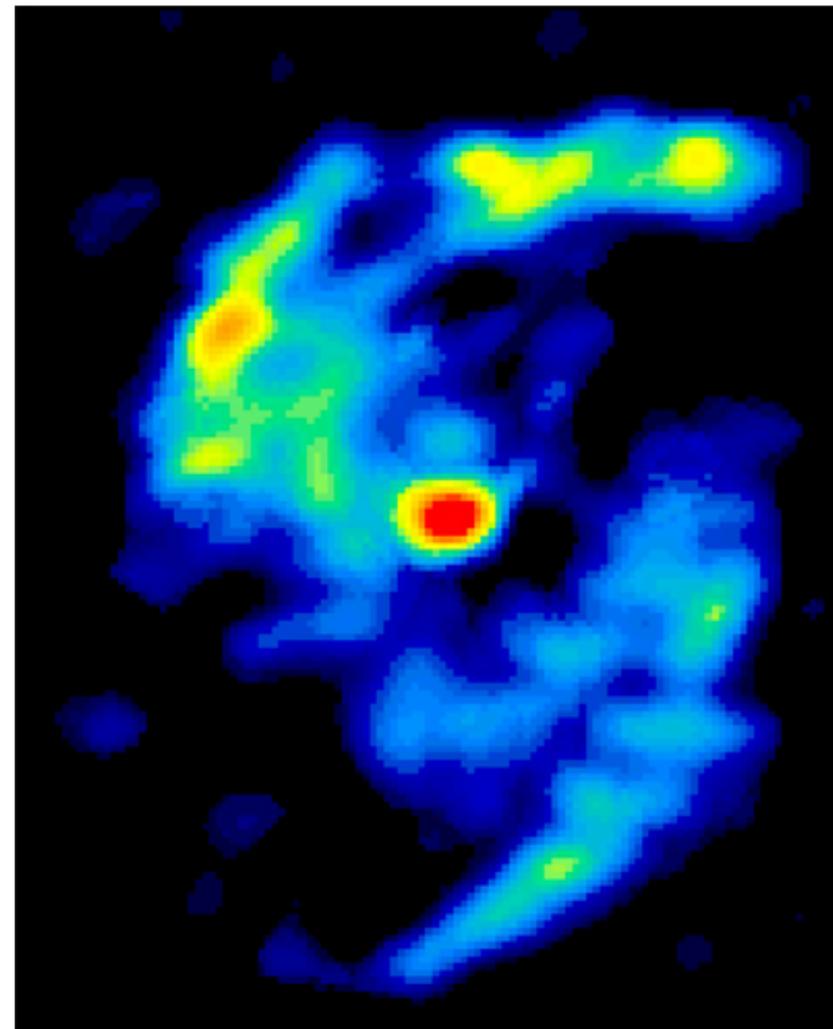
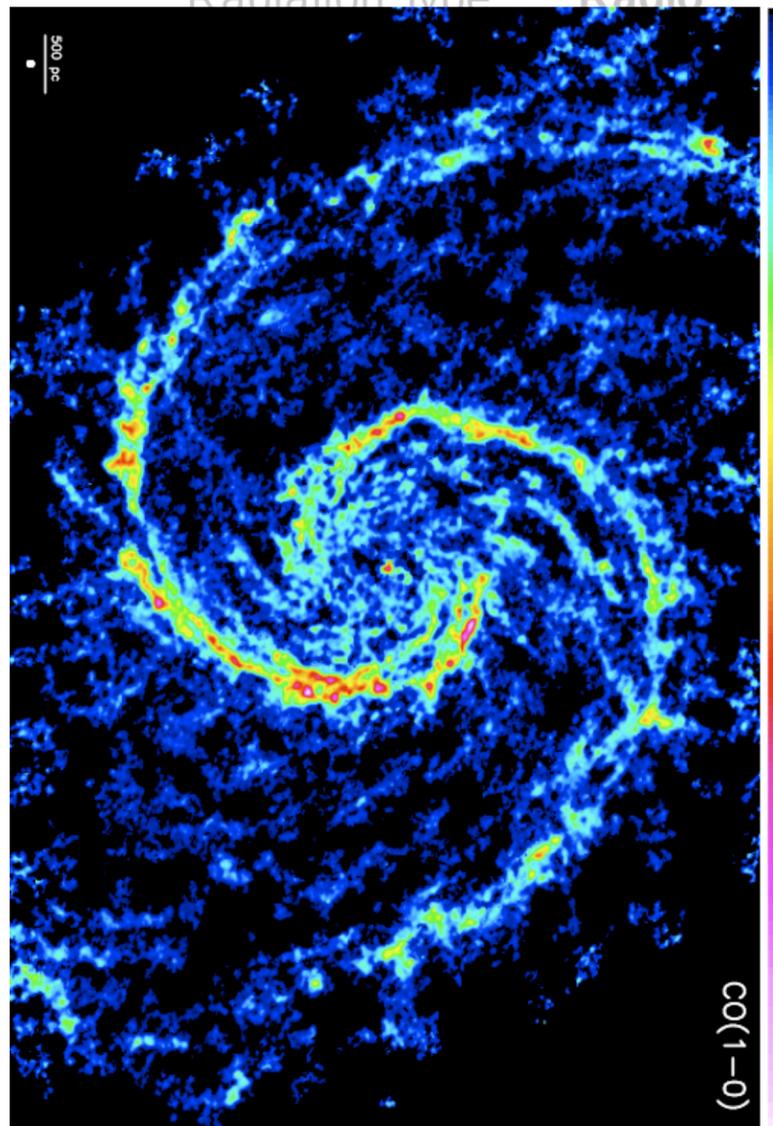
Infrared
 10^{-5}

Visible
 0.5×10^{-6}

Ultraviolet
 10^{-8}

X-ray
 10^{-10}

Gamma ray
 10^{-12}



Continuo sub-mm,
microonde: emissione
termica polvere (RJ)

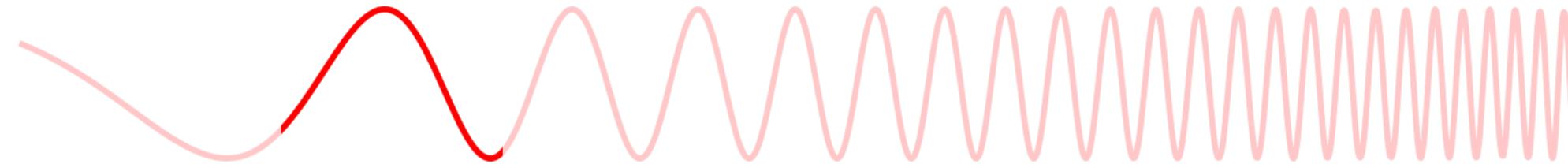
Righe
spettrali: gas
molecolare



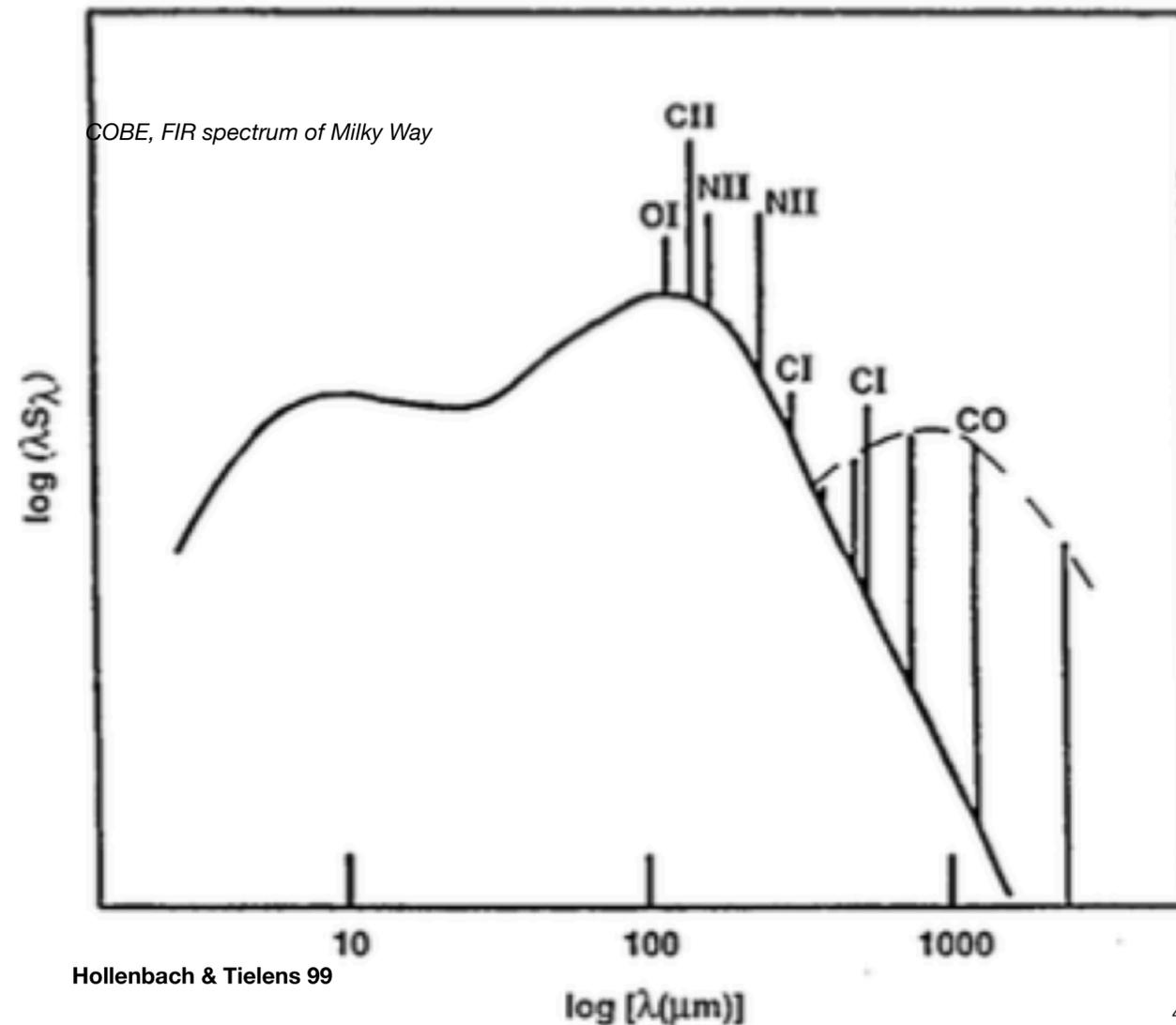


Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radia
Wavel



Visible
 4×10^{-6}

Ultraviolet
 10^{-8}

X-ray
 10^{-10}

Gamma ray
 10^{-12}

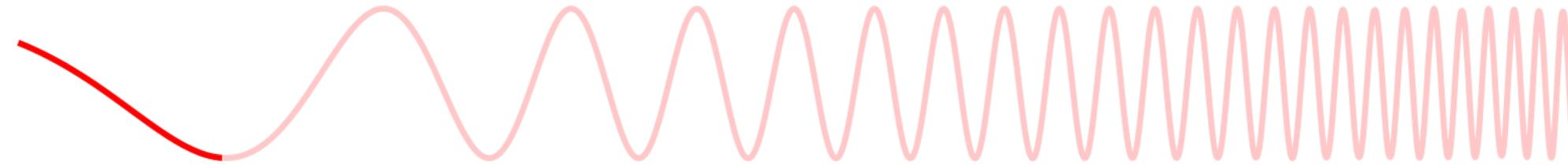
Continuo sub-mm,
microonde: emissione
termica polvere (RJ)

Righe
spettrali: gas
molecolare



Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type

Radio

Microwave

Infrared

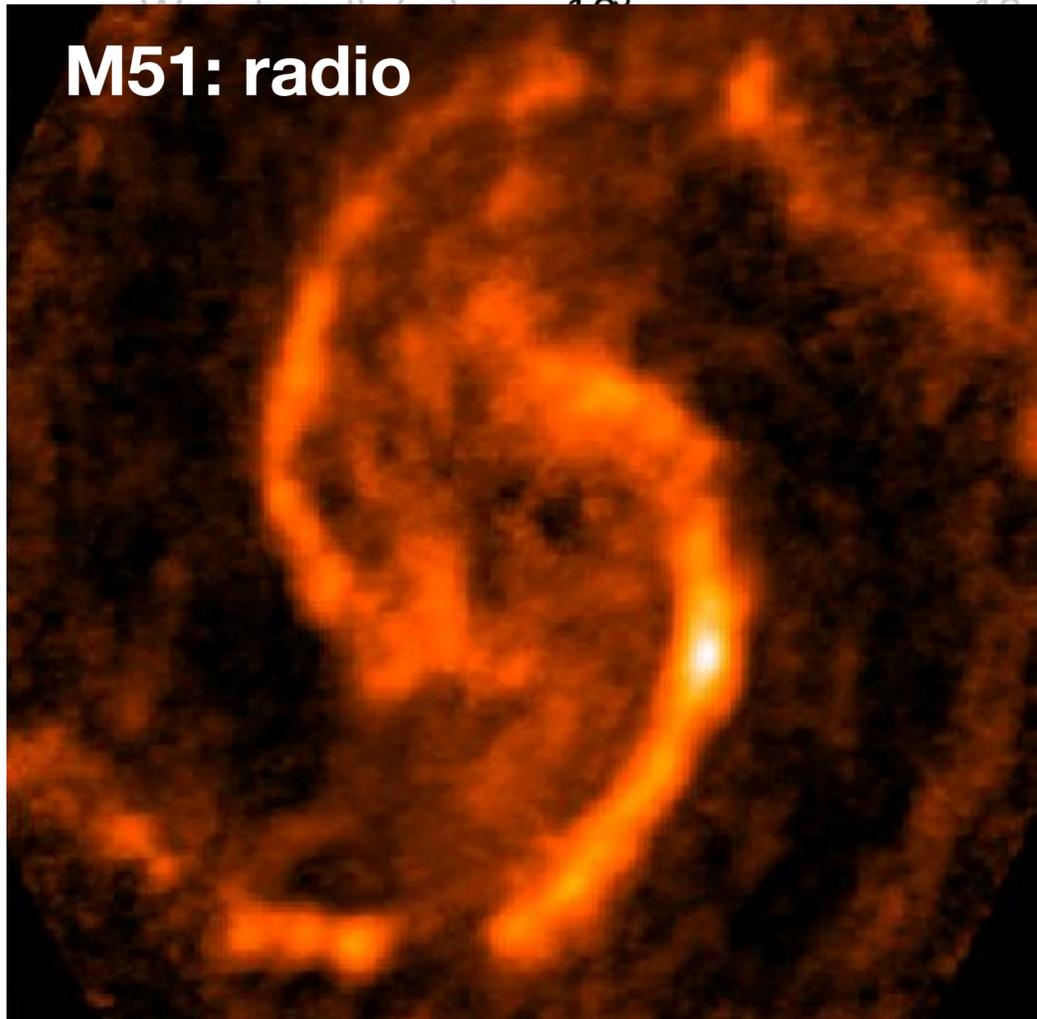
Visible

Ultraviolet

X-ray

Gamma ray

M51: radio



Continuo radio: regioni di
formazione stellare,
radiazione da sincrotrone
da supernovae

