

Buchi neri e Venti galattici

Marcella Brusa

(Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università' di Bologna)

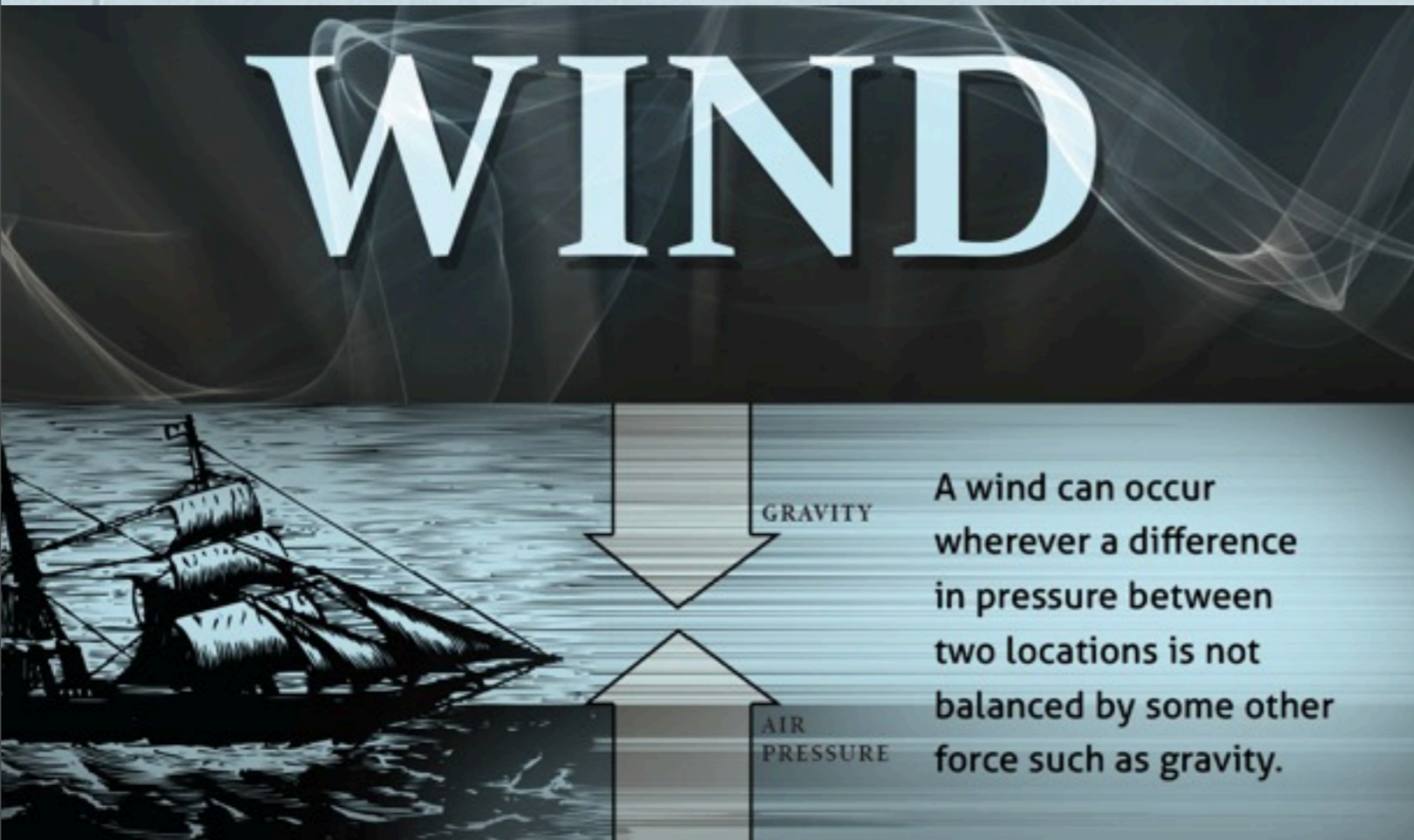
grazie a:

Hubble, ESO, Chandra, Spitzer... **NASA+ESA**

Wikipedia+Google

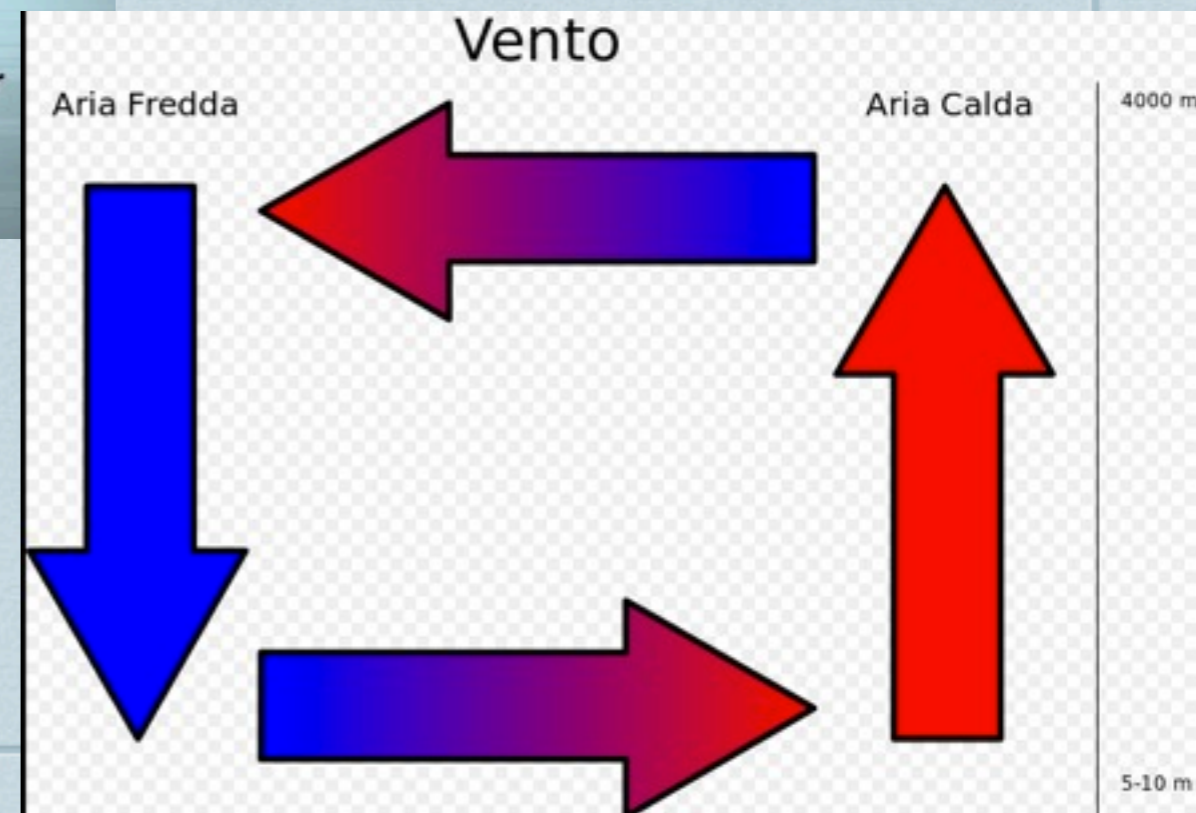
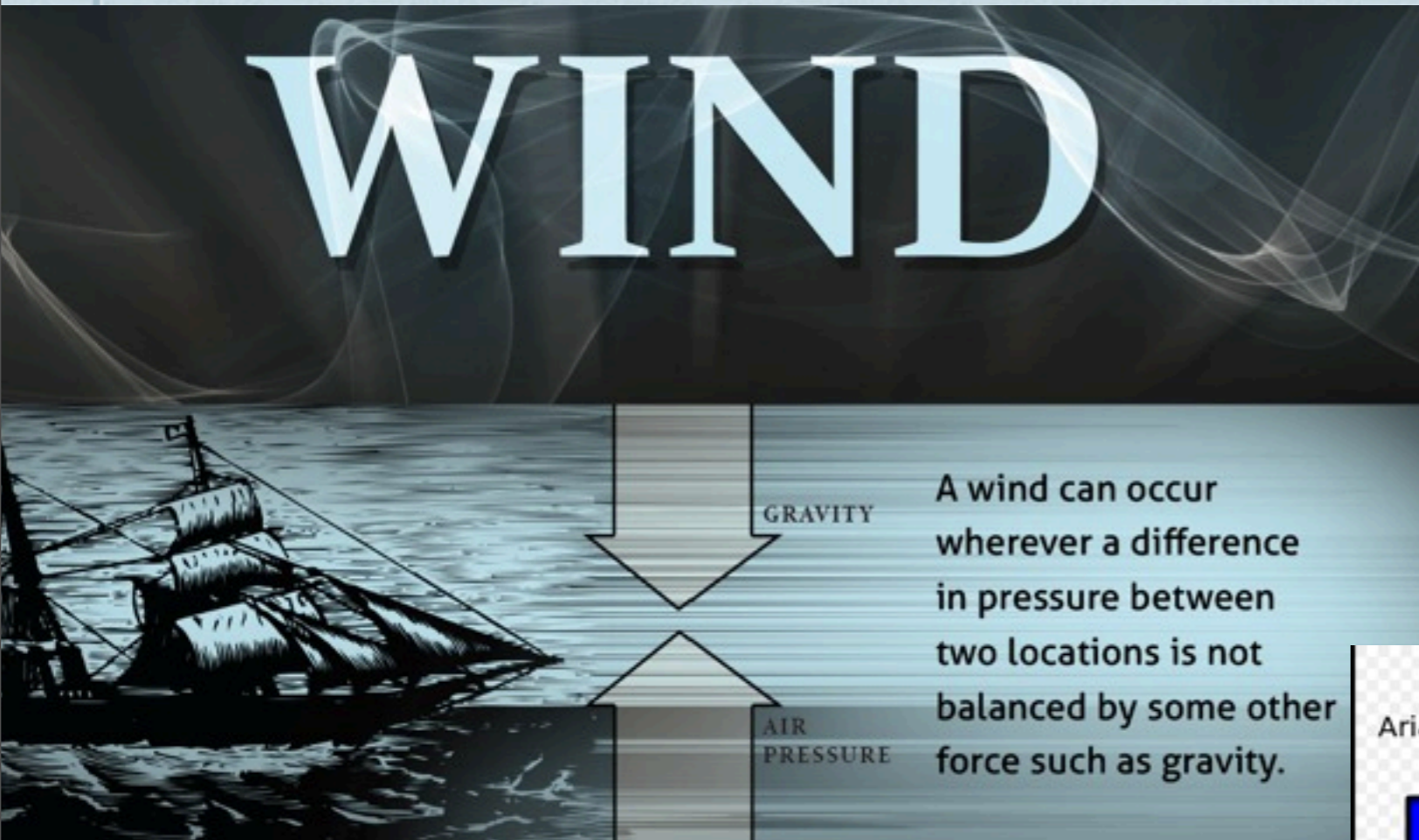
Cosa e' il vento?