VLA



Arecibo





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type
Wavelength (m)

Radio
 10^3

Microwave
 10^{-2}

Infrared
 10^{-5}

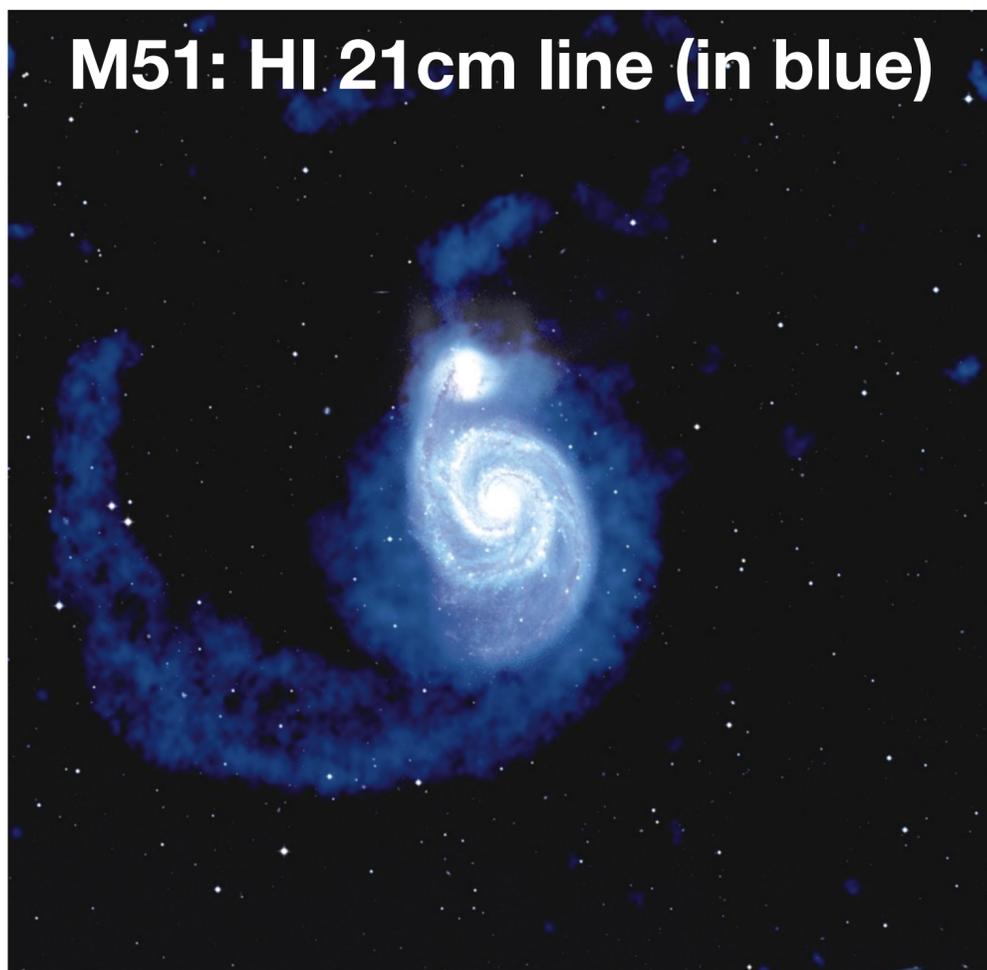
Visible
 0.5×10^{-6}

Ultraviolet
 10^{-8}

X-ray
 10^{-10}

Gamma ray
 10^{-12}

M51: HI 21cm line (in blue)



21cm HI line: gas freddo



Galassie a diverse lunghezze d'onda

Penetrates Earth's
Atmosphere?



Radiation Type

Radio

Microwave

Infrared

Visible

Ultraviolet

X-ray

Gamma ray

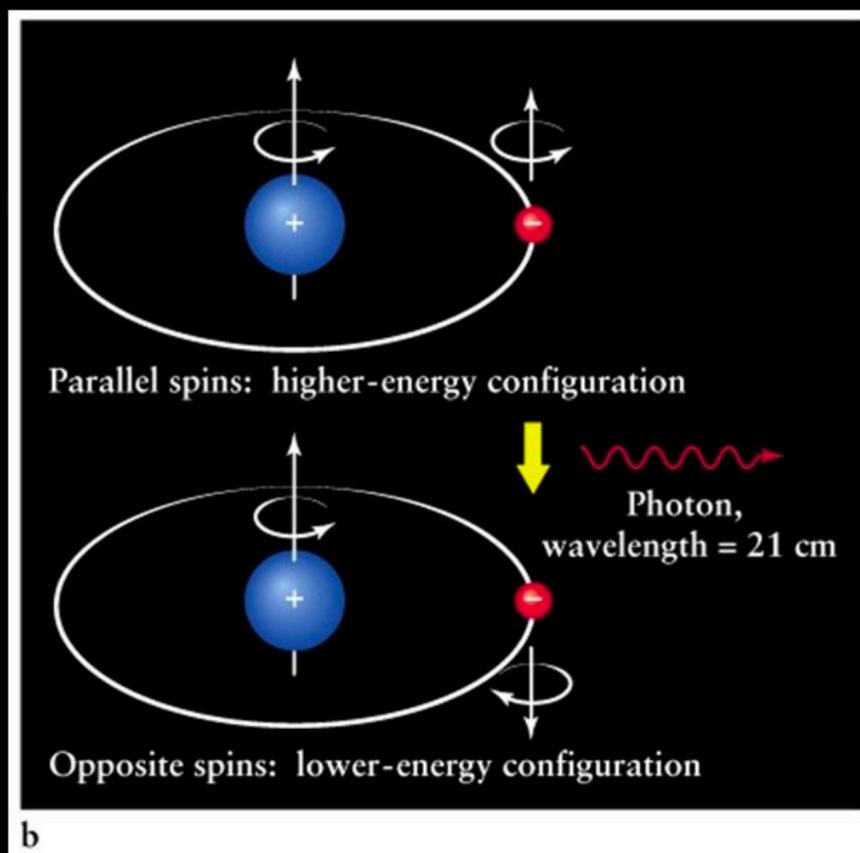
10^{-5}

0.5×10^{-6}

10^{-8}

10^{-10}

10^{-12}



21-cm radio
emission from
interstellar
hydrogen gas.

21cm HI line: gas freddo

Transizione tra 2 livelli energetici
dell'idrogeno neutro:

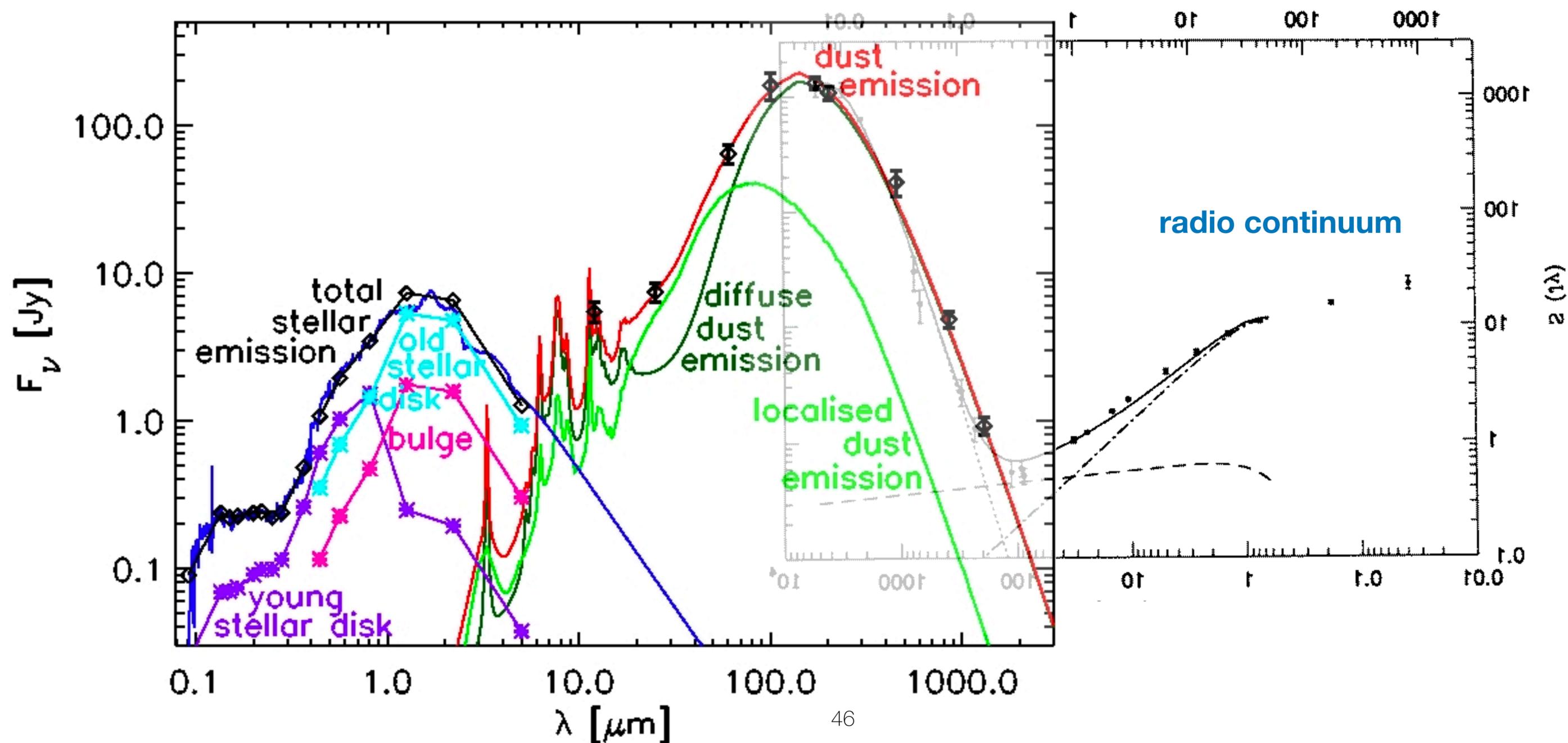
1. spin opposto, energia più bassa
2. spin parallelo, energia più alta

1 transizione ogni 10^{7-8} anni! Impossibile da osservare in laboratorio, ma possibile nell'Universo data l'abbondanza di HI



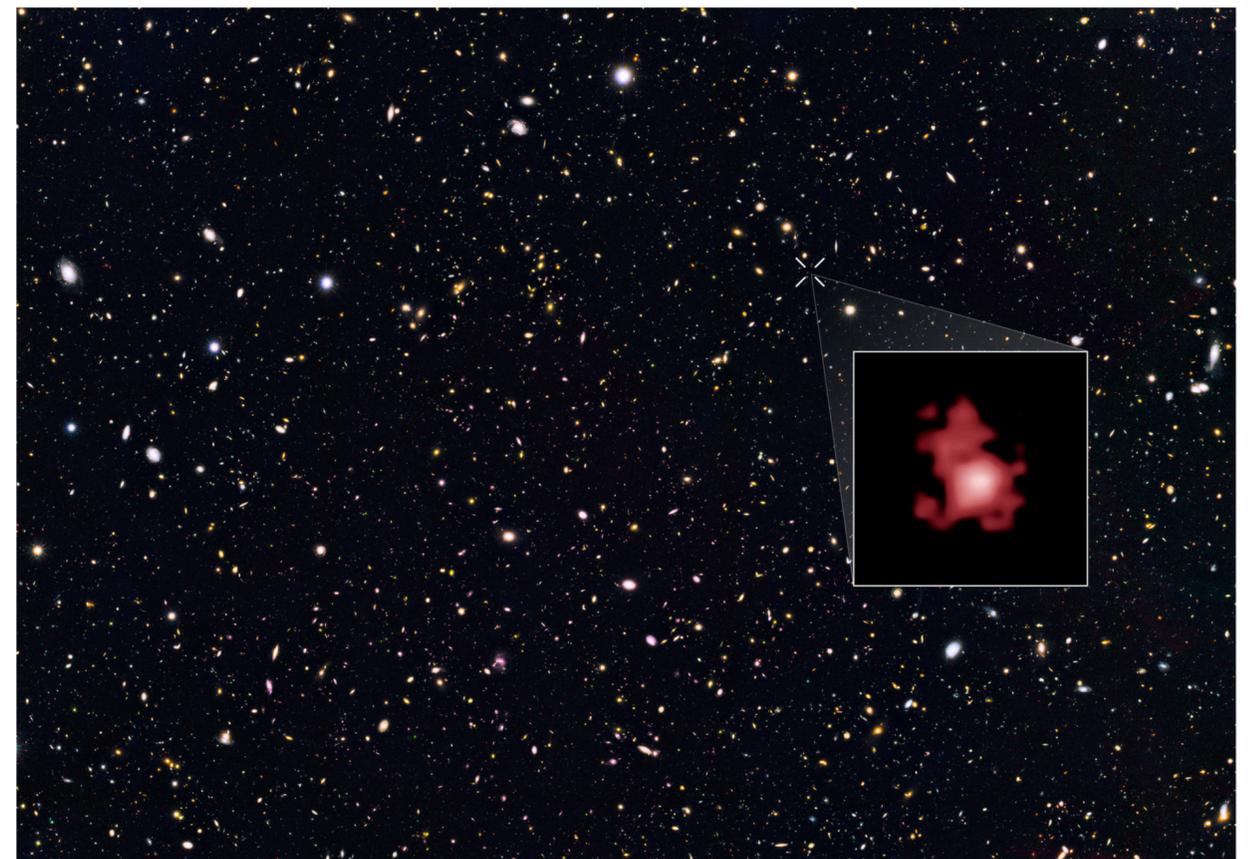
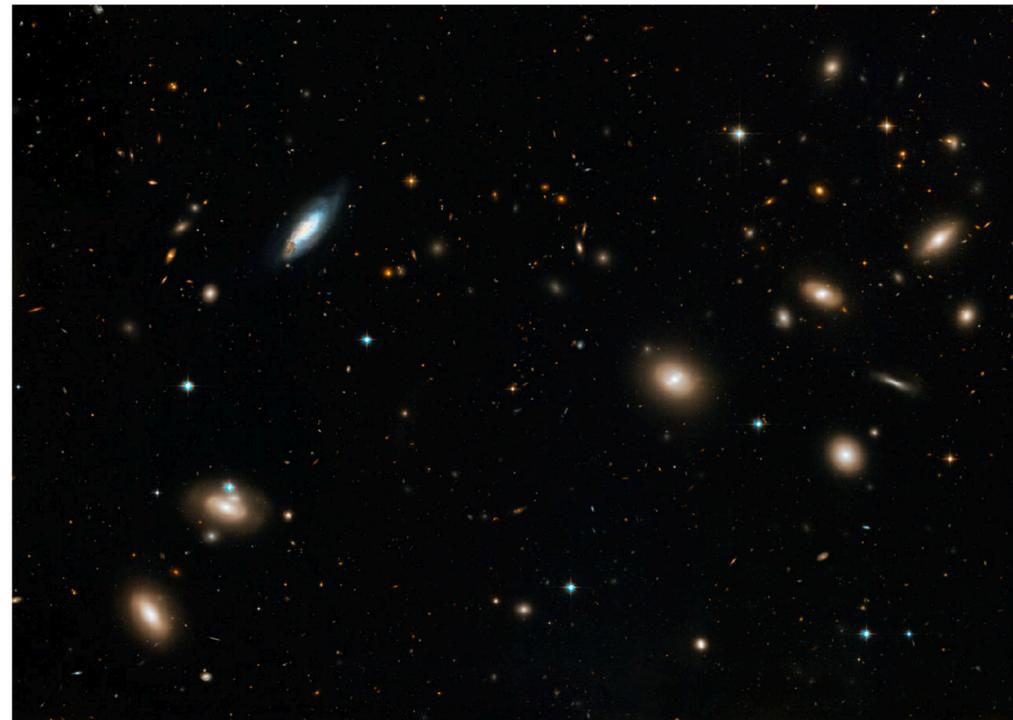
Galassie a diverse lunghezze d'onda

Esempio di distribuzione spettrale di energia di una galassia





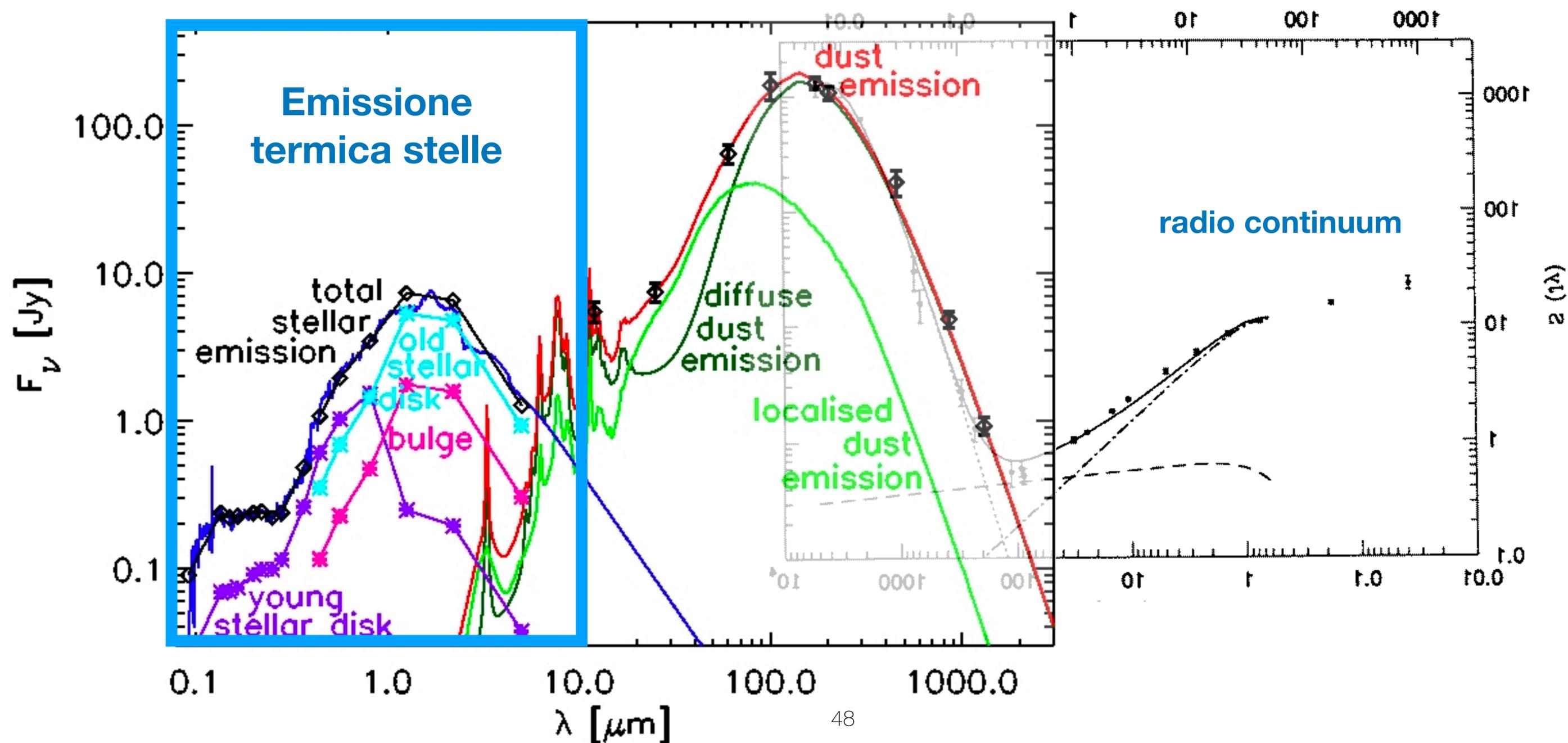
Come studiare le stelle in galassie distanti?





Galassie a diverse lunghezze d'onda

Ci concentriamo sulla parte “stellare”



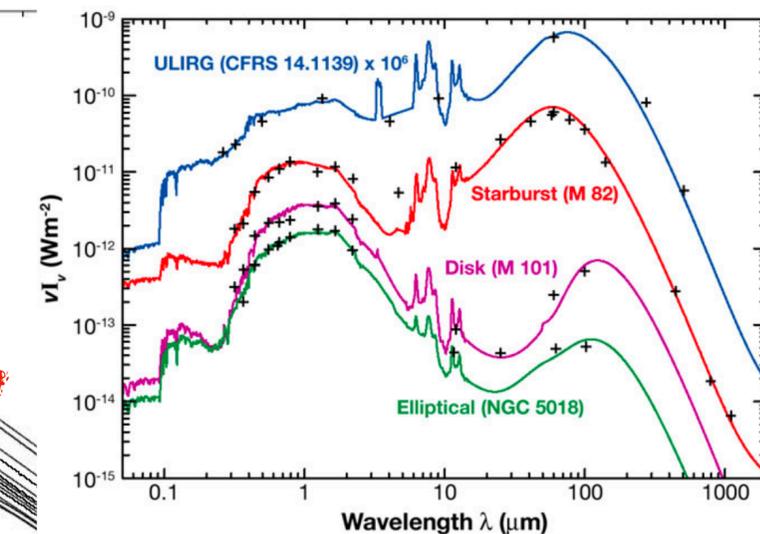
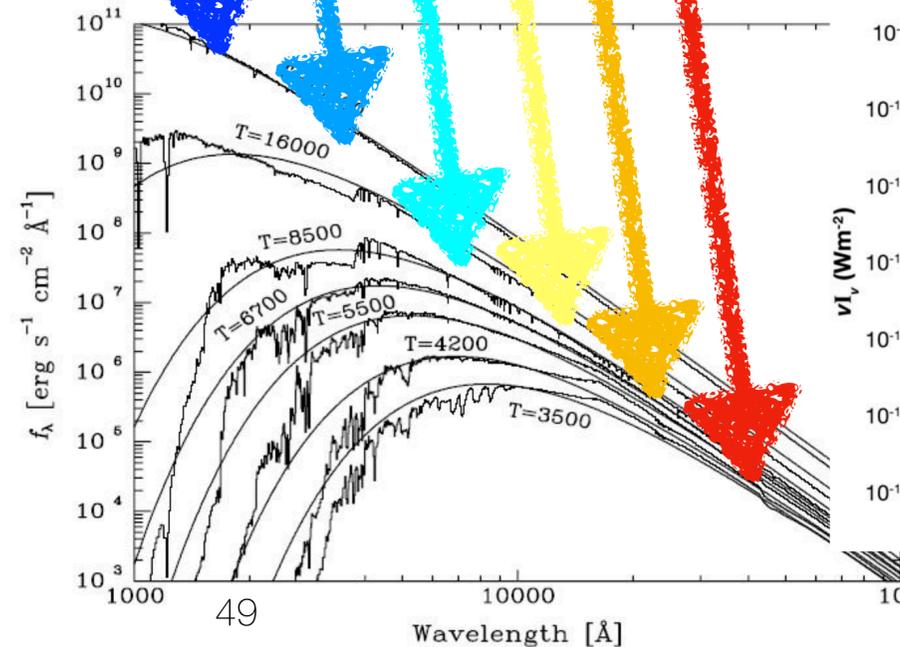
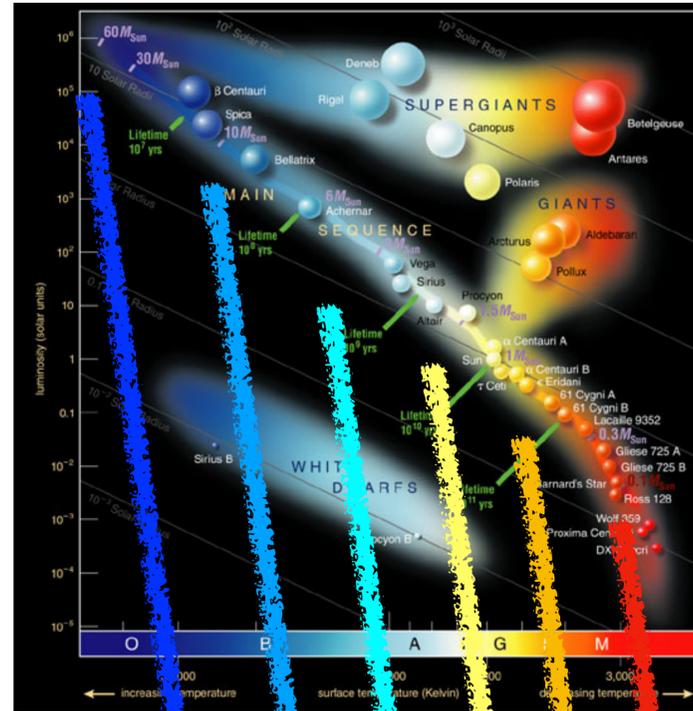


Sintesi di popolazioni stellari

La luce delle galassie ha origine dalle stelle. La radiazione spettrale delle stelle può essere calcolata con la teoria delle atmosfere stellari.

Se la distribuzione della densità numerica delle stelle in funzione della loro massa è nota, possiamo calcolare la luce totale da loro emessa

Sintesi di popolazioni stellari





Sintesi di popolazioni stellari

In pratica, creo distribuzioni spettrali di energia per le galassie, ipotizzando che siano costituite da un certo *mix* di stelle

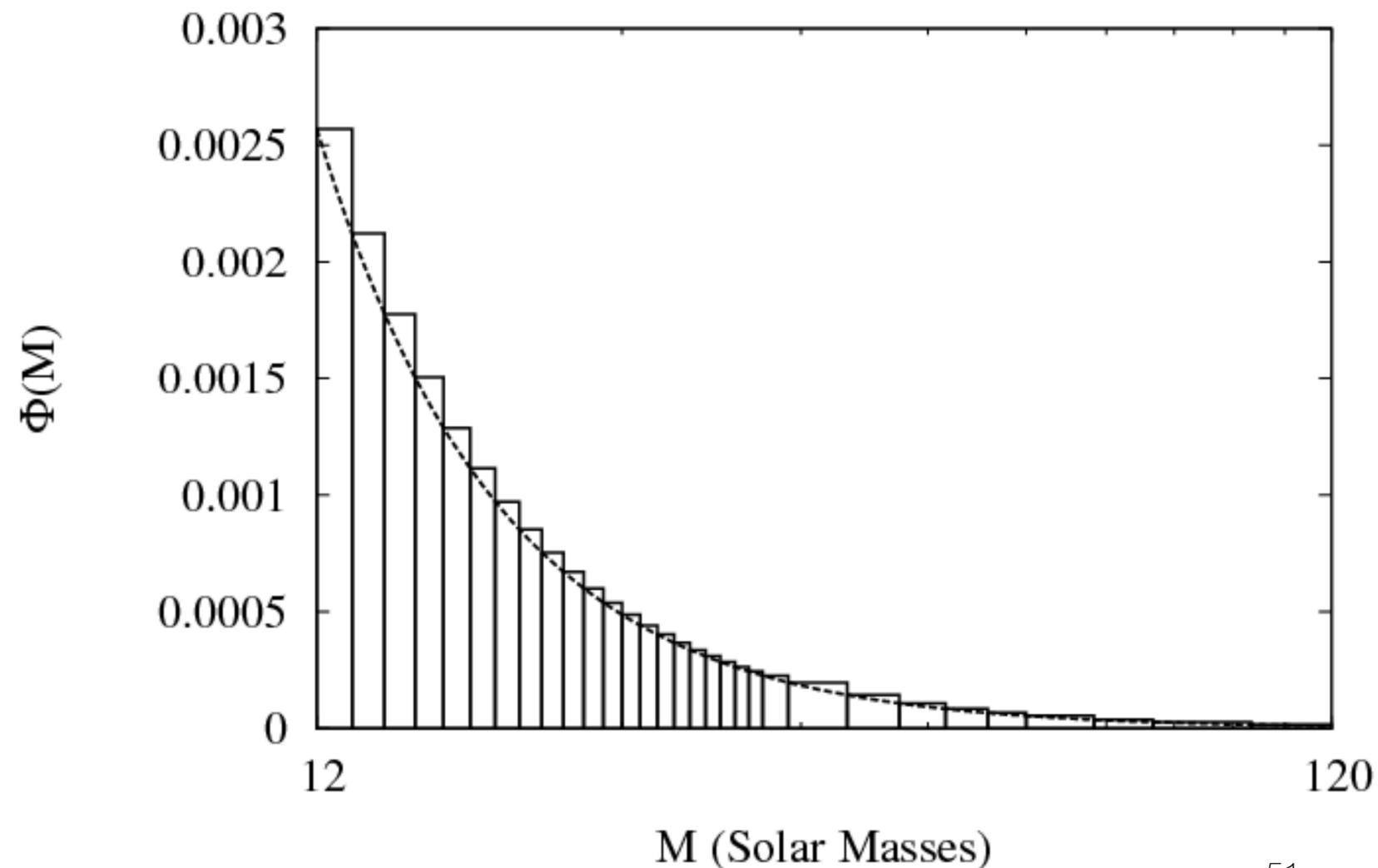
Sintesi di popolazioni stellari



Funzione iniziale di massa (IMF)