http://chandra.harvard.edu/graphics/resources/illustrations/wind_infograph.pdf

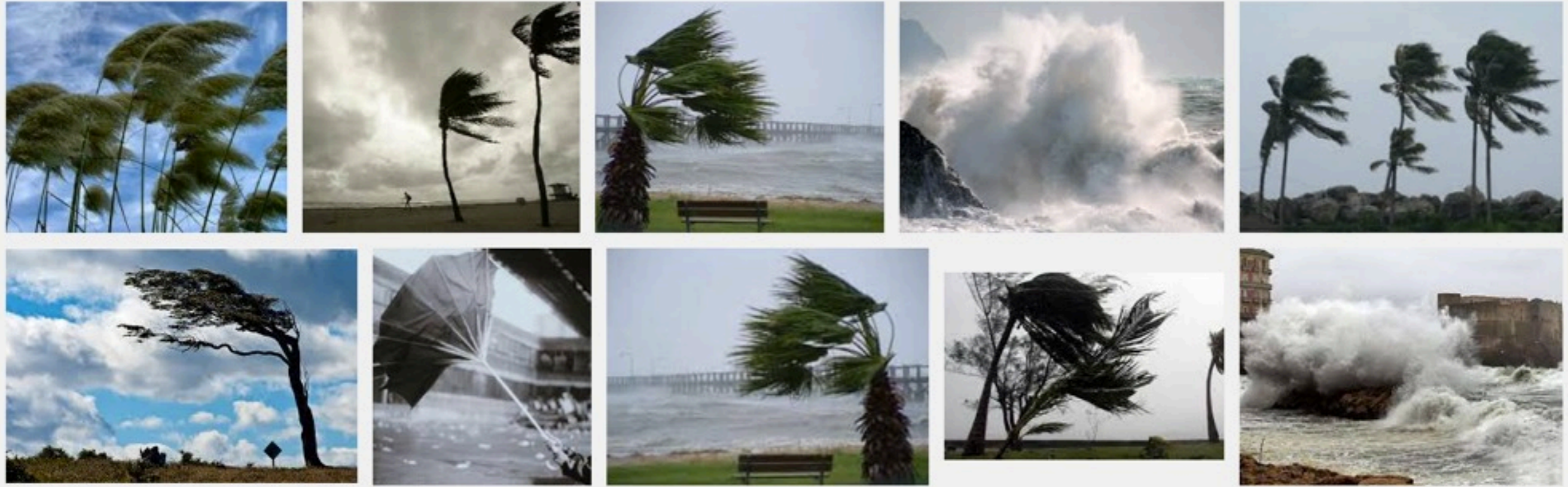


Cosa e' il vento?

http://chandra.harvard.edu/graphics/resources/illustrations/wind_infograph.pdf

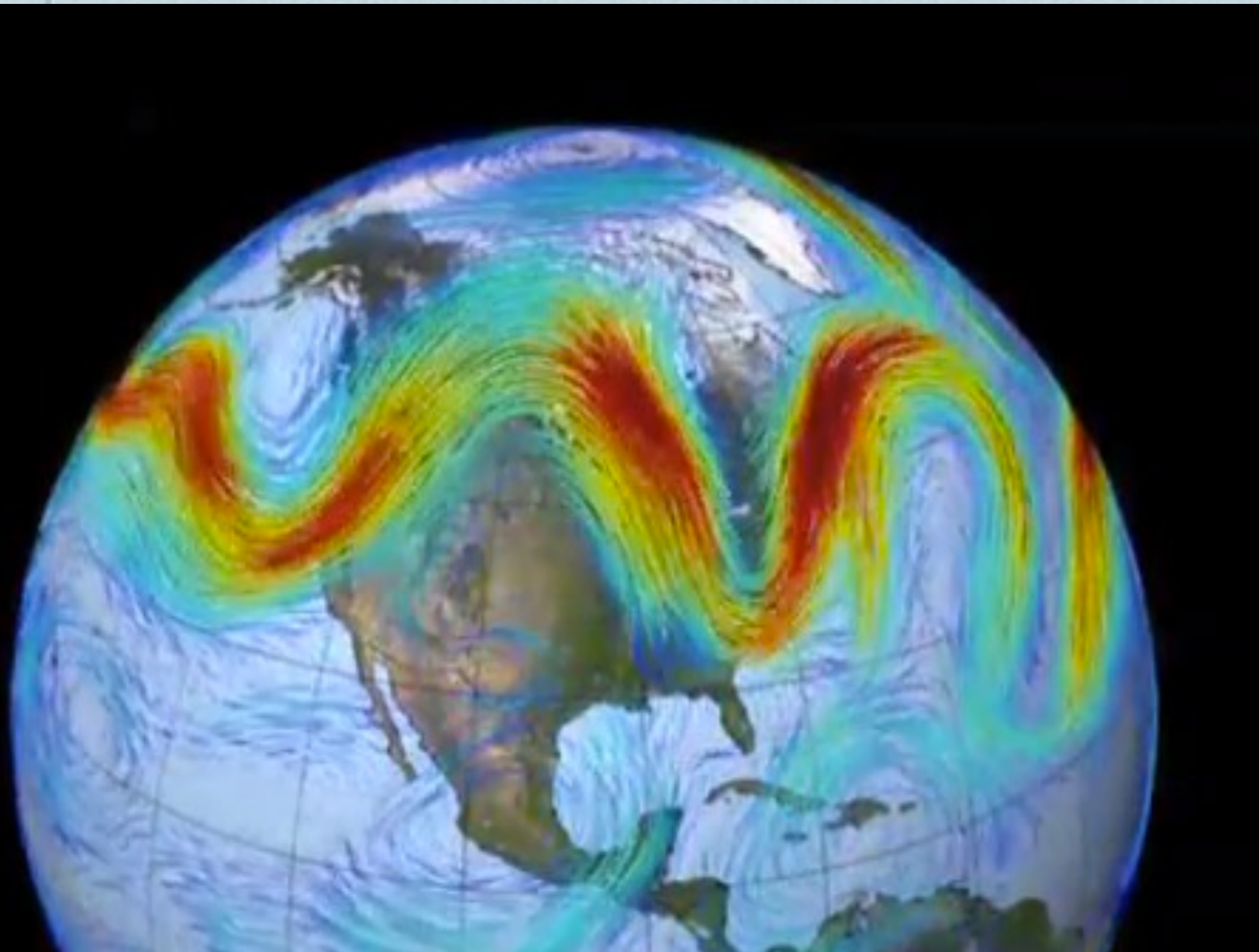


velocita' dei venti



- ❖ dalla “brezza” al “tifone”
- ❖ La “bora” ha una velocita' di circa **120 km/h**
- ❖ Nelle [Filippine](#), durante il passaggio del [Tifone Haiyan](#) nel novembre [2013](#), sono stati registrati venti sostenuti per un minuto di **circa 445 km/h.**

correnti a getto (jet-streams)



correnti (venti) causati dalla **differenza di temperatura sulla superficie terrestre**