La IMF mi dice la distribuzione in massa delle stelle per una popolazione stellare alla sua nascita

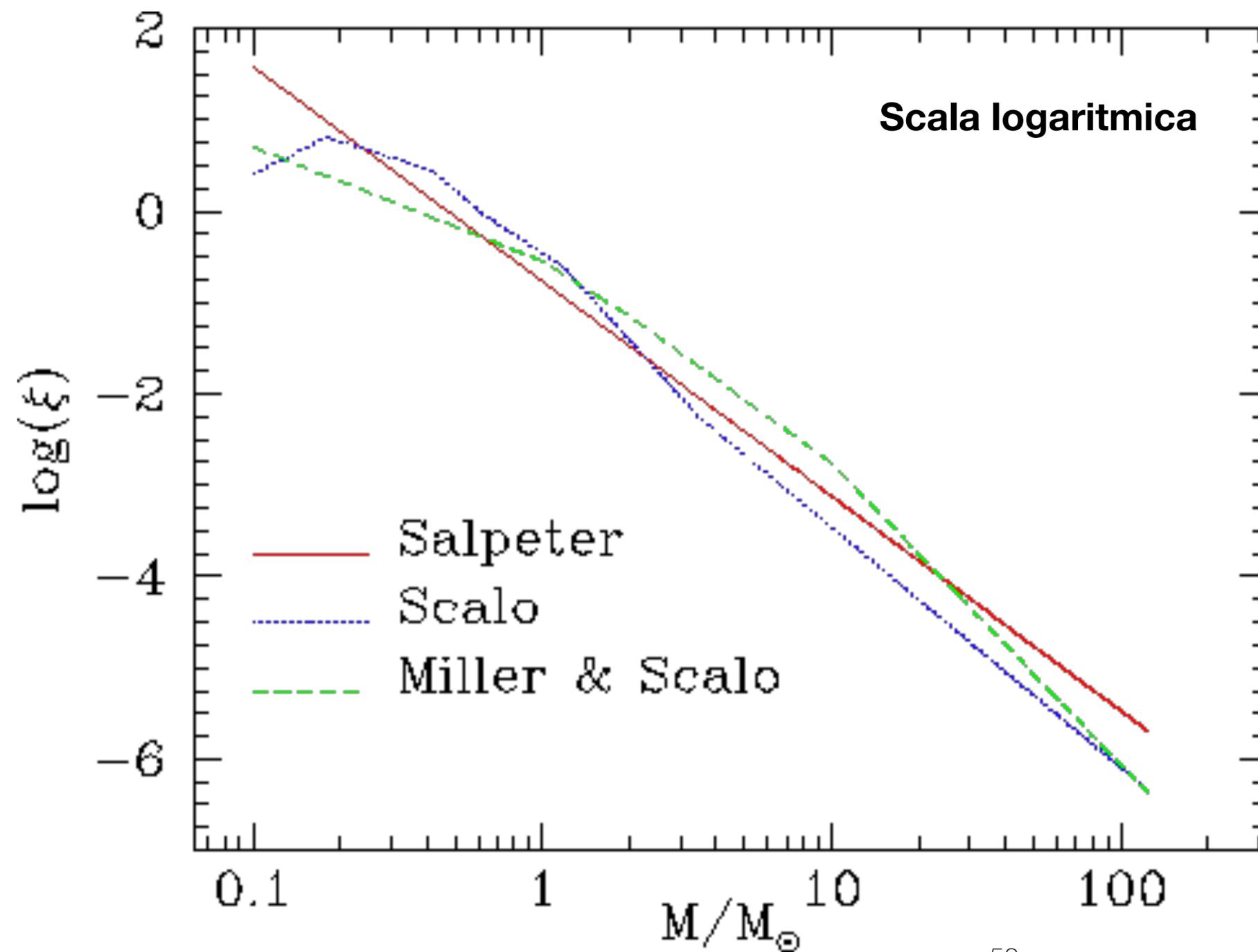
Salpeter Initial Mass Function



- Si stima “contando” le stelle di vario tipo spettrale in ambienti “giovani”, ricchi di stelle O,B
- Limitato ai dintorni solari e a qualche galassia molto vicina (nubi di Magellano, ...)
- Non è “universale”



Funzione iniziale di massa (IMF)



Salpeter IMF

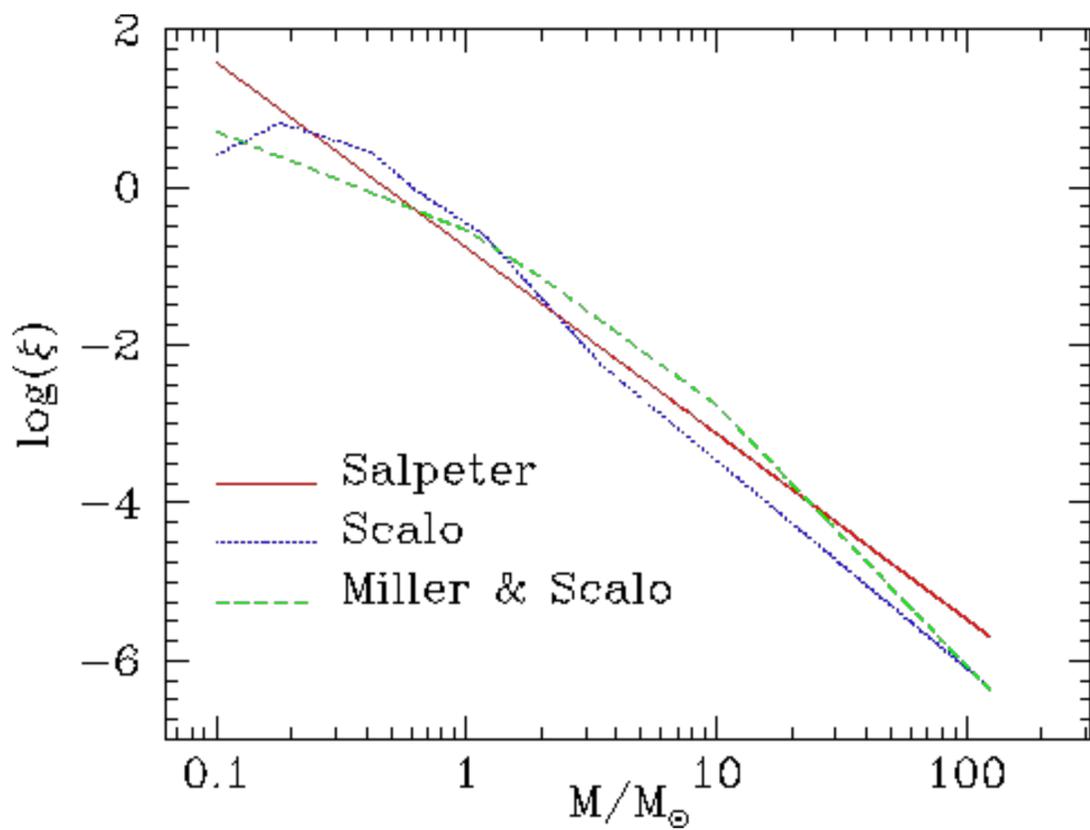
$$\phi(m) \propto m^{-2.35}$$

Chabrier, Kroupa:

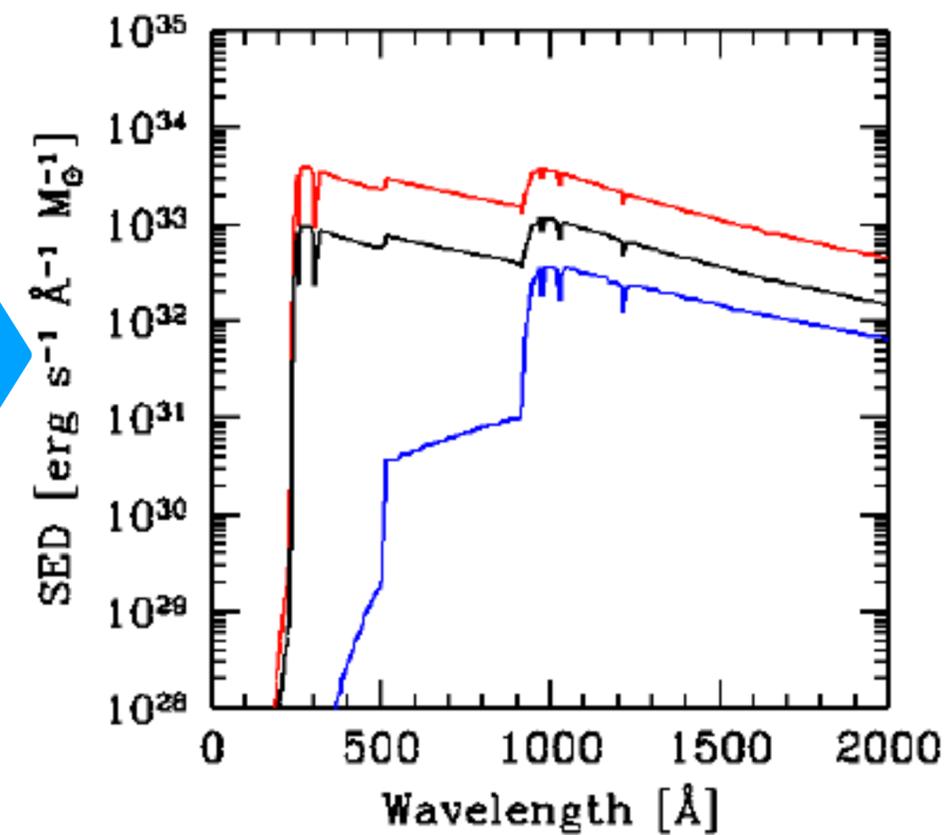
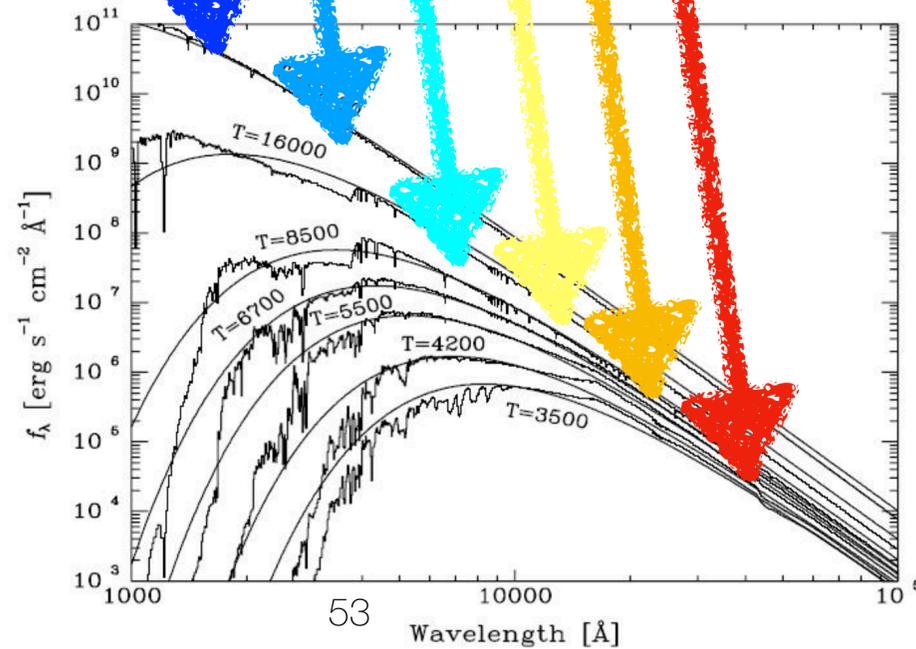
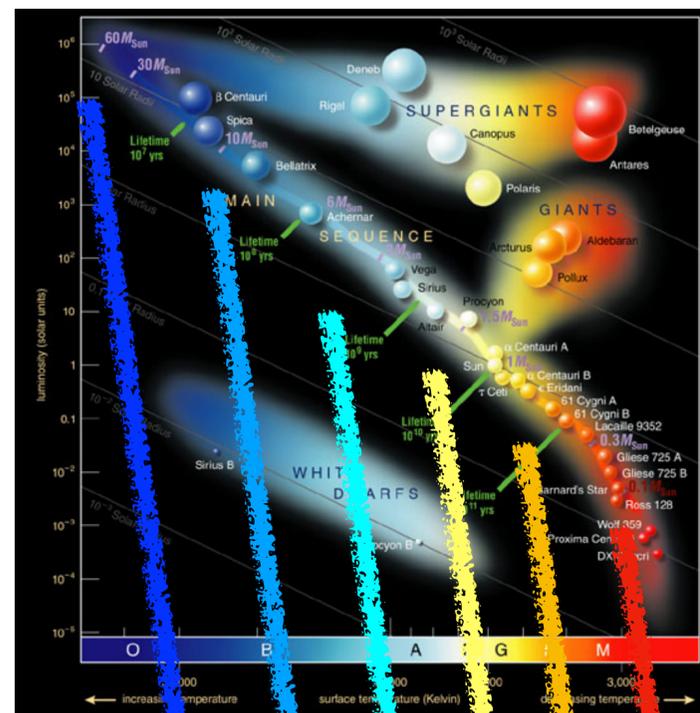
- Pendenza simile
- Diverso cut-off a piccole masse



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



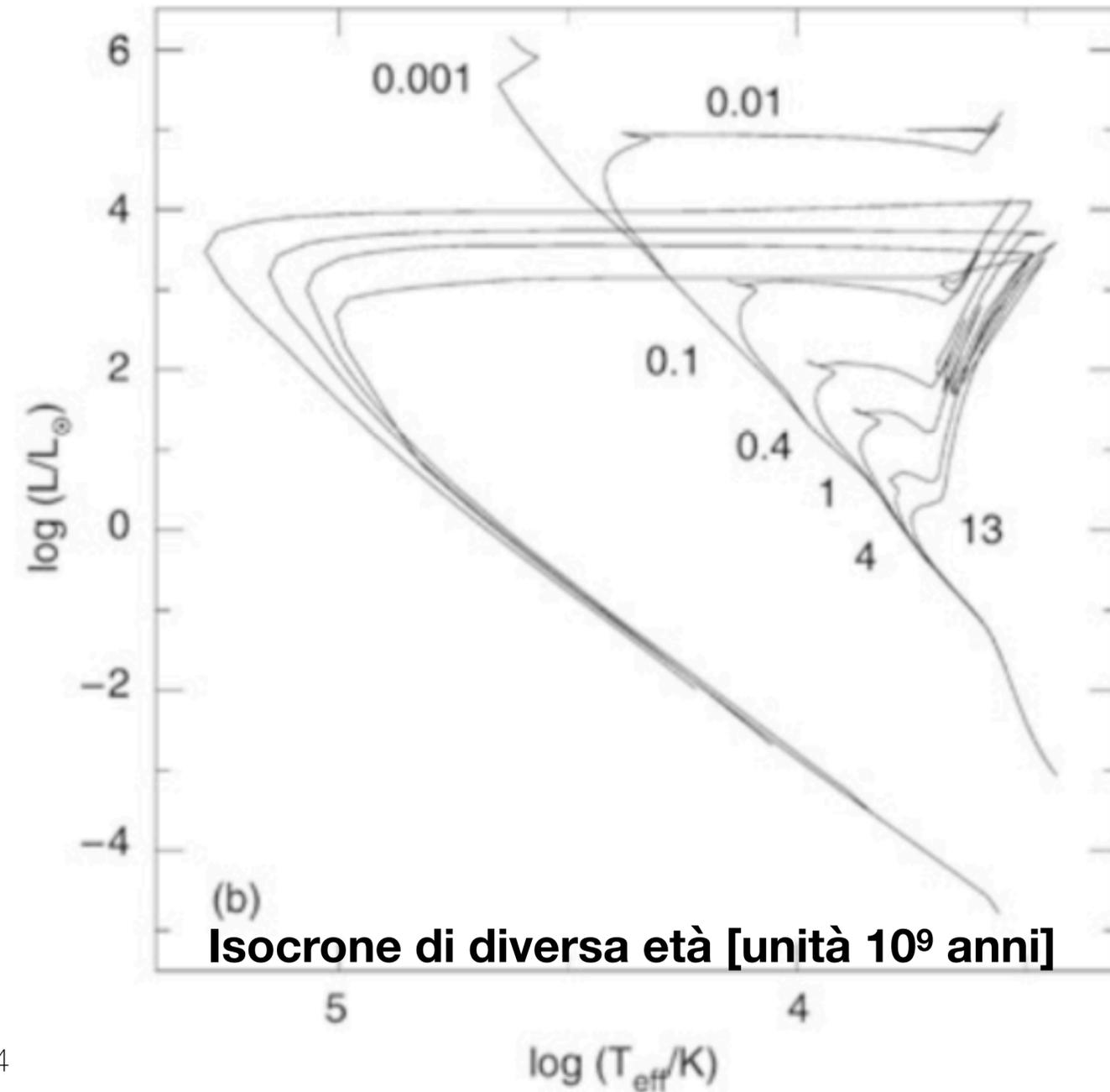
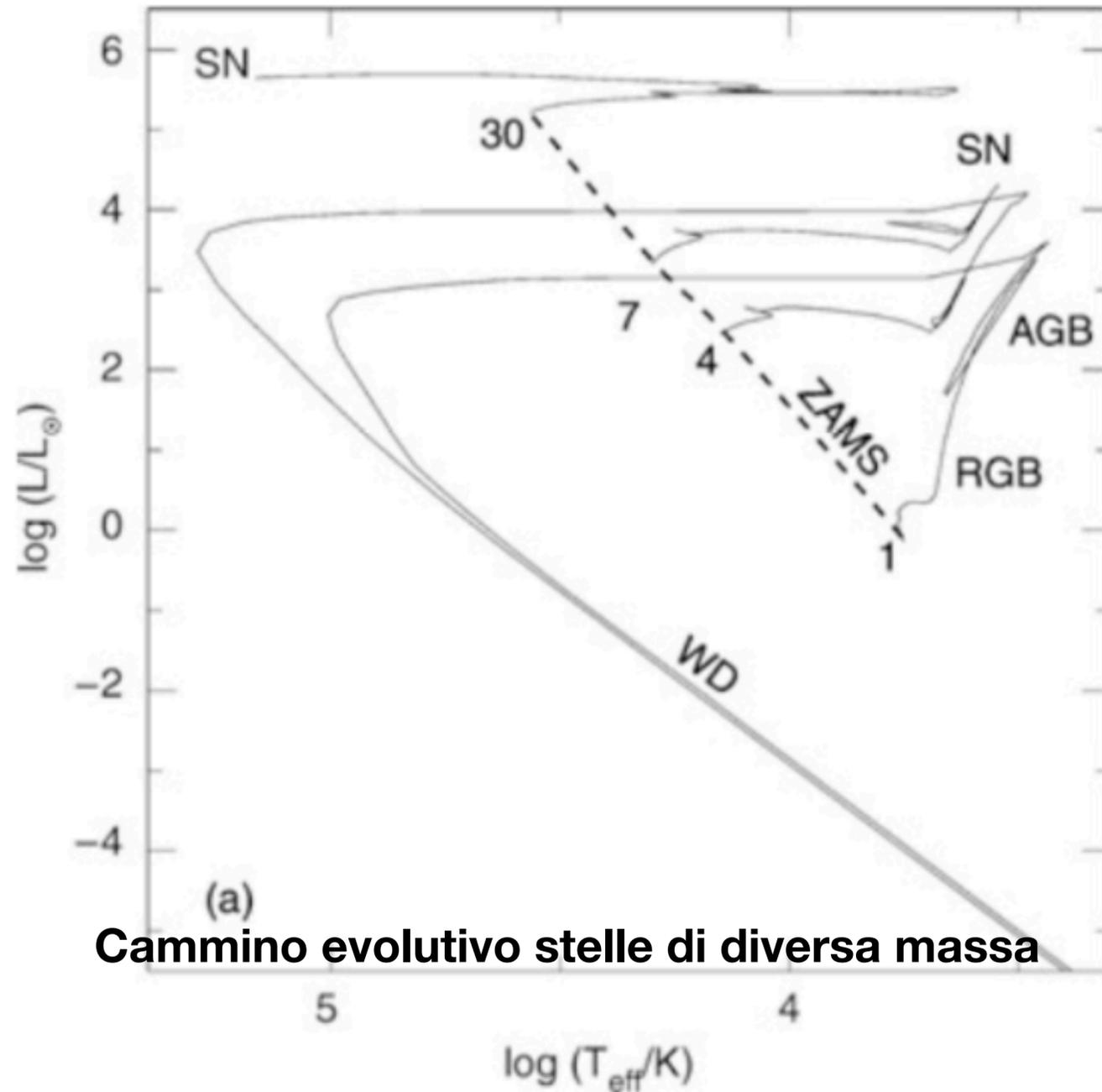
+



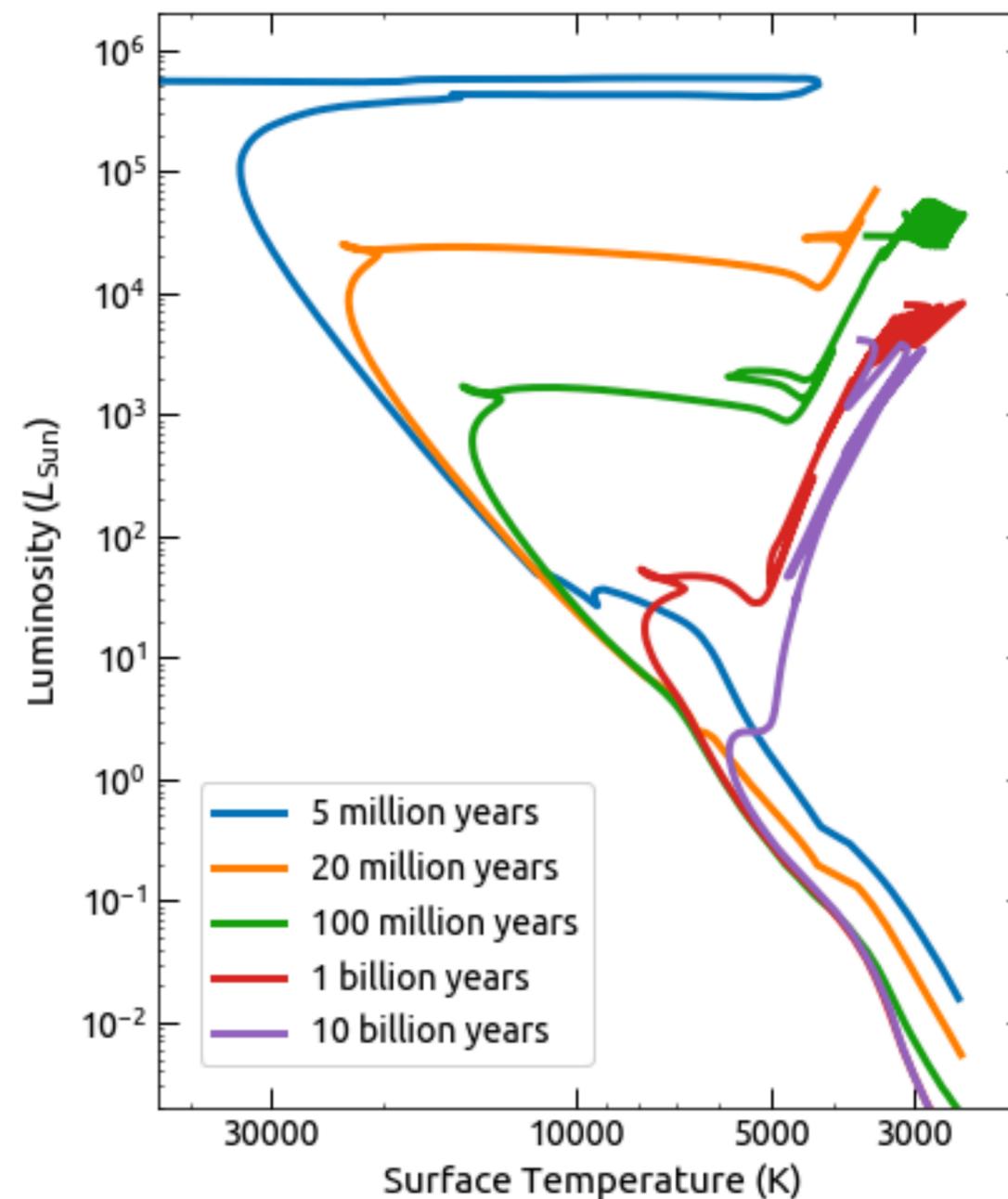
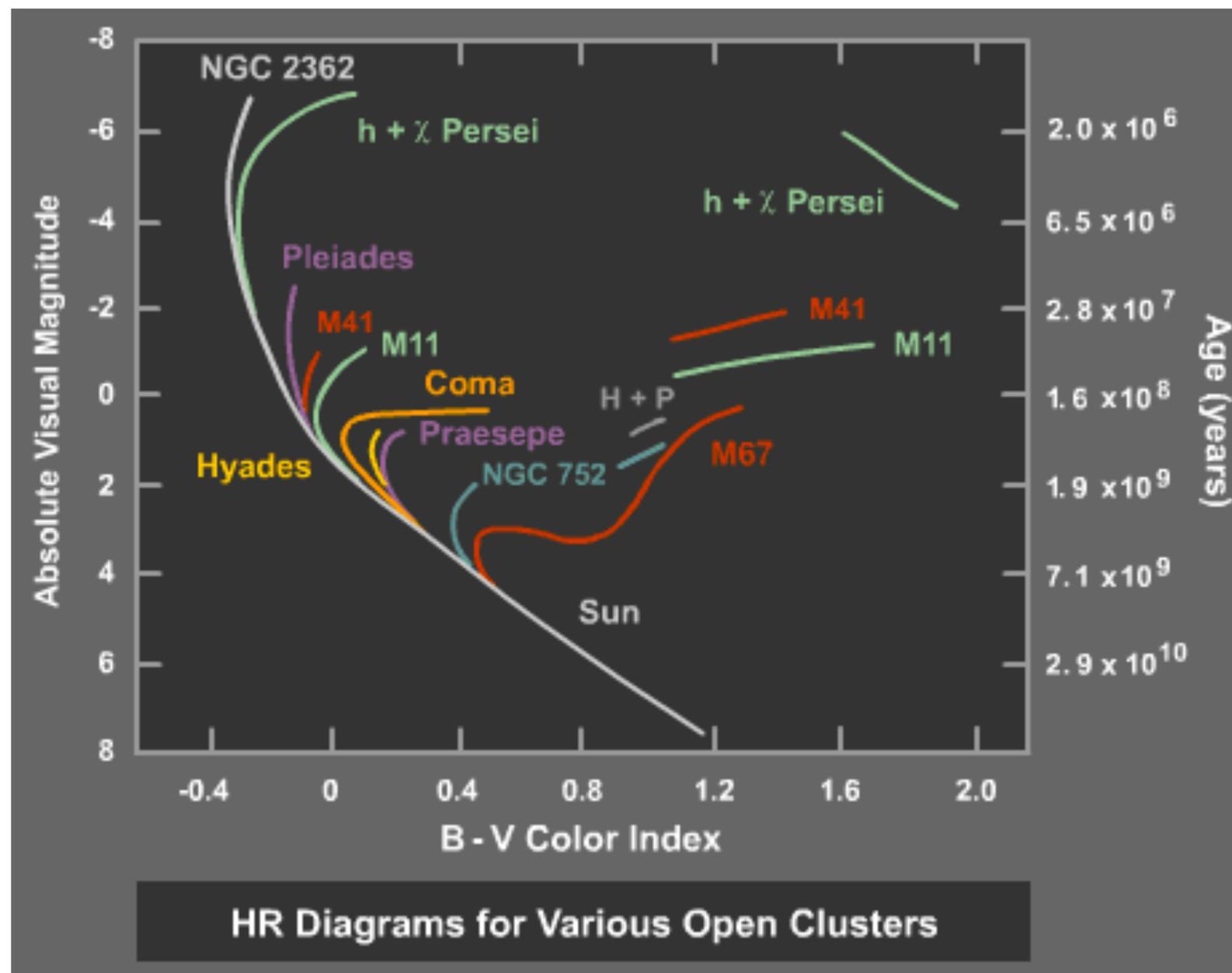
SED a età zero

Popolazione di una età fissata

Isocrona: curva che unisce le posizioni delle stelle nel HRD che hanno la stessa età