altezza di circa **10.000 metri**

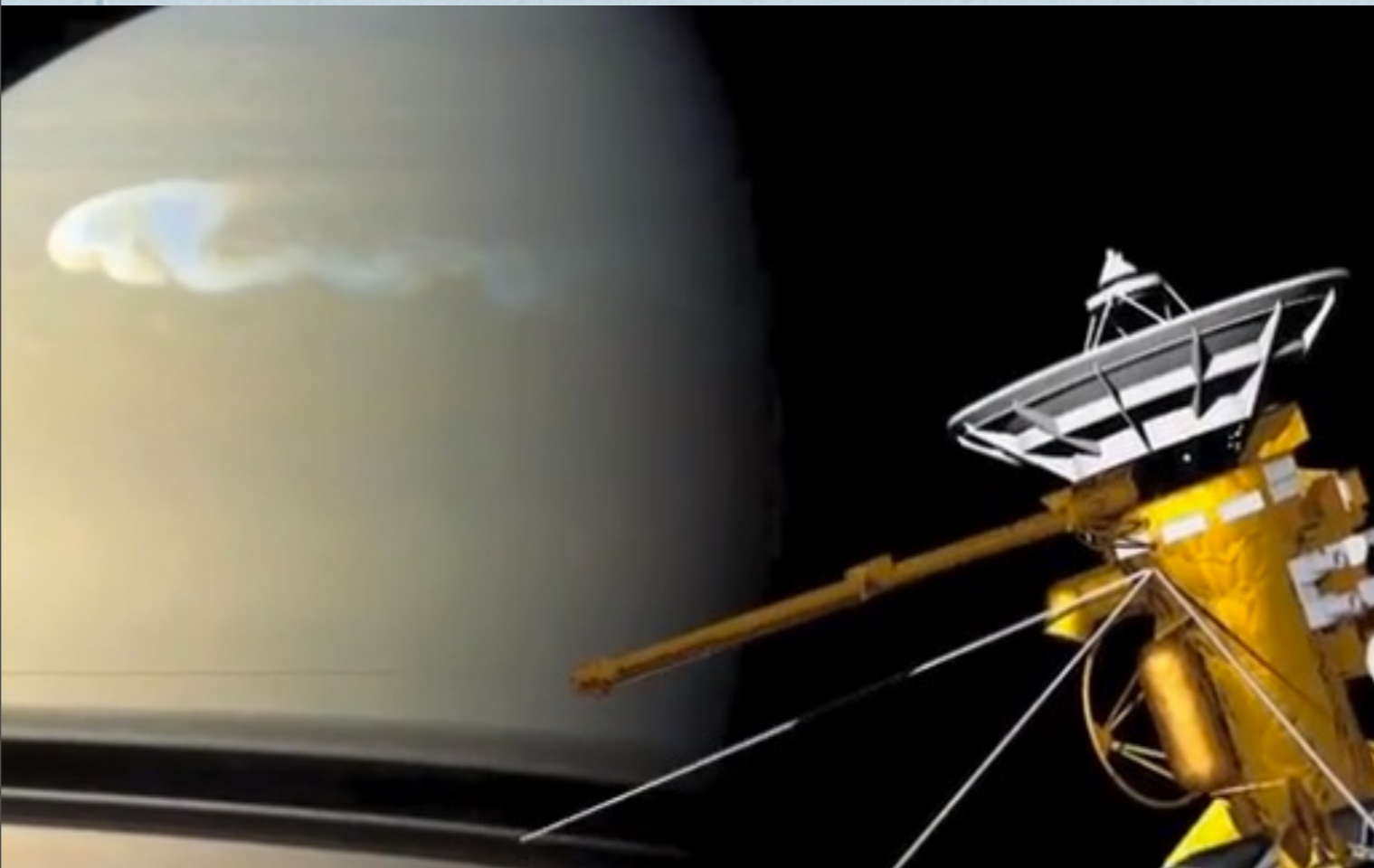
velocita' fino a **160/200 km/hr**

soffiano da ovest verso est

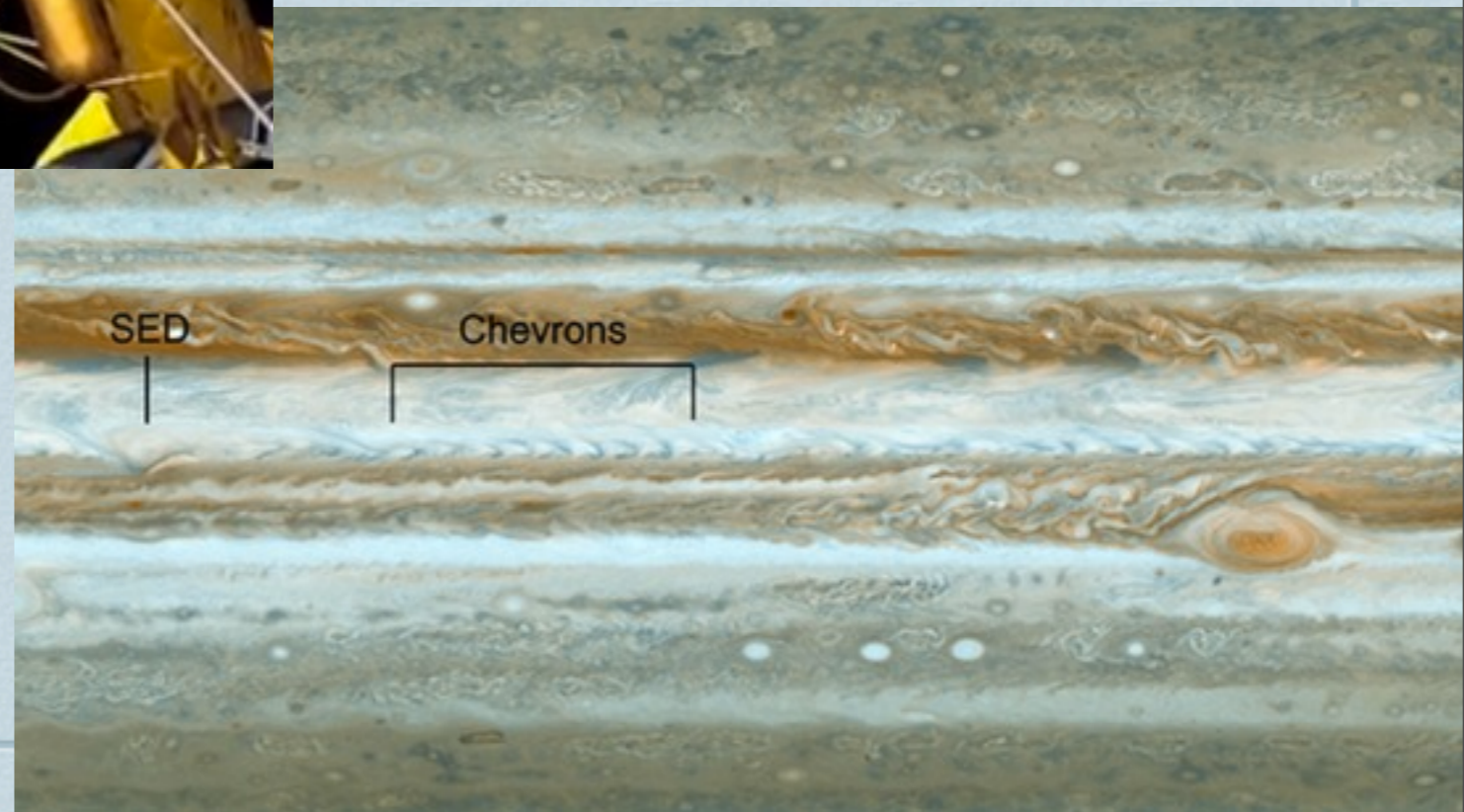
“Venti” in contesto astrofisico

- ❖ venti planetari (e.g. jet stream su Giove)
- ❖ vento solare
- ❖ venti stellari (e.g. esplosioni di supernovae)
- ❖ **venti galattici**

venti planetari



La sonda Cassini rivela venti su Giove!



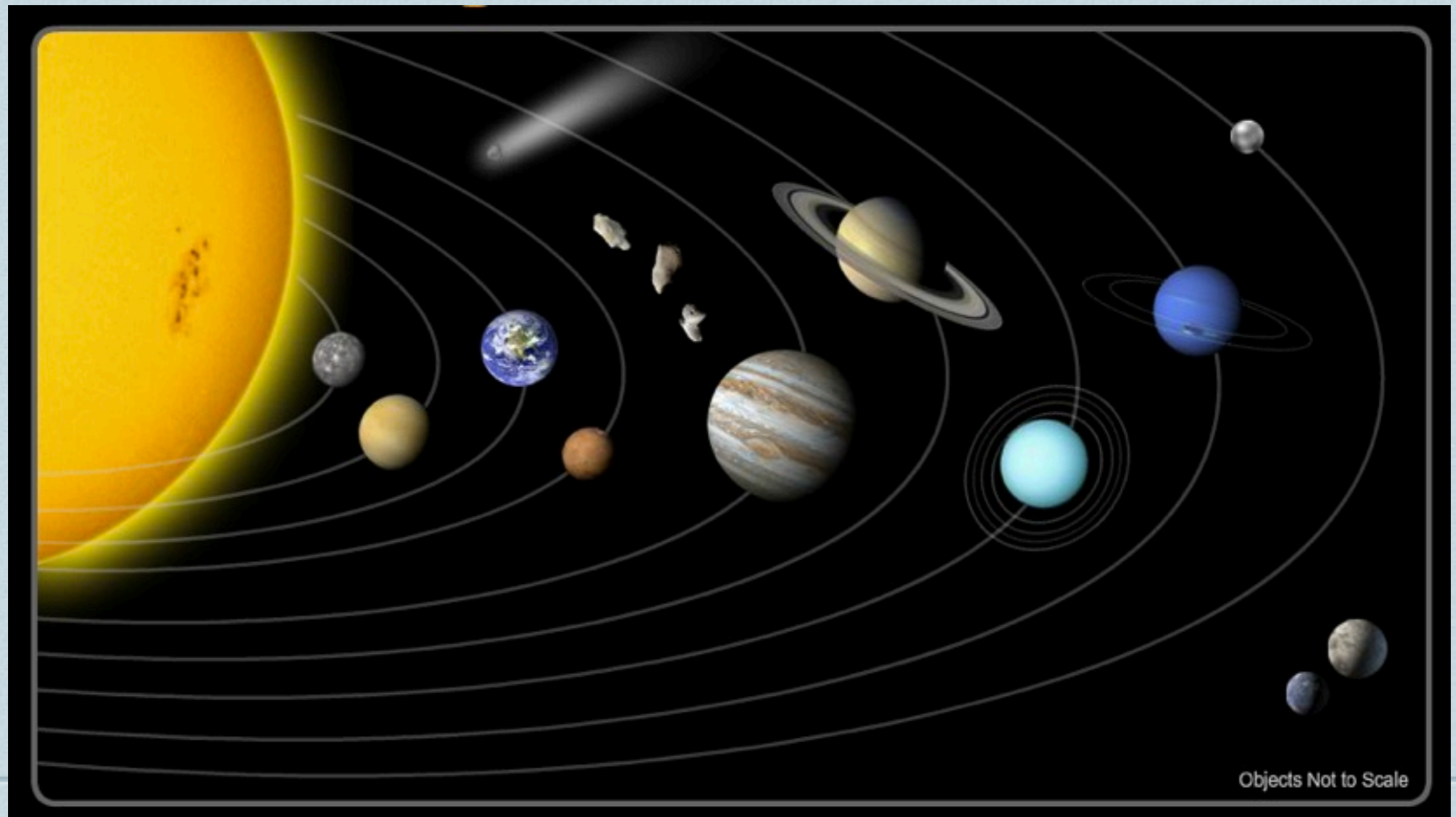
<http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/ao100000/ao109000/ao10981/>

vento solare

**flusso continuo di particelle provenienti dal Sole (protoni ed elettroni)
raggiunge le regioni più estreme del Sistema solare, fino all'orbita di Plutone**