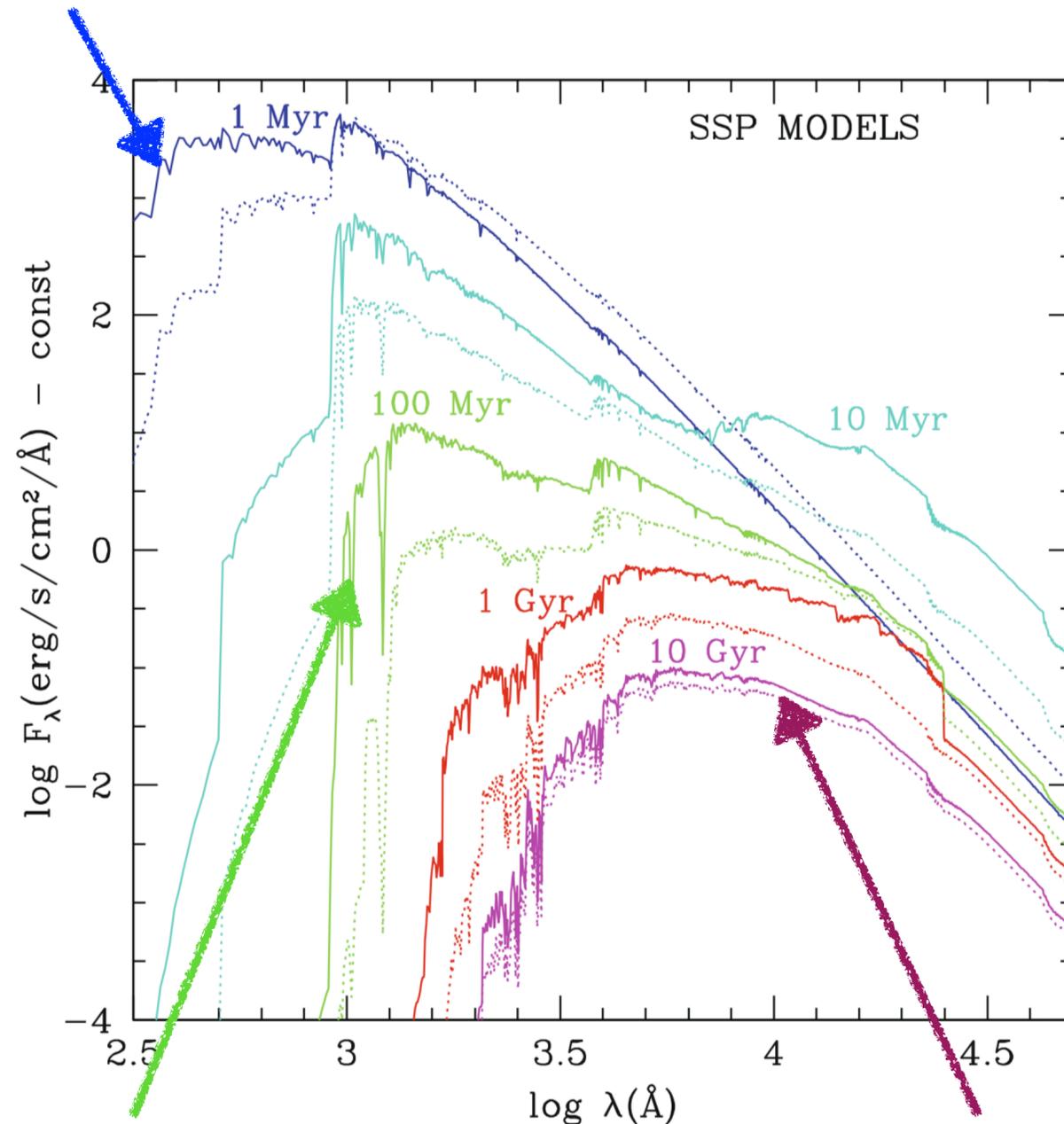
Popolazione di una età fissata





Distribuzioni spettrali di energia popolazione stellare singola

1 Myr: Molte stelle O,B ancora in MS



100 Myr: O,B fuori da MS, stelle A, F,
G, K & M ancora in MS

10 Gyr: solo stelle
K, M in MS

- Sommando la luce di tutte le stelle si ottiene la distribuzione spettrale di energia (SED) di una popolazione stellare singola (SSP, cioè in cui le stelle si sono formate tutte allo stesso momento)
- Si può far evolvere nel tempo: le stelle più massicce e blu via via escono dalla sequenza principale e diventano rosse, poi spariscono: la luminosità totale diminuisce
- Le SED di una SSP diventano sempre più rosse mano a mano che l'età aumenta

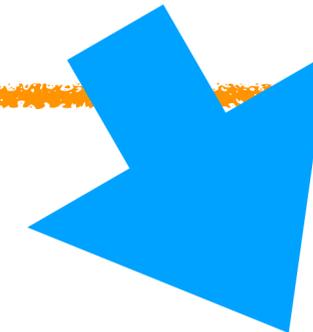
Galassie reali



Bulge: stelle vecchie

Disco: stelle giovani

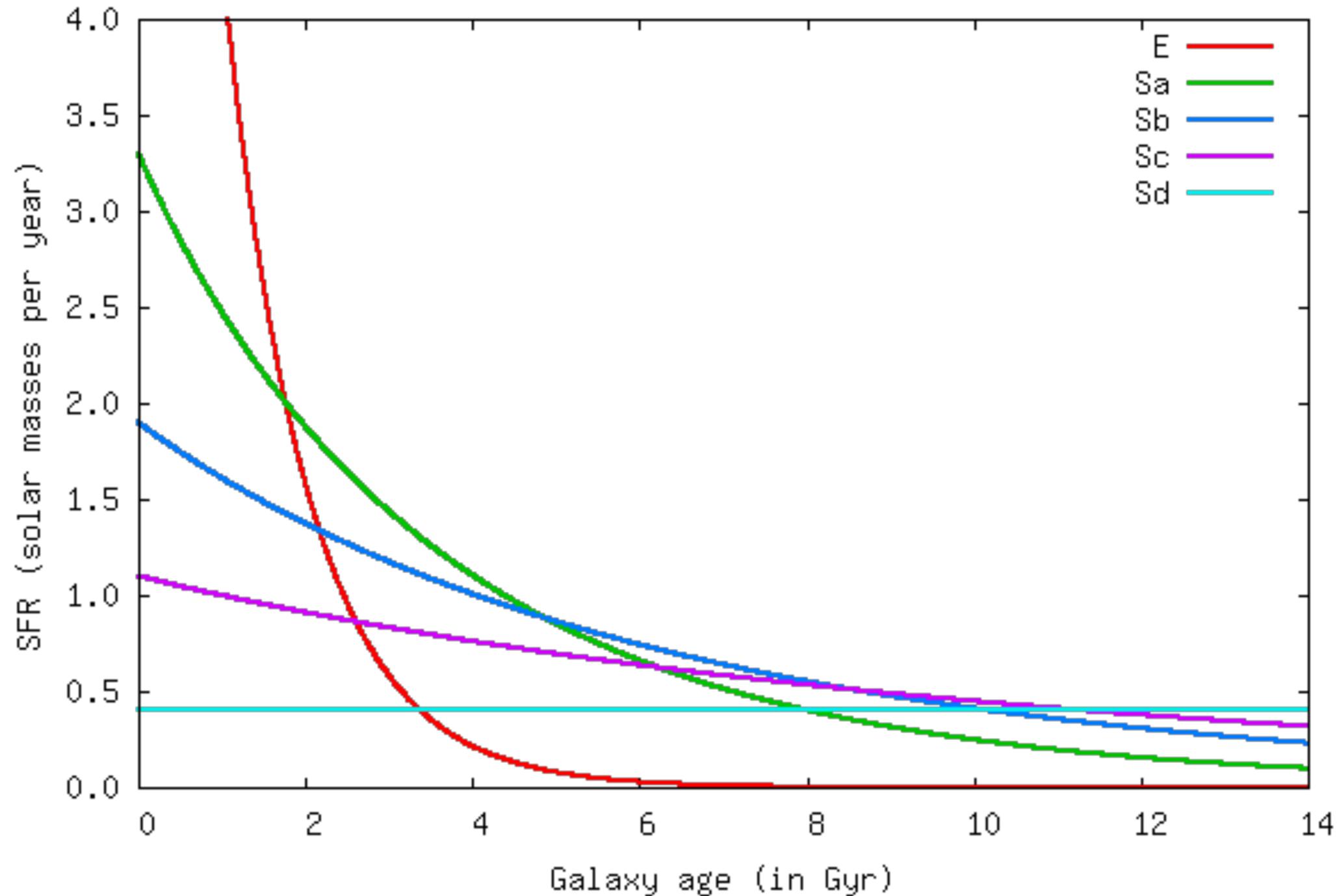
Le galassie reali sono
insiemi di stelle di età
diverse



Ho quindi bisogno di
sommare insieme
*popolazioni stellari di
diverse età*



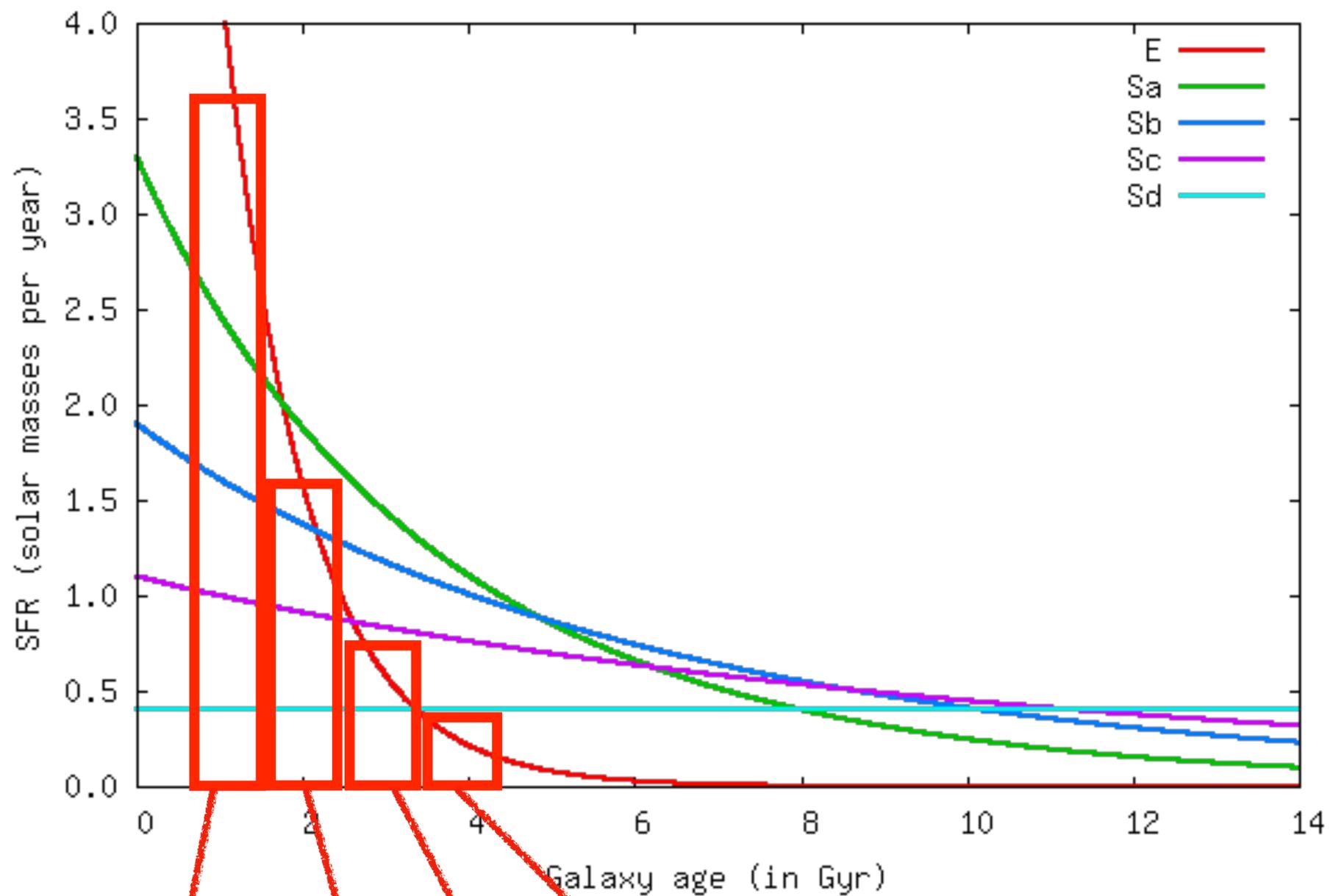
Composed stellar populations



- Si ipotizza una storia di formazione stellare per ciascun tipo di galassia
- Le ellittiche hanno quasi tutte stelle molto vecchie
- Le spirali hanno stelle vecchie e giovani
- Le spirali Sd formano stelle in maniera costante



Composite stellar populations



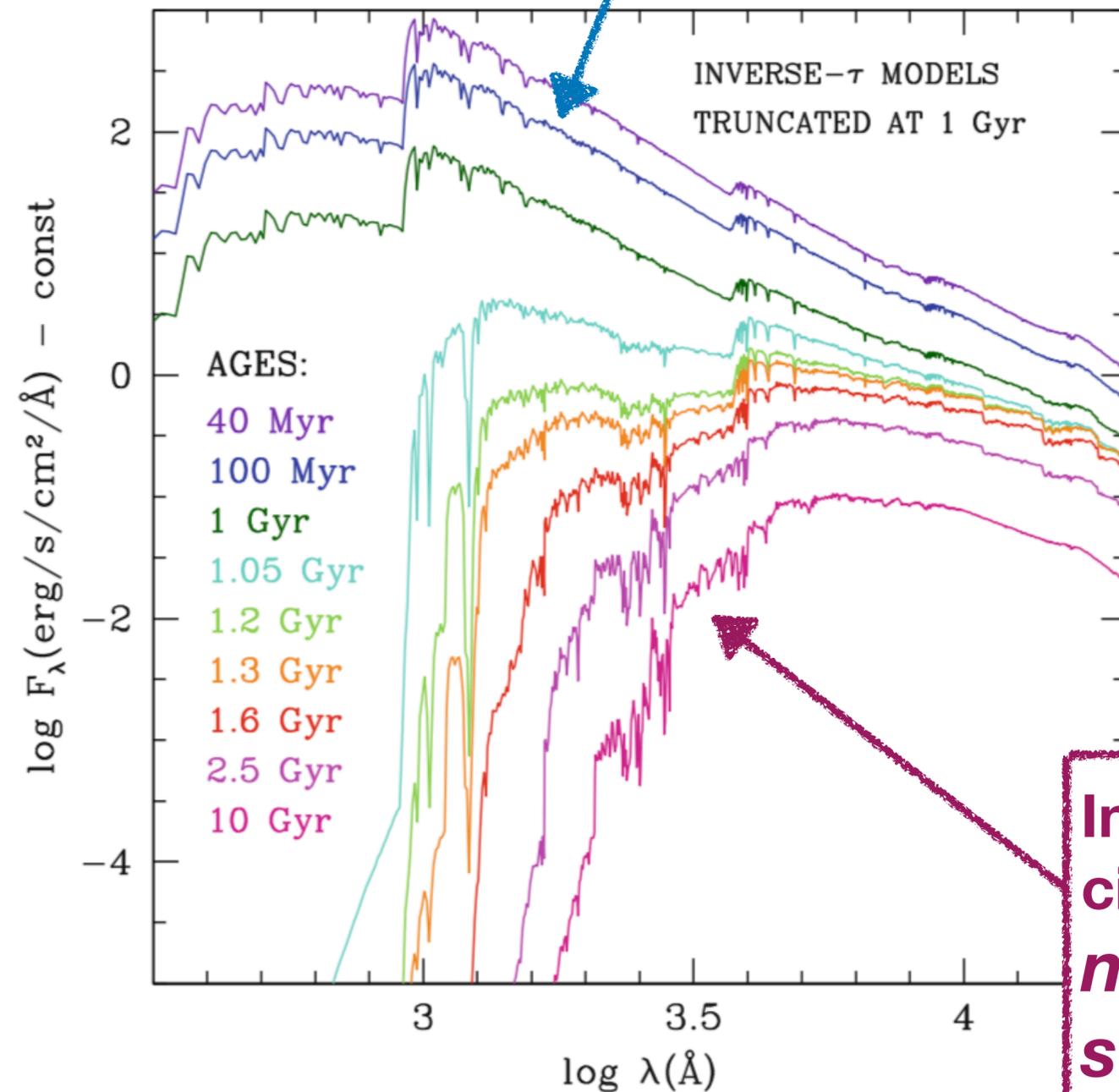
- Si sommano insieme SED di SSP di diversa età
- Ciascuna età ha un peso che dipende dalla forma della Star-Formation History (SFH) di quella popolazione composta

Età	1 Gyr	2 Gyr	3 Gyr	4 Gyr
Peso	3.5	1.5	0.7	0.4



In questi modelli ci
sono stelle giovani
***C'è formazione
stellare recente***

Composed stellar populations



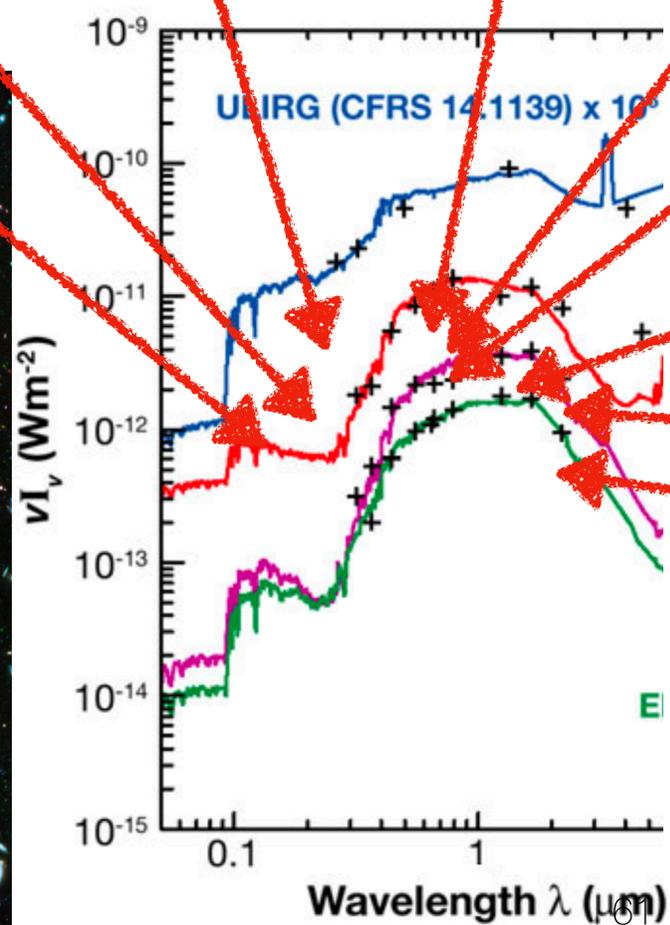
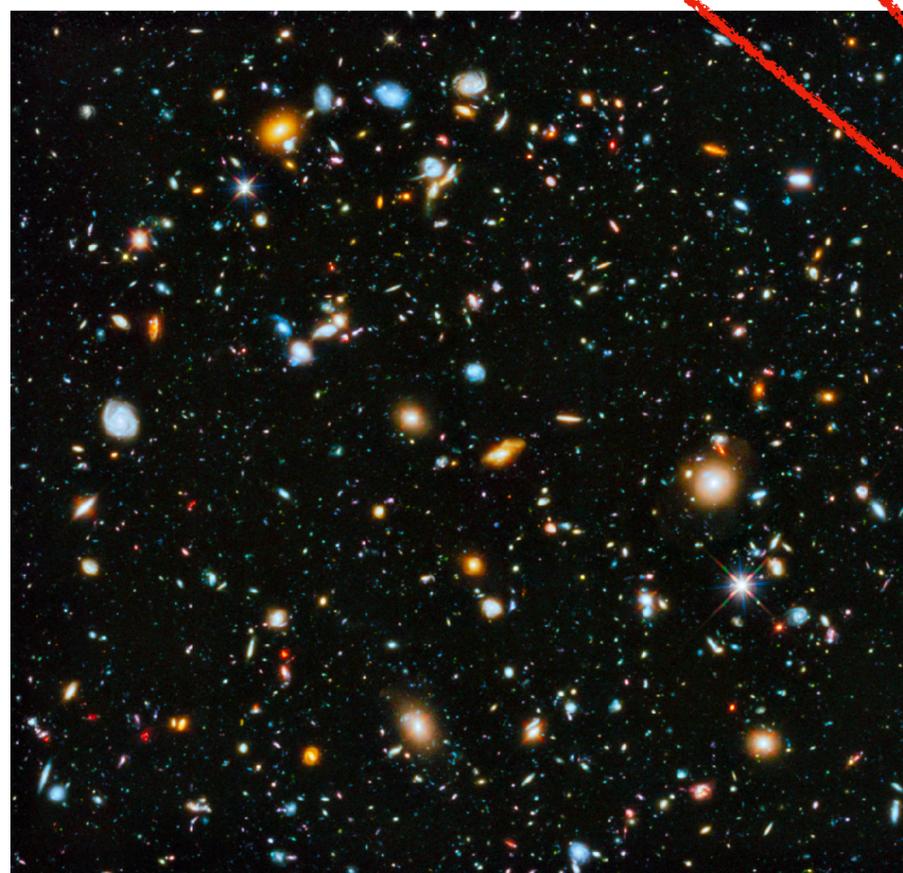
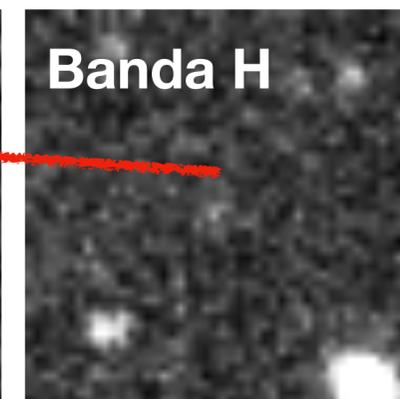
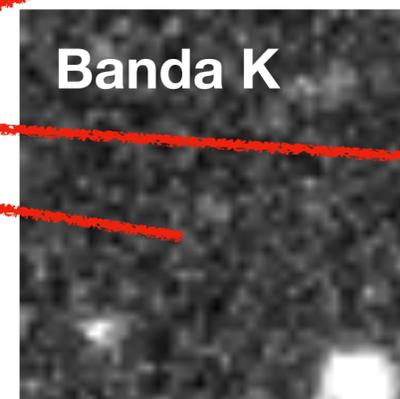
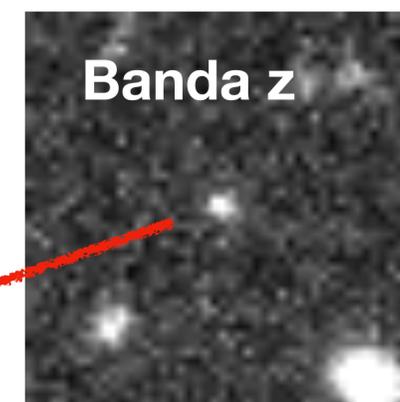
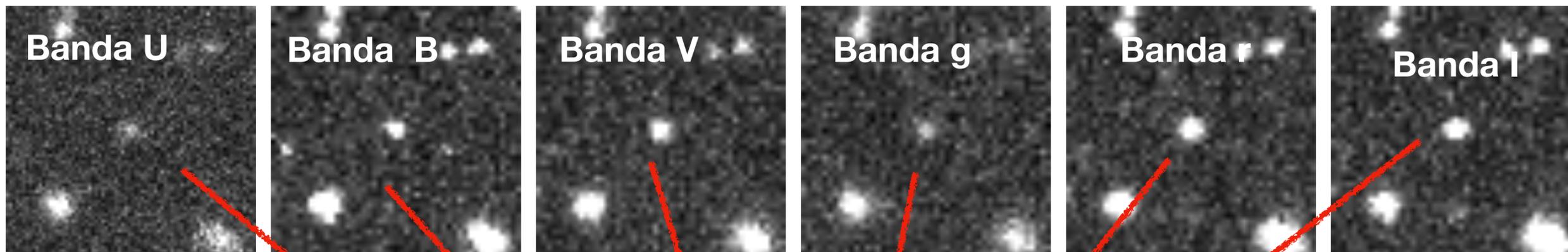
In questo modo si possono
costruire combinazioni
praticamente infinite di
SED di galassie, con più o
meno popolazioni vecchie
rispetto a quelle giovani

In questi modelli non
ci sono stelle giovani
***no formazione
stellare recente***