origine: espansione della corona solare

le particelle del vento solare riempiono lo spazio interplanetario



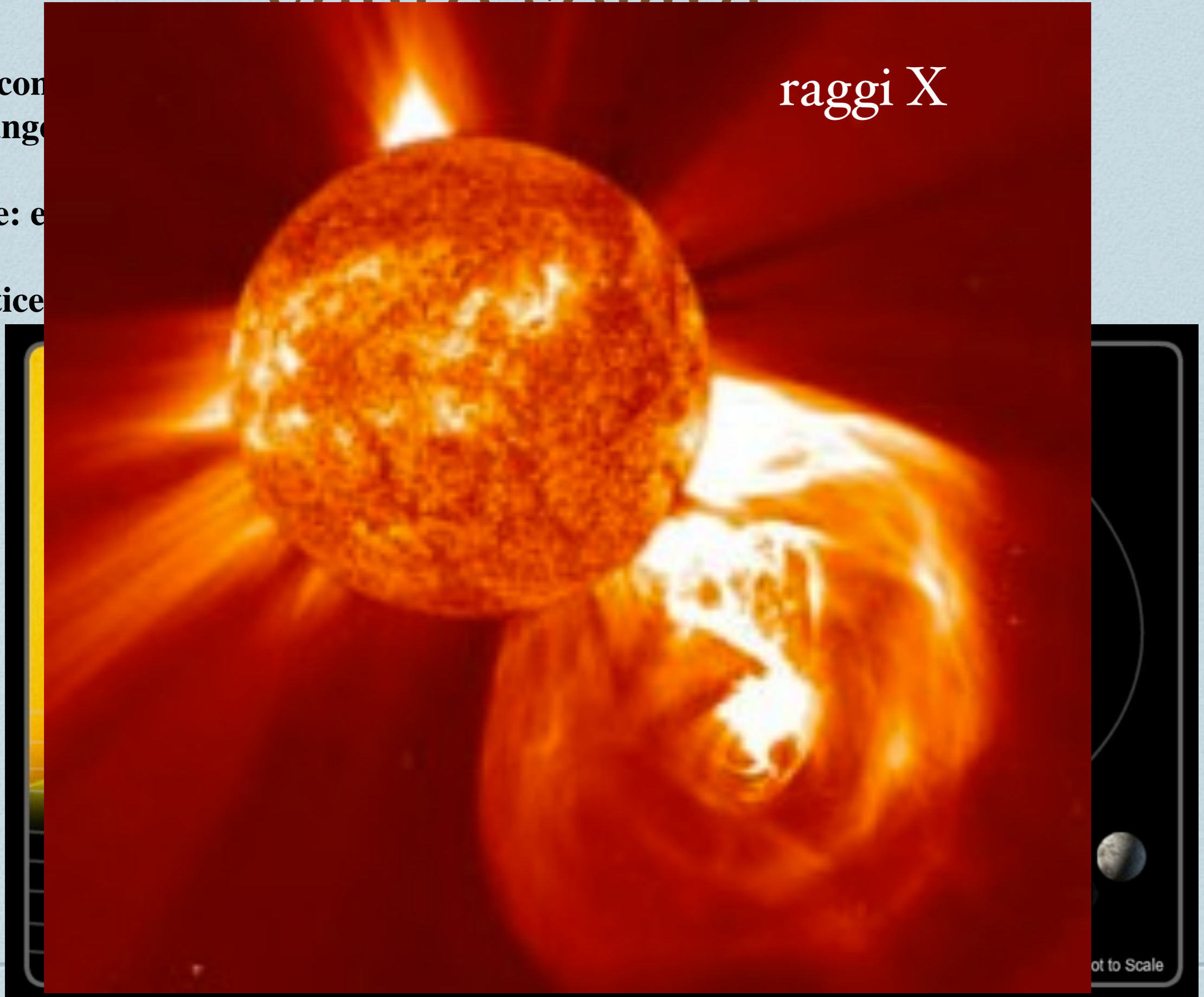
wento solare

flusso con
raggiungo

origine: e

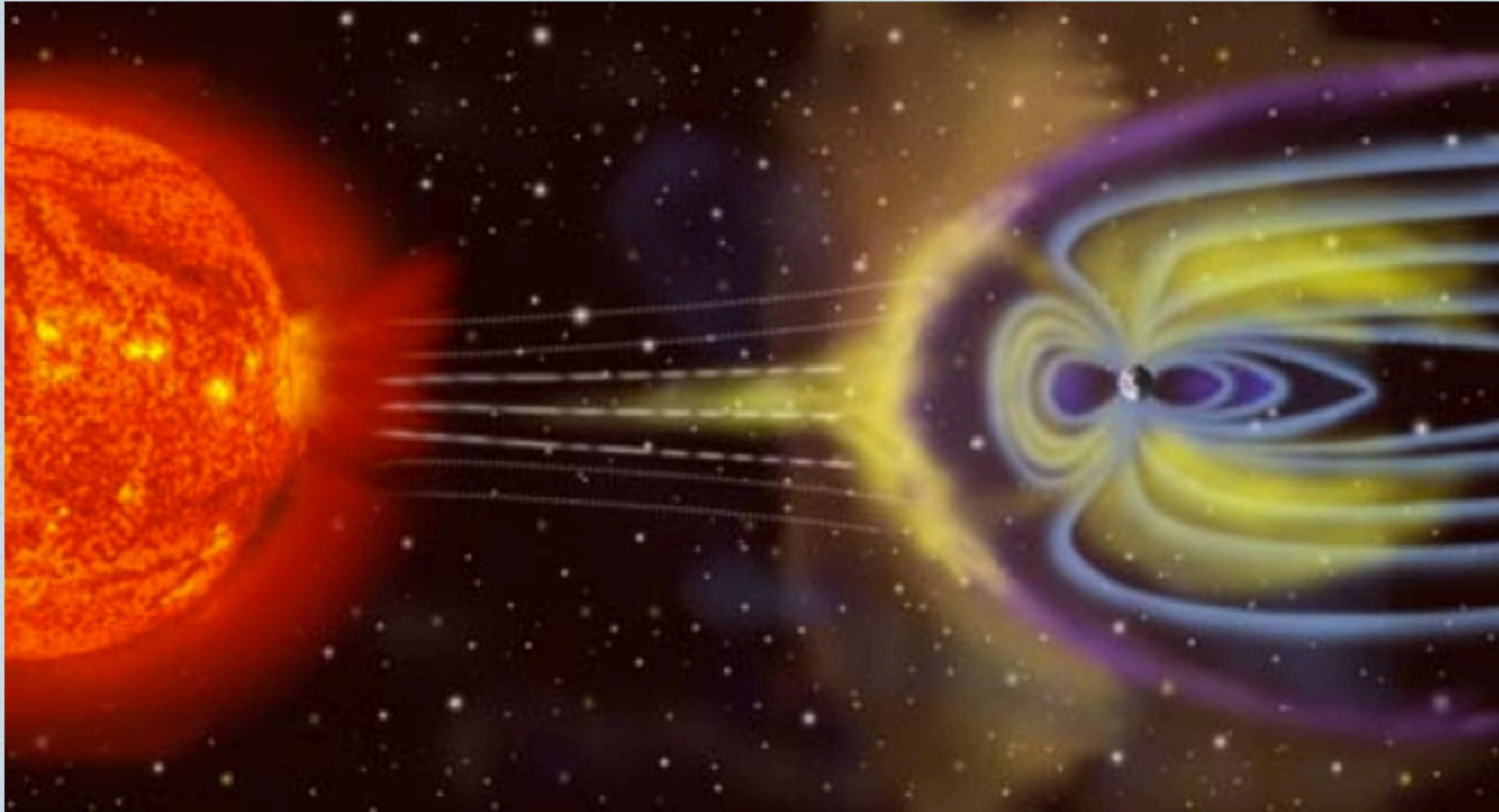
le particelle

raggi X



ot to Scale

il vento solare sulla Terra



Alla distanza della Terra:

- velocità circa **300-600 km/sec** (circa **1-2 milioni di km all'ora**) (Mach = 5-10)
- densità **5-10 particelle per centimetro cubo**.
- **il campo magnetico terrestre agisce da schermo....**

effetti del “vento solare”



© Juza - www.juzaphoto.com

Aurora boreale

[http://video.focus.it/
dettaglio-video/dentro-l-
aurora-5763](http://video.focus.it/dettaglio-video/dentro-l-aurora-5763)



venti stellari

- ❖ **processi continui** (venti da **10 km/s a 2000 km/s** che rimuovono frazioni piccole della massa delle stelle, anche se in maniera continua)
- ❖ **processi esplosivi** (Supernovae)

venti stellari

- ❖ **processi continui** (venti da **10 km/s a 2000 km/s** che rimuovono frazioni piccole della massa delle stelle, anche se in maniera continua)
- ❖ **processi esplosivi** (Supernovae)



Cassiopea A

Hubble+Spitzer+Chandra

“vento” (flusso di particelle) con velocità fino a **30.000 km/s** (onda d’urto)

effetto: distribuisce elementi come **Carbonio, Ossigeno e Ferro** nel **mezzo interstellare**

Venti galattici

- ❖ I venti galattici sono **flussi di particelle cariche** ad alta energia emessi dalle galassie, con velocità elevatissime: da **300 a 3000 km al secondo**, pari a **1-10 milioni di km/h**.
- ❖ Vengono prodotti da due tipi di sorgenti: le **galassie con intensa formazione stellare** e i **buchi neri giganti** nel centro di molte galassie.



STARBURSTS

**NUCLEI GALATTICI
ATTIVI (AGN)**

venti da starbursts



venti a “**bassa**” **velocita**’ (<500 km/s) possono ricadere sulla galassia (fontane)

venti a “**alta**” **velocita**’ (>1000 km/s) espellono direttamente il gas dalla galassia fino a **distanze >20 Kpc**

ORIGINE:
scoppio di stelle molto massicce in un meccanismo di esplosioni successive di Supernovae (spinta a catena)

M82 (HST+Chandra+Spitzer)

venti da starbursts



Il **vento galattico** corrisponde alla somma dei venti stellari generati dalle stelle.

Più le stelle sono giovani e maggiore è la radiazione emessa --> le galassie *starburst* presentano quindi i venti maggiori.

La zona più densamente popolata di stelle **è la parte centrale**

Il vento quindi si origina in maniera **perpendicolare al disco della galassia**

M82 (HST+Chandra+Spitzer)

venti da starbursts



M82 (HST+Chandra+Spitzer)

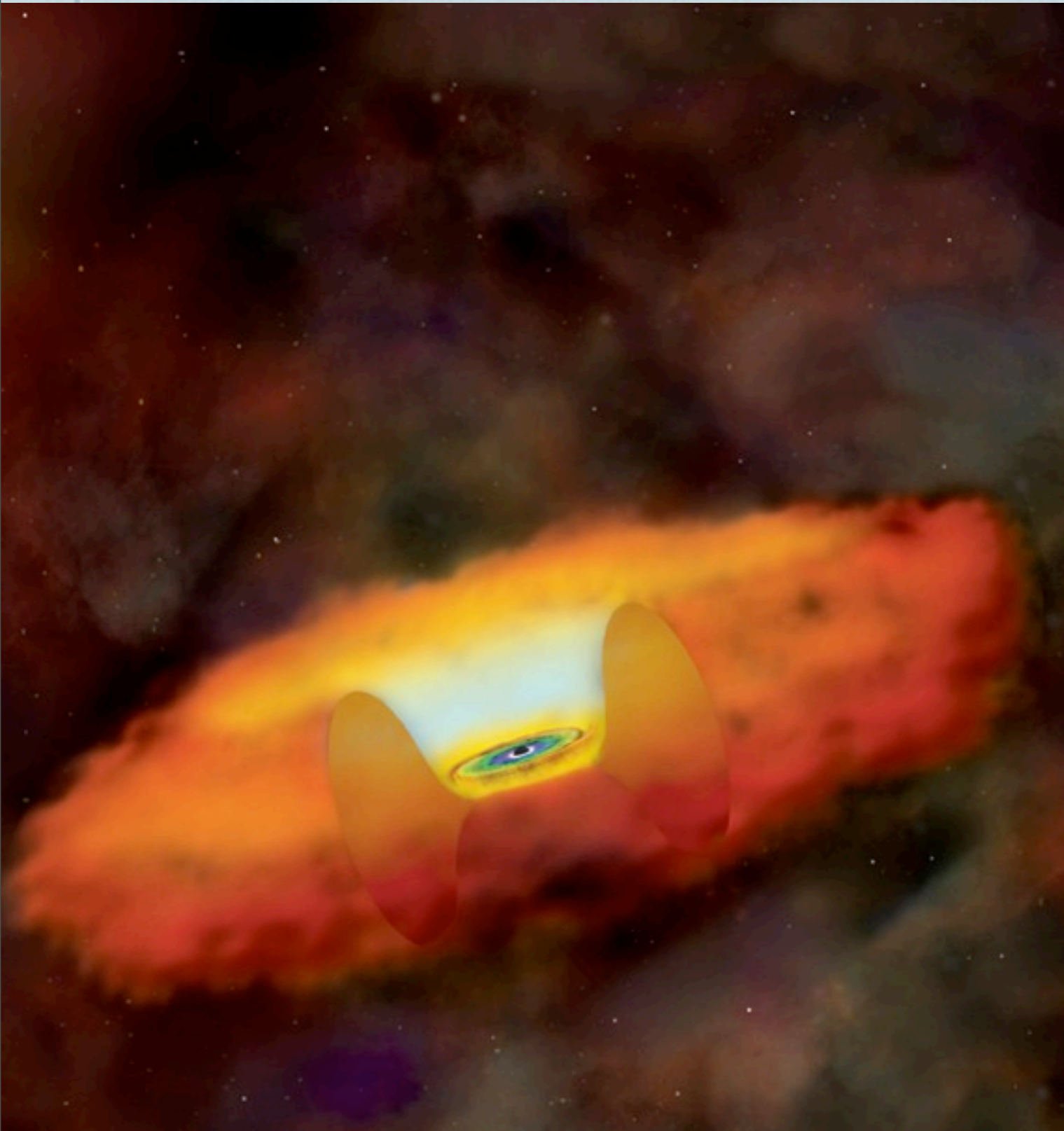
Il vento provoca una **emorragia di materia** sottratta alla formazione di nuove stelle

La perdita di questo materiale prezioso **rallenta** e a lungo andare **ferma la crescita delle galassie**

La perdita di materia e' stata stimata anche fino a **100-1000 volte la massa del Sole in un anno**

(ma in pochi e rari casi!)

venti galattici e buchi neri



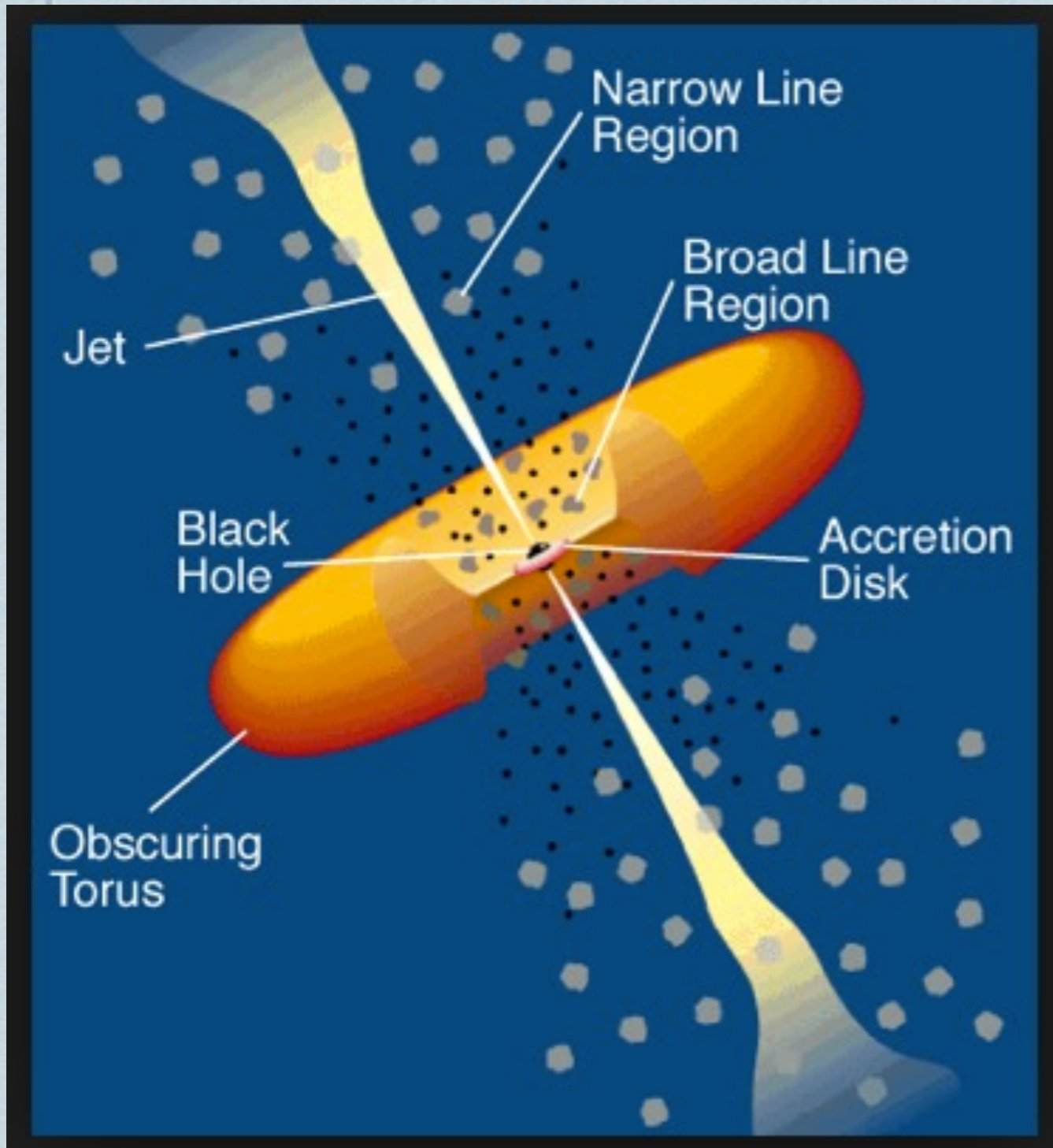
Nucleo Galattico Attivo (AGN) - cosa e'?

Galassia con al centro un **buco nero supermassiccio** con una massa **milioni-miliardi di volte** quella del Sole

Il buco nero accresce materia da un **disco di accrescimento** e questo processo **produce radiazione elettromagnetica**

Il disco di accrescimento e' circondato da **gas e polveri** (ciambella, nuvolette, etc.)

venti galattici e buchi neri



Urry & Padovani 1995

Nucleo Galattico Attivo (AGN) - come si rivela?

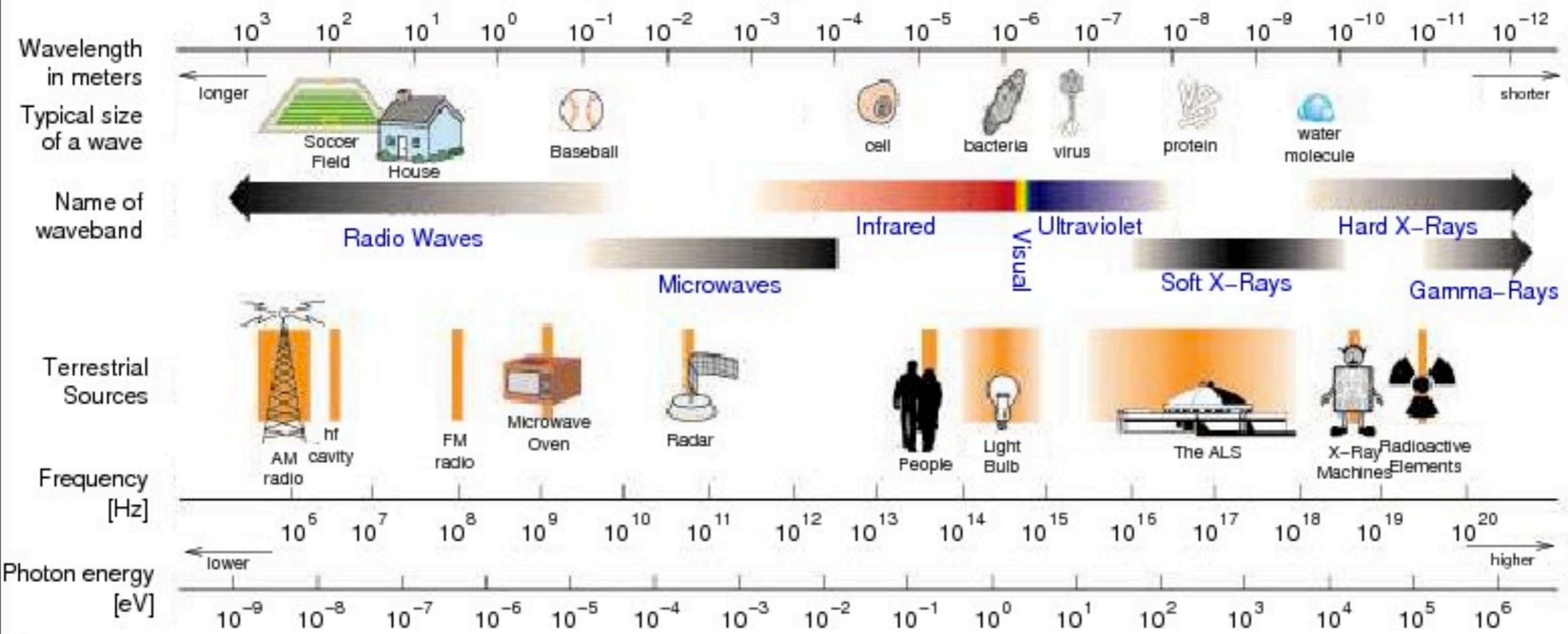
durante l'accrescimento di materia viene prodotta emissione in banda **Ultravioletta e X**

Un AGN si manifesta quindi come una sorgente UV e X intensa

Il **gas e le polveri** che circondano il disco di accrescimento **oscurano** la radiazione **UV e (parzialmente) X**