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

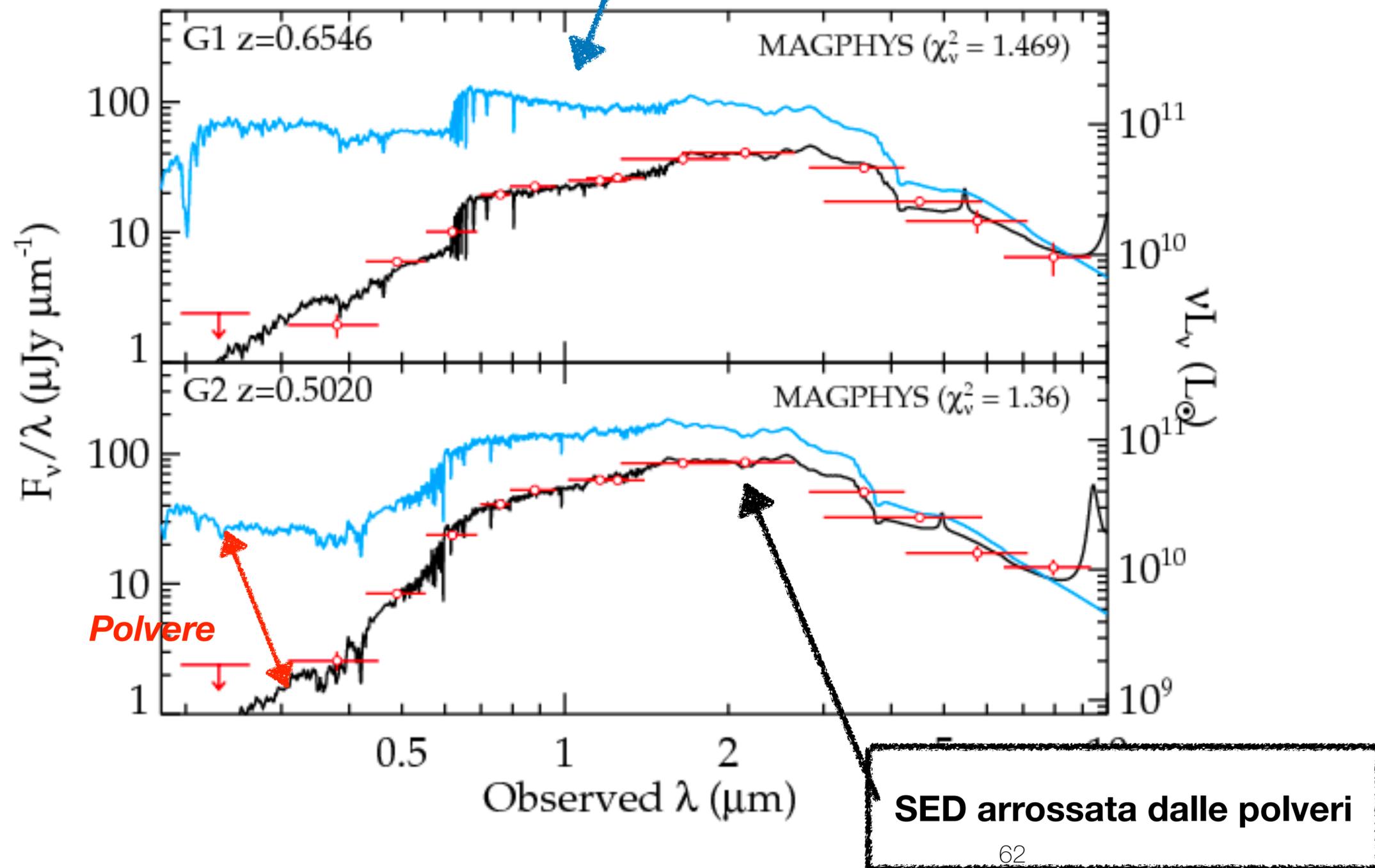
Fotometria multi-banda





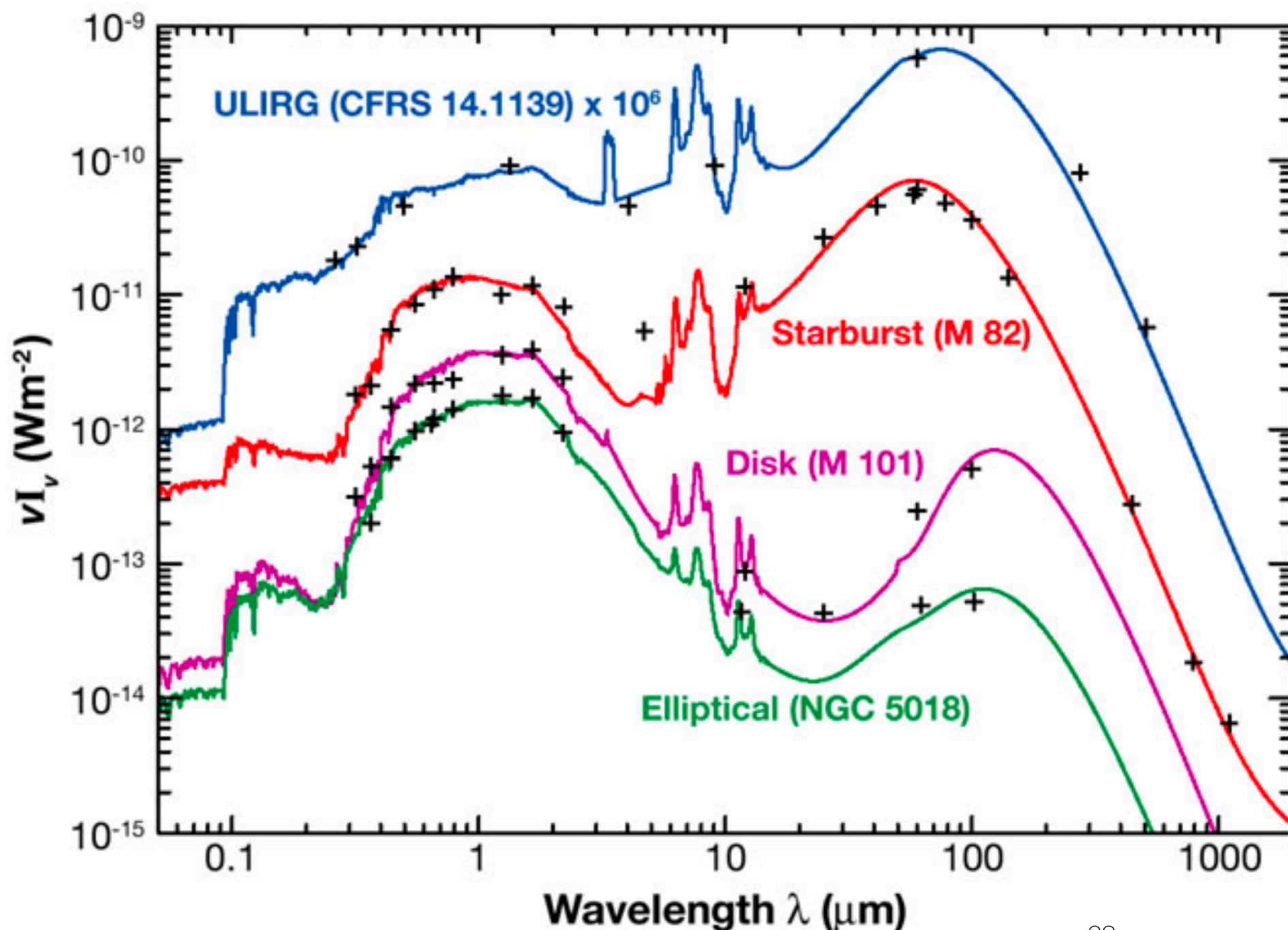
Composed stellar populations

SED intrinseca



Comparando SED di galassie reali con SED di SSP, si può risalire al numero totale di stelle, alla **massa totale in stelle (M^*)** e al numero di stelle giovani (**SFR, cioè quante stelle si stanno formando in questo momento per unità di tempo**)

Distribuzioni spettrali di energia a confronto



ULIRG: le galassie più luminose dell'Universo: ricche di stelle giovani, ricchissime di polveri

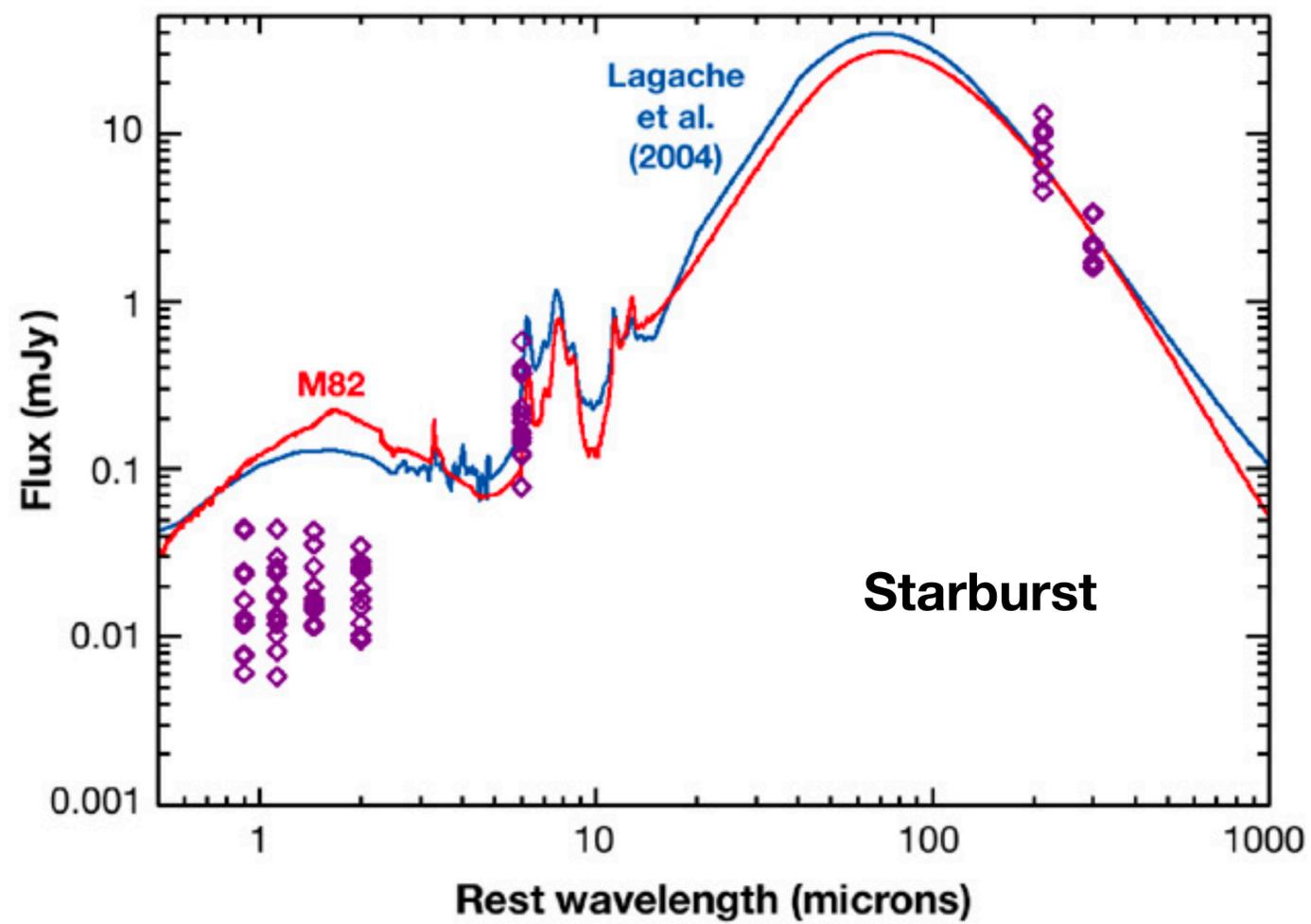
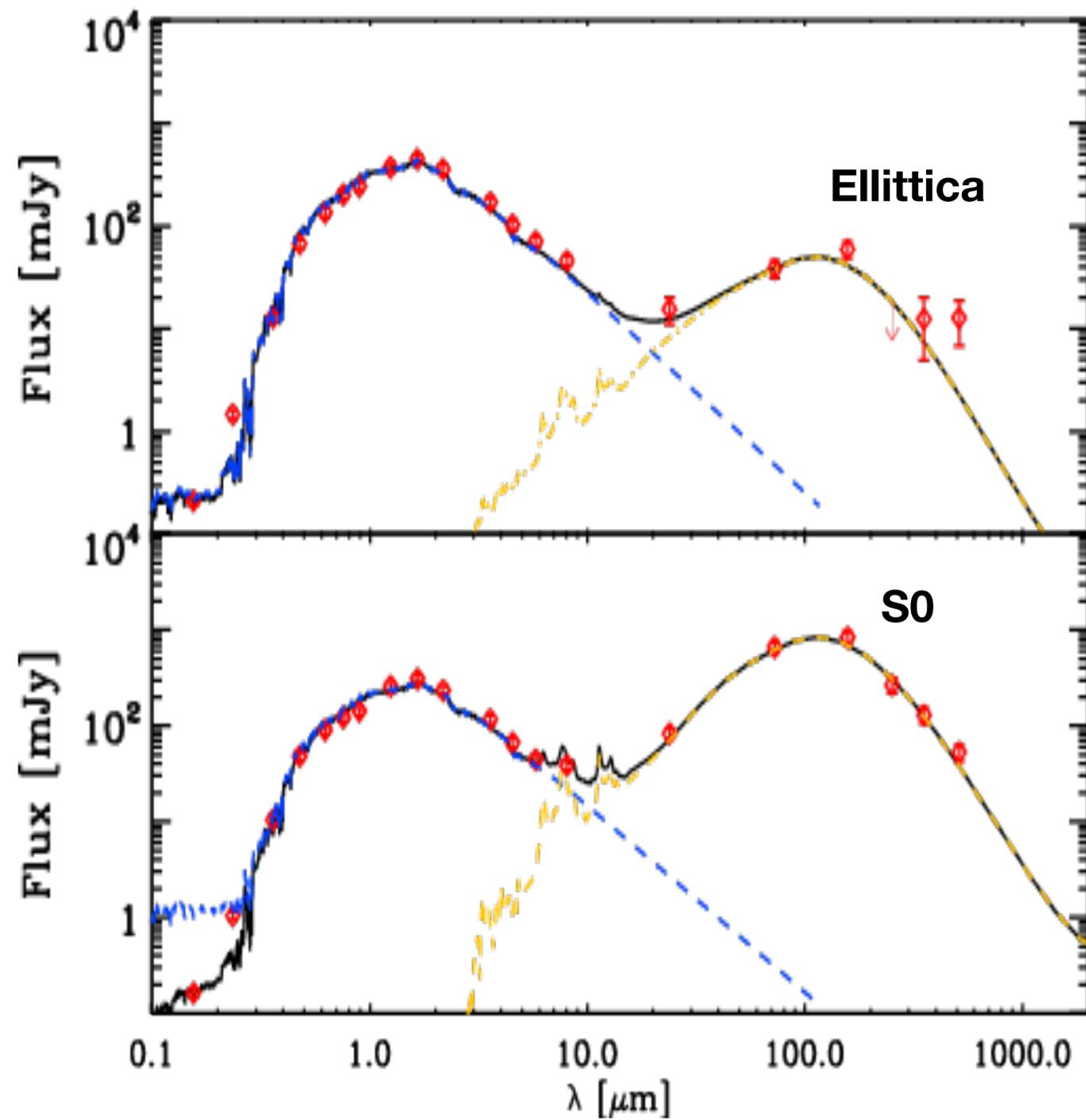
Starburst: galassie tipicamente irregolari in cui molte stelle si stanno formando in questo momento

Disk: galassie a spirali tipiche, moderata SFR

Galassia ellittica: nessuna formazione di nuove stelle, poca polvere

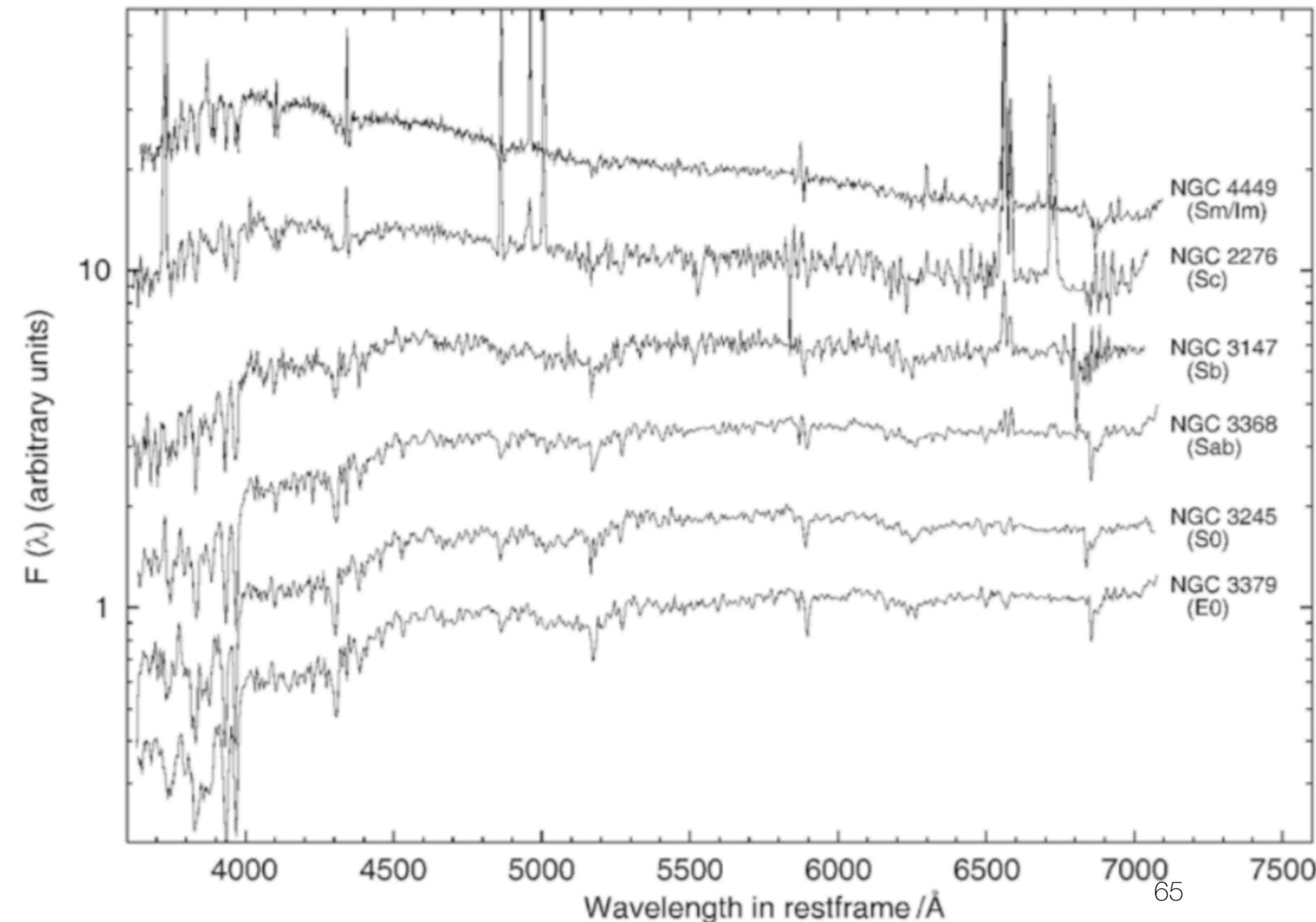


Altri esempi



Spettri di galassie

Gli spettri di galassie danno indicazioni più precise sulla SFR, o sulla metallicità (il contenuto di metalli di ciascuna galassia)



Galassie a spirale:

- spettri blu (pendenze < 0)
- Molte righe di emissione (formate da stelle giovani)

Galassie giovani a alta formazione di nuove stelle

Galassie a ellittiche:

- spettri rossi (pendenze > 0)
- Nessuna riga di emissione

Galassie vecchie senza formazione stellare