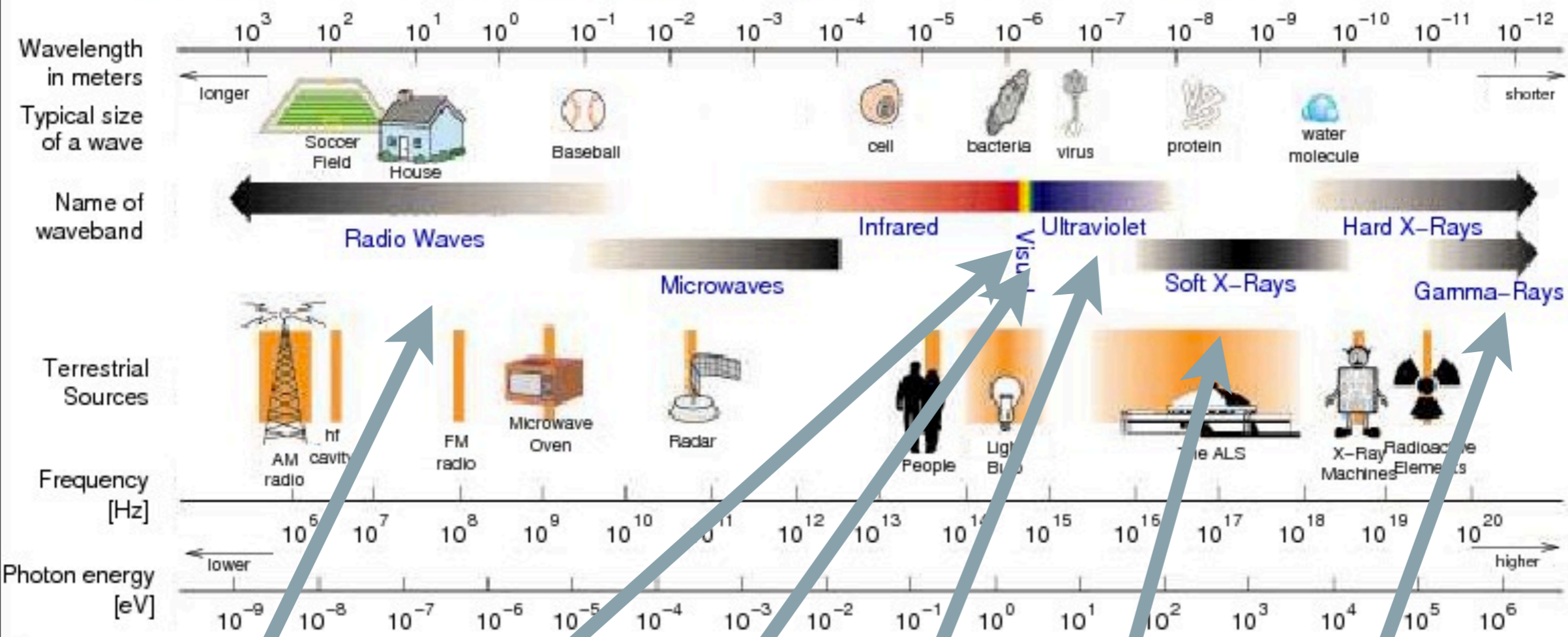
emissione di AGN

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



emissione di AGN

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



Mrk421

VLA

HST

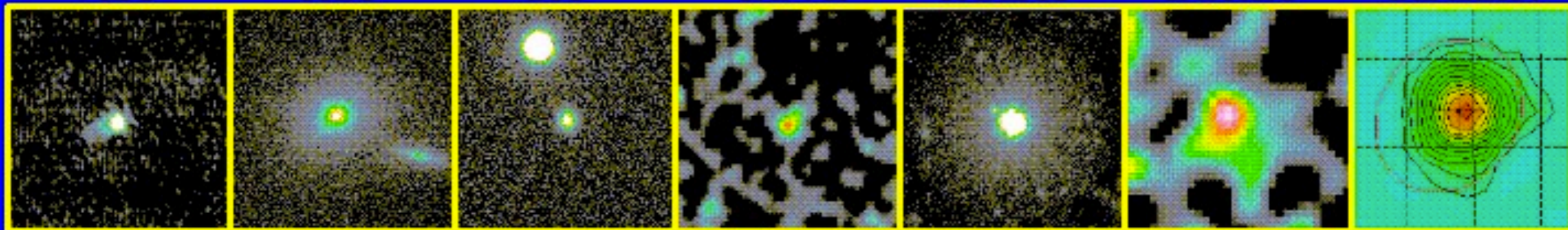
UIT

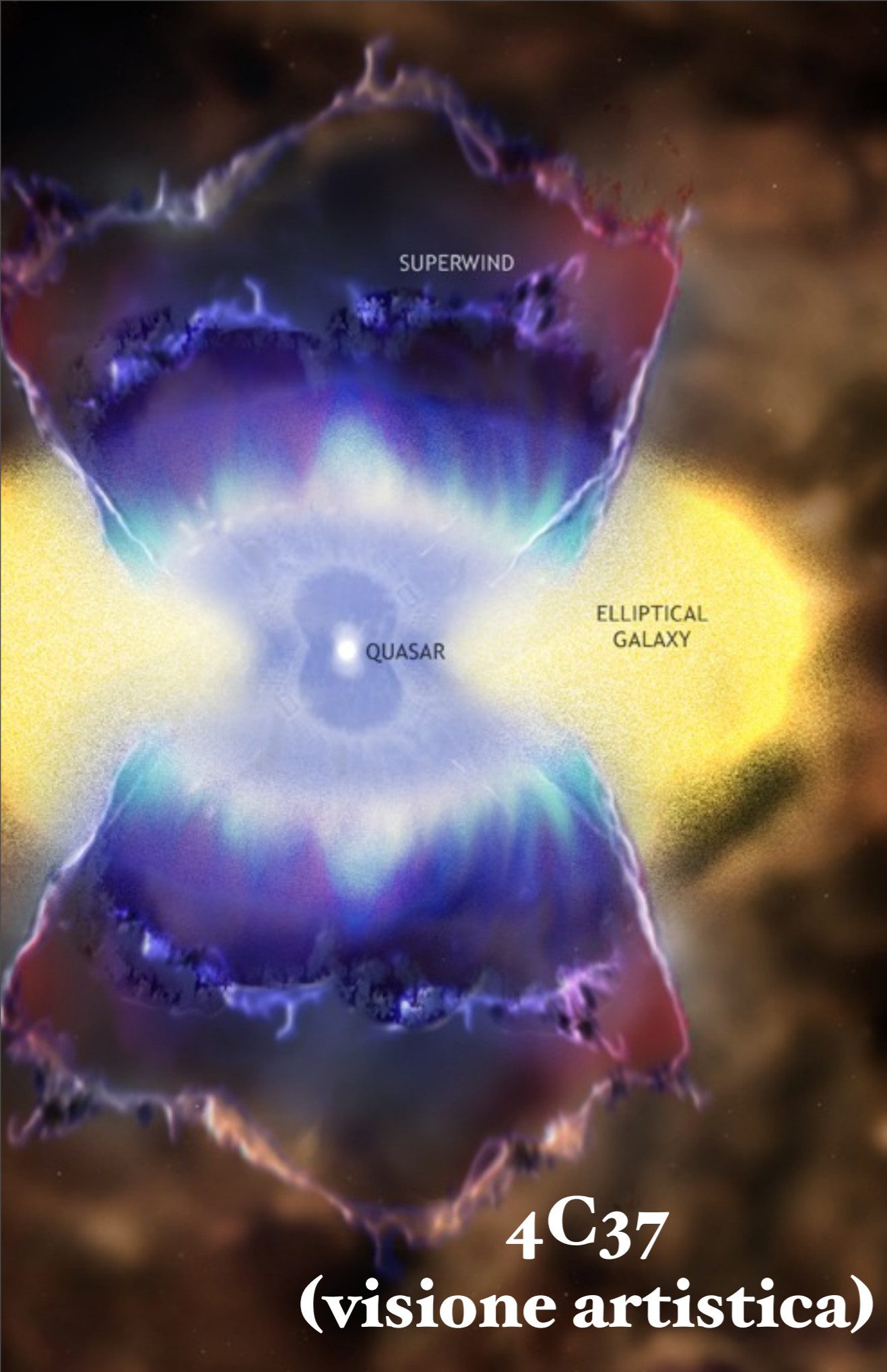
EUVE

ROSAT

EGRET

Čerenkov





4C37
(visione artistica)

venti da AGN

Il buco nero centrale durante l'accrescimento **libera una gran quantità' di energia che puo' venire "espulsa" sotto forma di vento**

La velocità **dipende dalla massa del buco nero** centrale, ma si possono raggiungere **velocità' >1000 km/s** piu' facilmente che nel caso di esplosione di supernovae

venti da AGN



Nucleo Galattico attivo in una galassia a spirale; mostra **bracci non allineati al piano galattico** che emettono fortemente nella **banda X e radio**

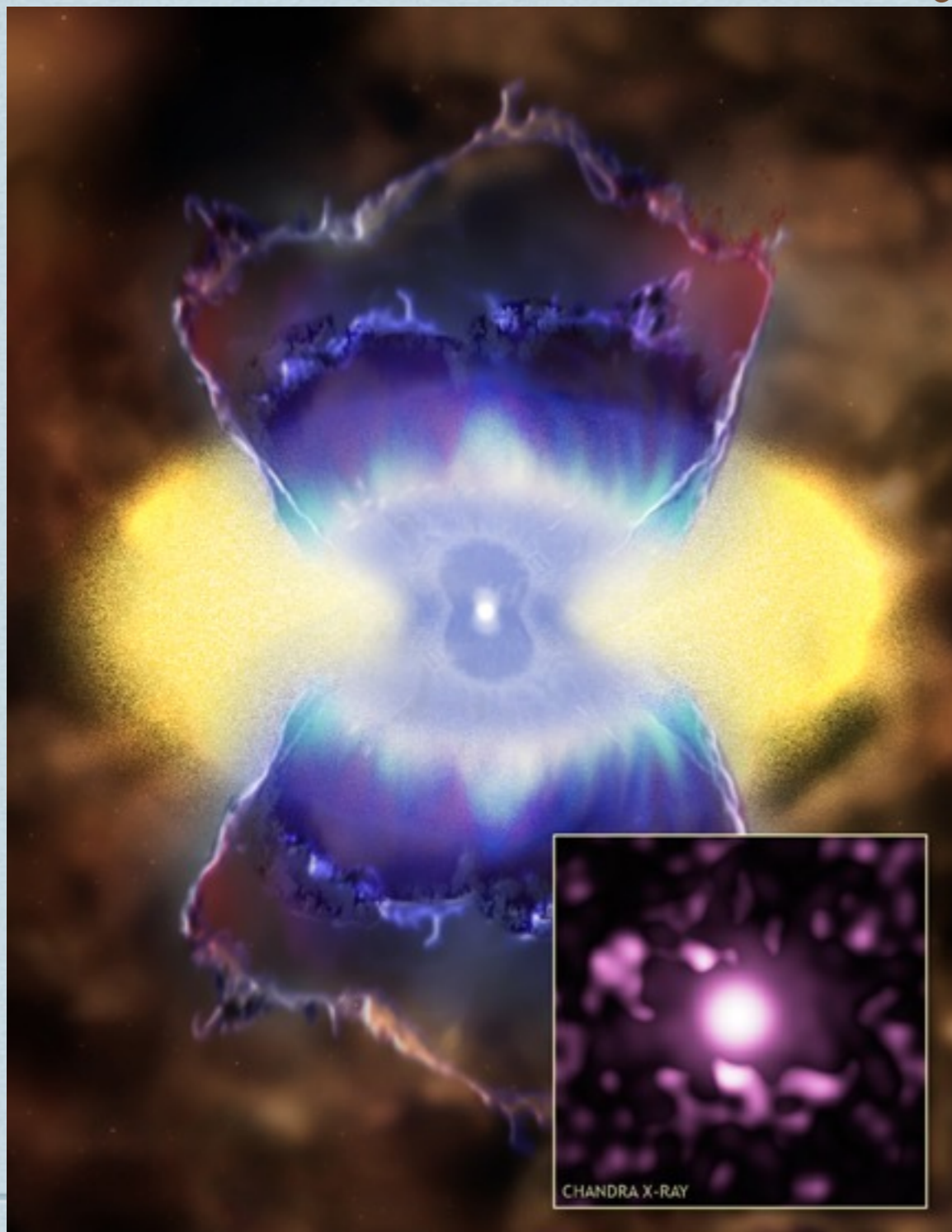
Evaporazione del gas galattico **perpendicolare al piano e lungo i getti relativistici**

La galassia contiene una **quantita' di gas inferiore a quella aspettata** e il tasso di formazione stellare e' minore di 10 volte rispetto a quello di galassie come la nostra

M106 (Hubble+Chandra+Spitzer+VLA)

come si rivelano i venti?

X-rays



Il buco nero centrale durante l'accrescimento **libera una gran quantità di energia che può venire "espulsa" sotto forma di vento**

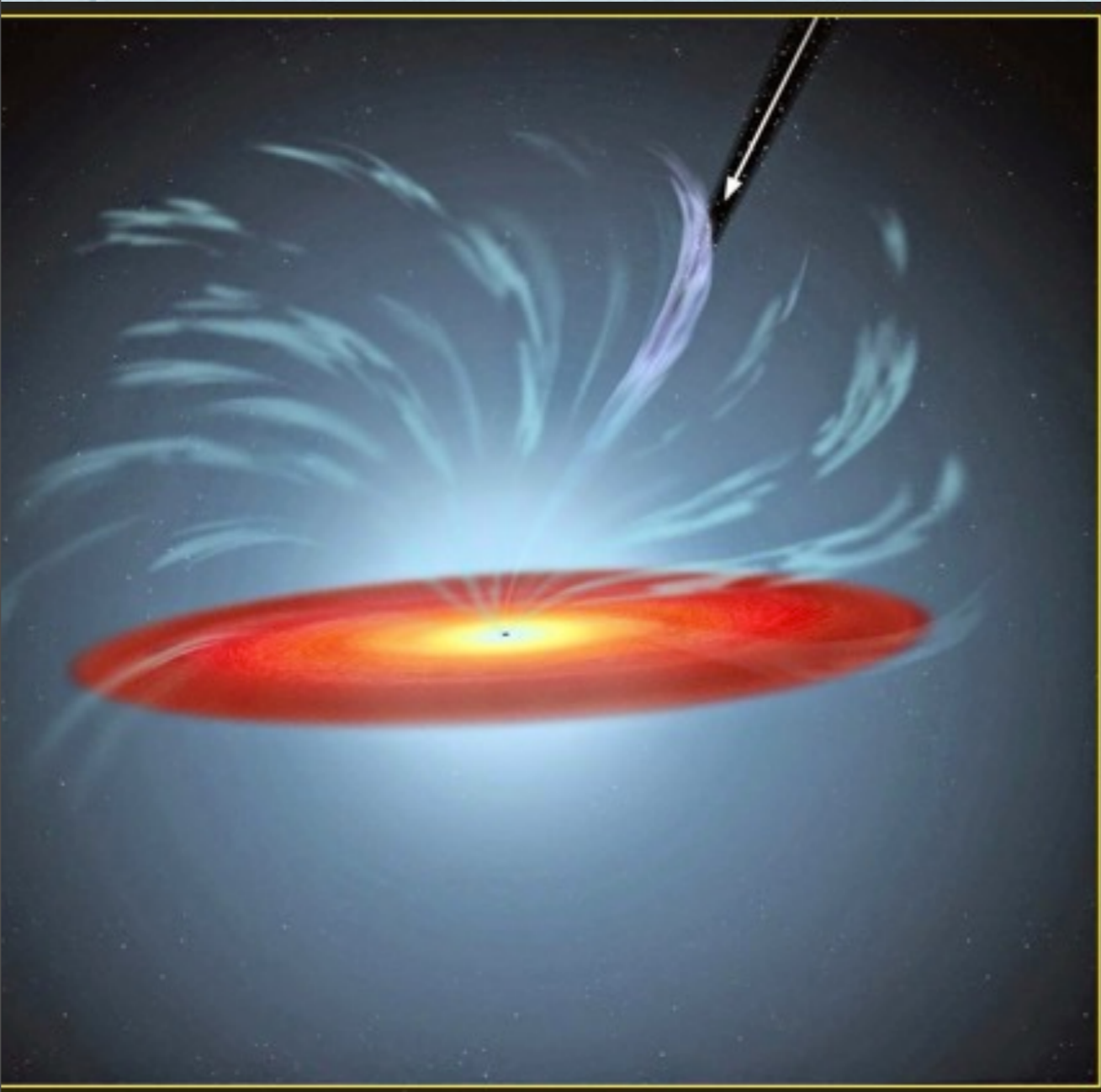
La velocità **dipende dalla massa del buco nero** centrale, ma si possono raggiungere **velocità >1000 km/s** più facilmente che nel caso di esplosione di supernovae

Il vento **produce degli shocks** (onde d'urto) che noi vediamo nell'emissione in banda X

Questo è un **"indizio" della presenza di un vento galattico molto potente**

come si rivelano i venti?

X-rays



NGC5548

Sistema di due venti:

1) flusso di gas ionizzato

“persistente” (velocita' **1000 km/s**)

+

2) flusso di **gas ionizzato dal disco di accrescimento** con velocita' di **5000 km/s** (18 kmilioni di km/hr!!)

Il “nuovo” vento oscura gran parte della regione centrale!

Il “nuovo vento” e' stato rivelato grazie a una campagna di monitoraggio durata 9 mesi con i telescopi XMM-Newton, Chandra, Hubble, Swift, NuSTAR e INTEGRAL

Kaastra et al. 2014, Science

come si rivelano i venti?

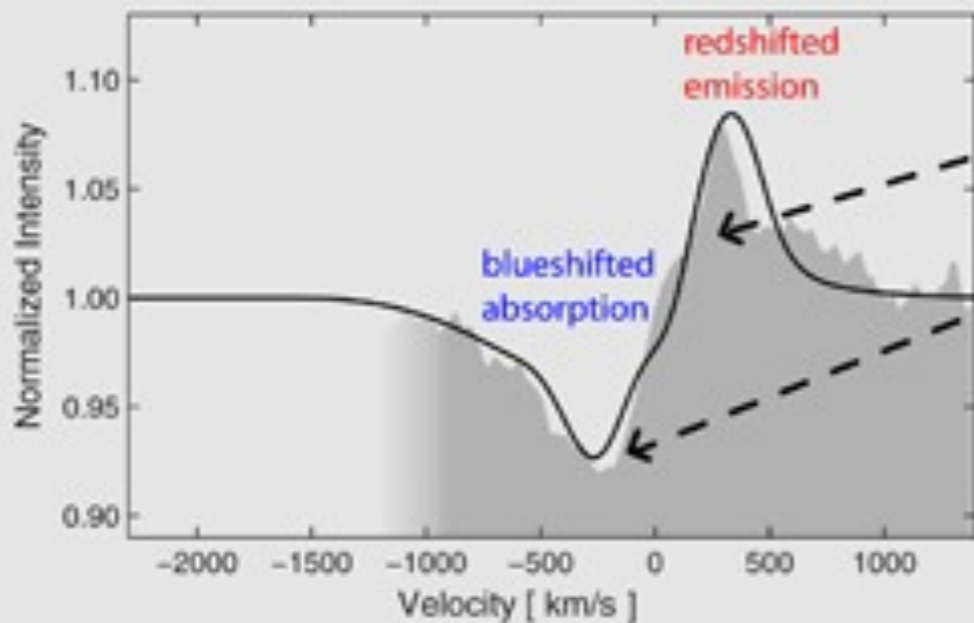
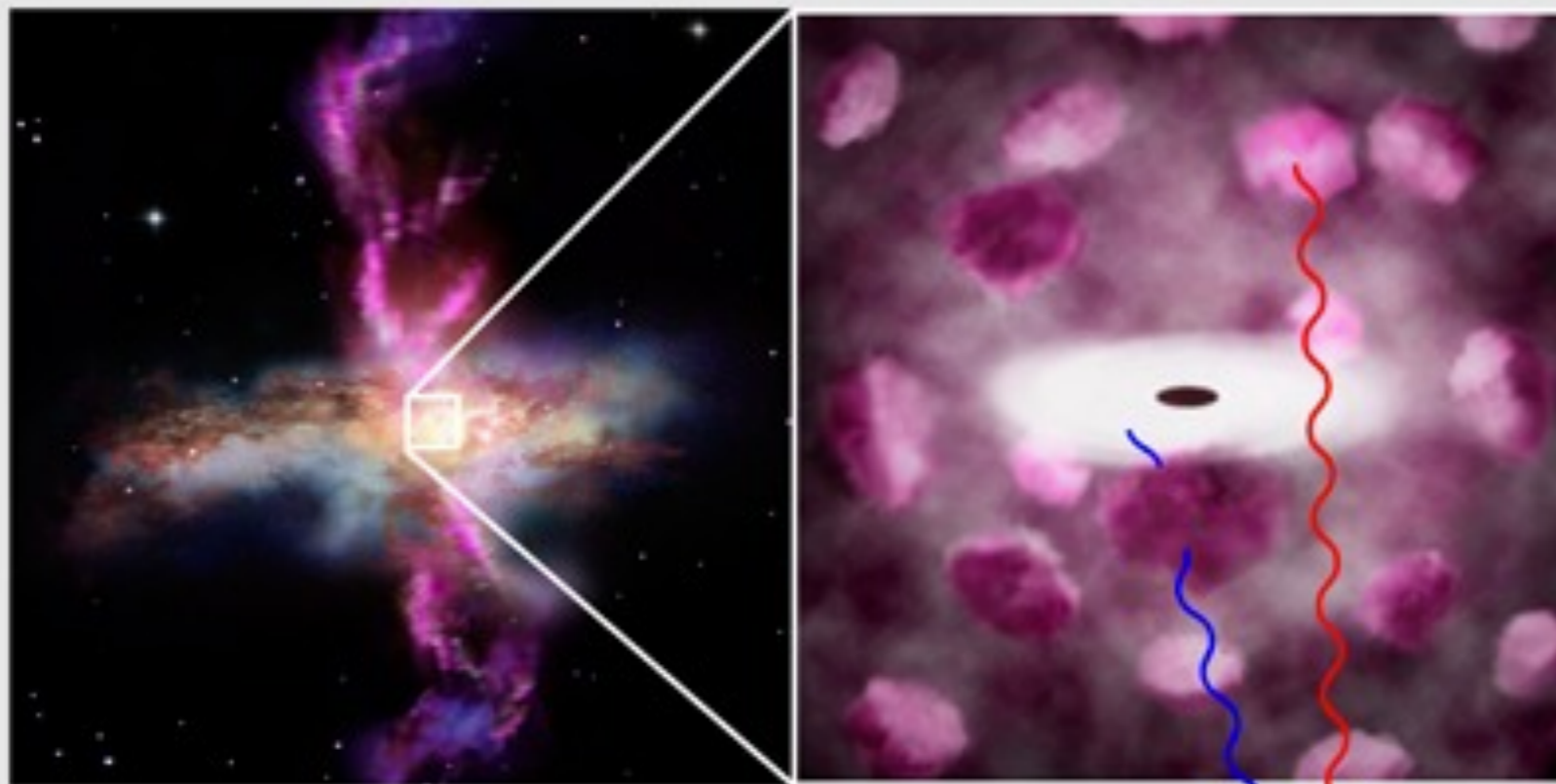
X-rays

[http://www.lescienze.it/news/2014/06/23/video/
il_supervento_e_il_buco_nero-2188712/1/](http://www.lescienze.it/news/2014/06/23/video/il_supervento_e_il_buco_nero-2188712/1/)



Kaastra et al. 2014, Science

come si rivelano i venti? molecole nell'infrarosso



Osservazioni
nell'infrarosso lontano
(100-200 micron) di gas in
forma atomica e molecolare
(telescopio: **Herschel**)

caratteristica forma nello
spettro con **emissione** e
assorbimento

impronta digitale della
presenza di **materiale che**
si avvicina e si allontana
(vento!)

ESA press release, 2010

come si rivelano i venti? molecole nel millimetrico

Mrk231 (Hubble)



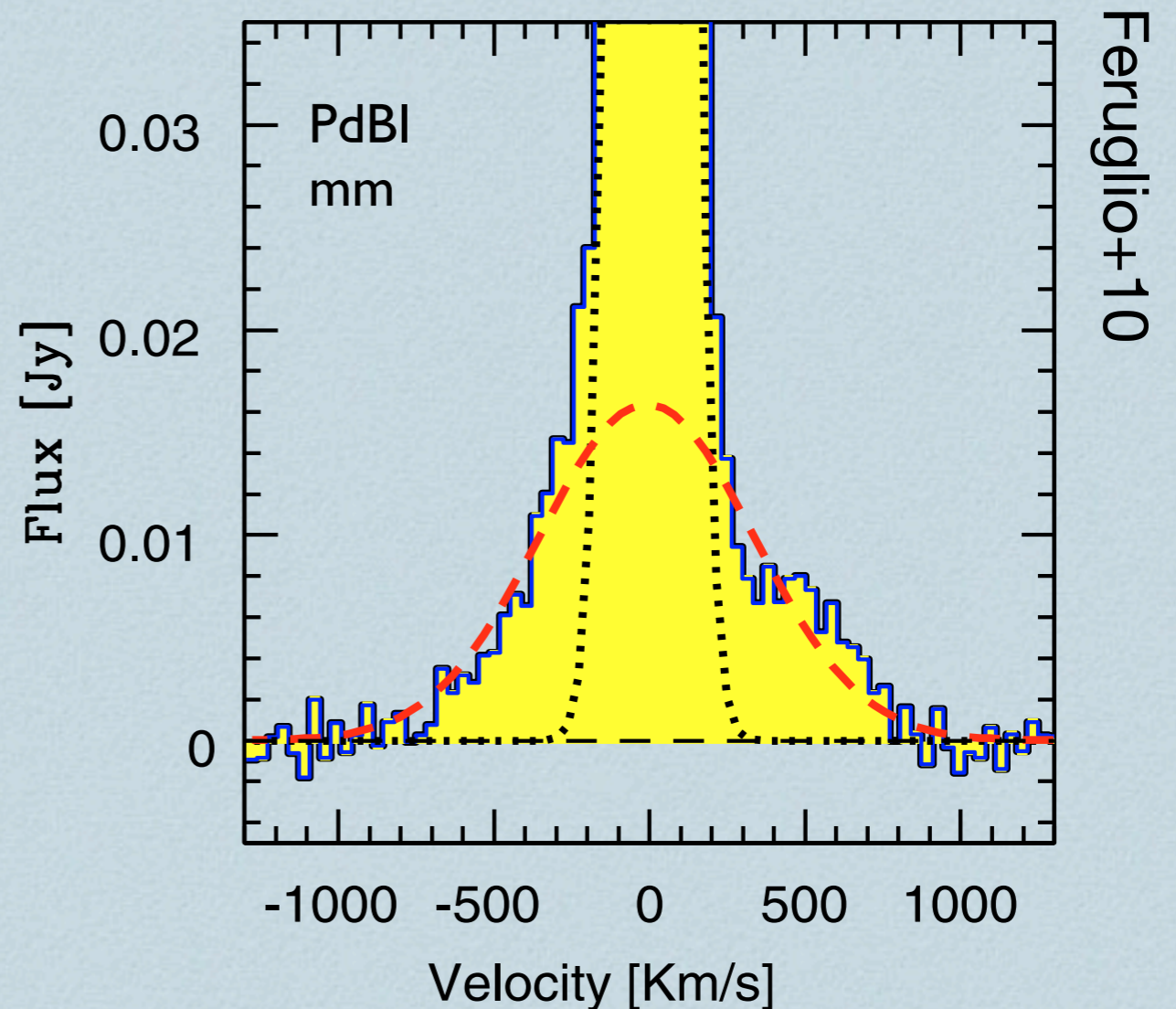
+

=



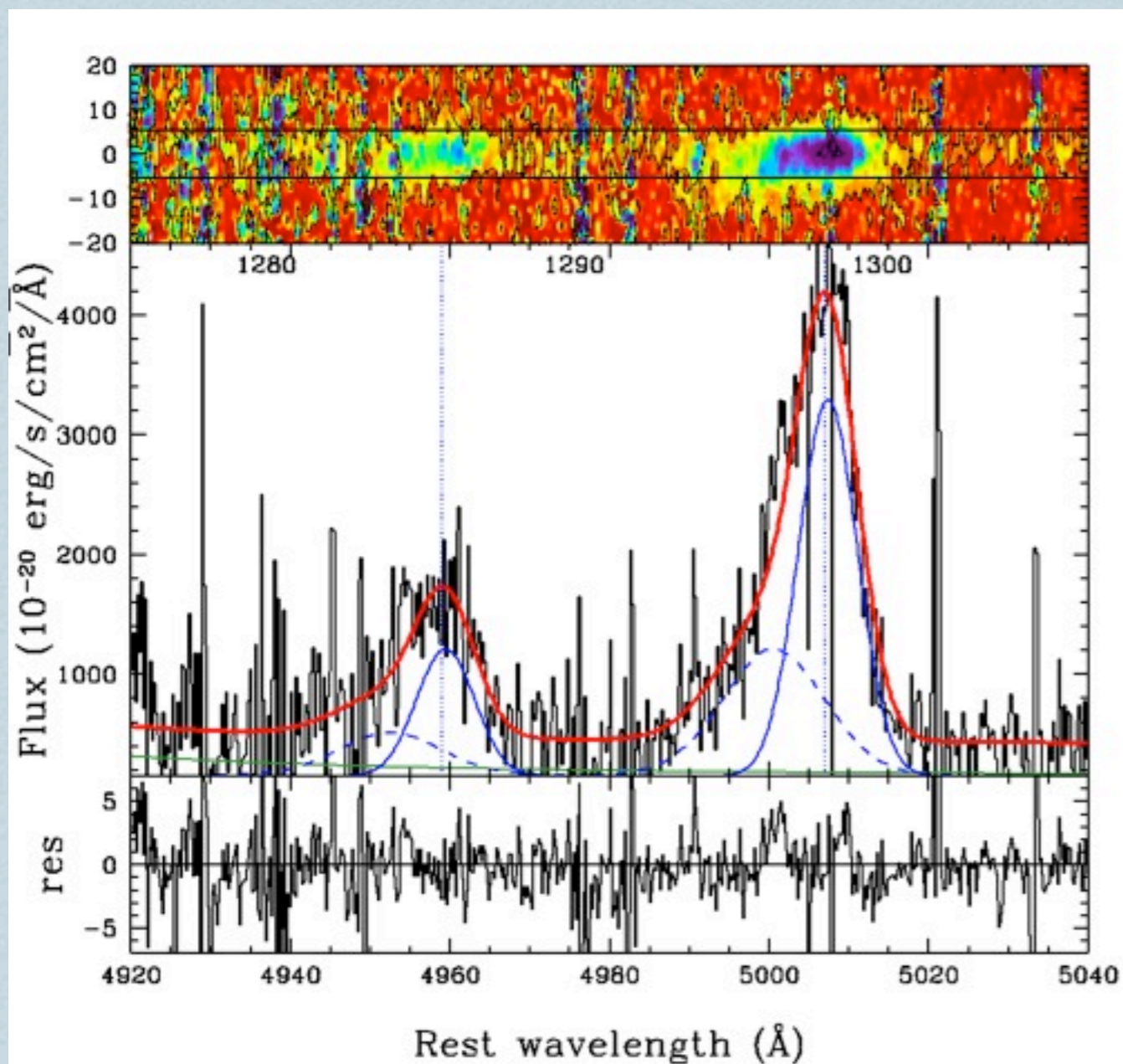
Plateau de Bure Interferometro

Broad wings in CO lines



**INDIZIO di vento:
extra componente “larga”**

come si rivelano i venti? righe in emissione



in **assenza di venti** le righe (in questo caso di **Ossigeno ionizzato**) sarebbero **piu' strette e simmetriche**

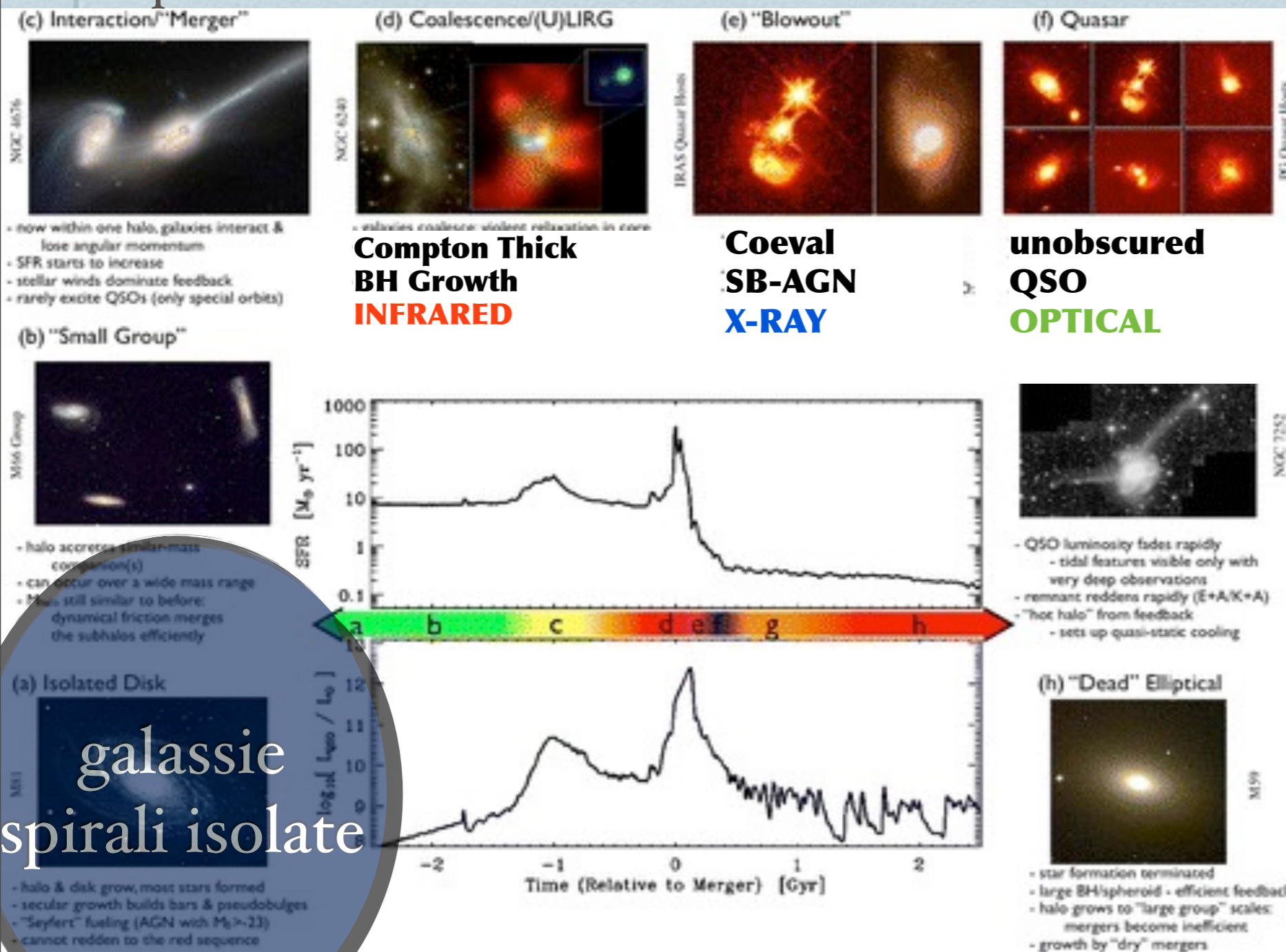
INDIZIO di vento:
extra componente
“spostata” (shifted)

Prime conclusioni

- ❖ i venti galattici (sia da starbursts sia da buchi neri) **rimuovono il gas dalla galassia**
- ❖ i **buchi neri sembrano essere piu' efficienti** (producono piu' energia --> venti piu' veloci e massicci)
- ❖ in assenza di gas (soprattutto molecolare) **la formazione di stelle nelle galassie e' soppressa**
- ❖ la mancata formazione di nuove stelle **determina il "futuro" di una galassia!**

il ruolo dei venti nell'evoluzione delle galassie

Hopkins et al. 2008



**NO GAS -->
NO FORMAZIONE
STELLARE**

**la fase di "vento"
potrebbe essere una
fase intermedia da
collocarsi tra le
spirali e le ellittiche**

**modello di
coevoluzione
galassie-AGN**

galassie
spirali isolate

galassie a spirale



le stelle si formano
nei **bracci a
spirale** e al
centro --> GAS!

galassie "**blue**" -->
stelle GIOVANI

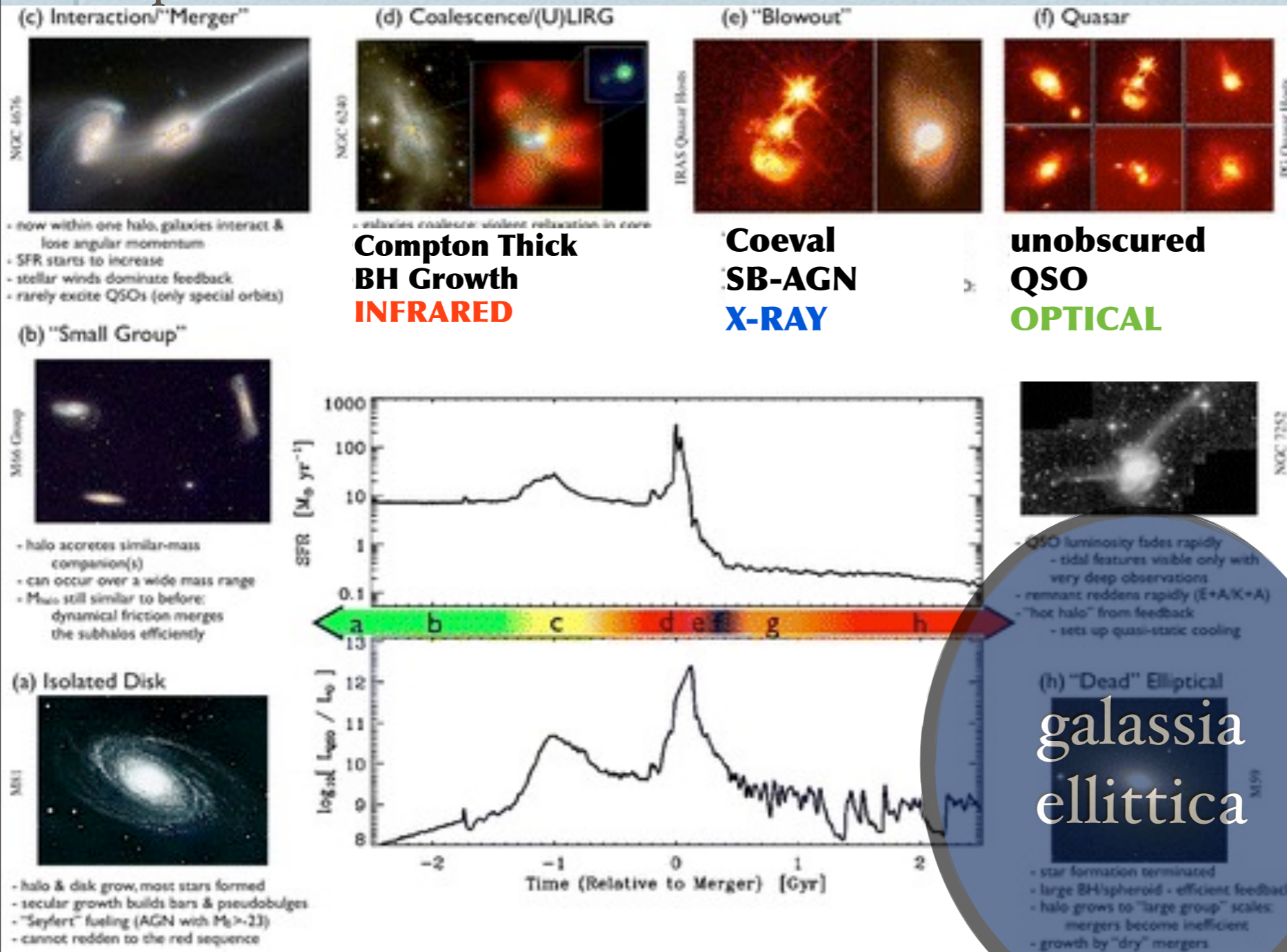
galassie
ISOLATE

il moto delle stelle
e' **ORDINATO**
(rotazione)

Credits: Hubble, VLT

il ruolo dei venti nell'evoluzione delle galassie

Hopkins et al. 2008



NO GAS -->
NO FORMAZIONE
STELLARE

la fase di "vento"
potrebbe essere una
fase intermedia da
collocarsi tra le
spirali e le ellittiche

modello di
coevoluzione
galassie-AGN

galassie ellittiche



non presentano formazione stellare ne'
bracci a spirale; **nubi di gas molto
ridotte--> NO GAS!**

galassie “**rosse**” -->
stelle VECCHIE

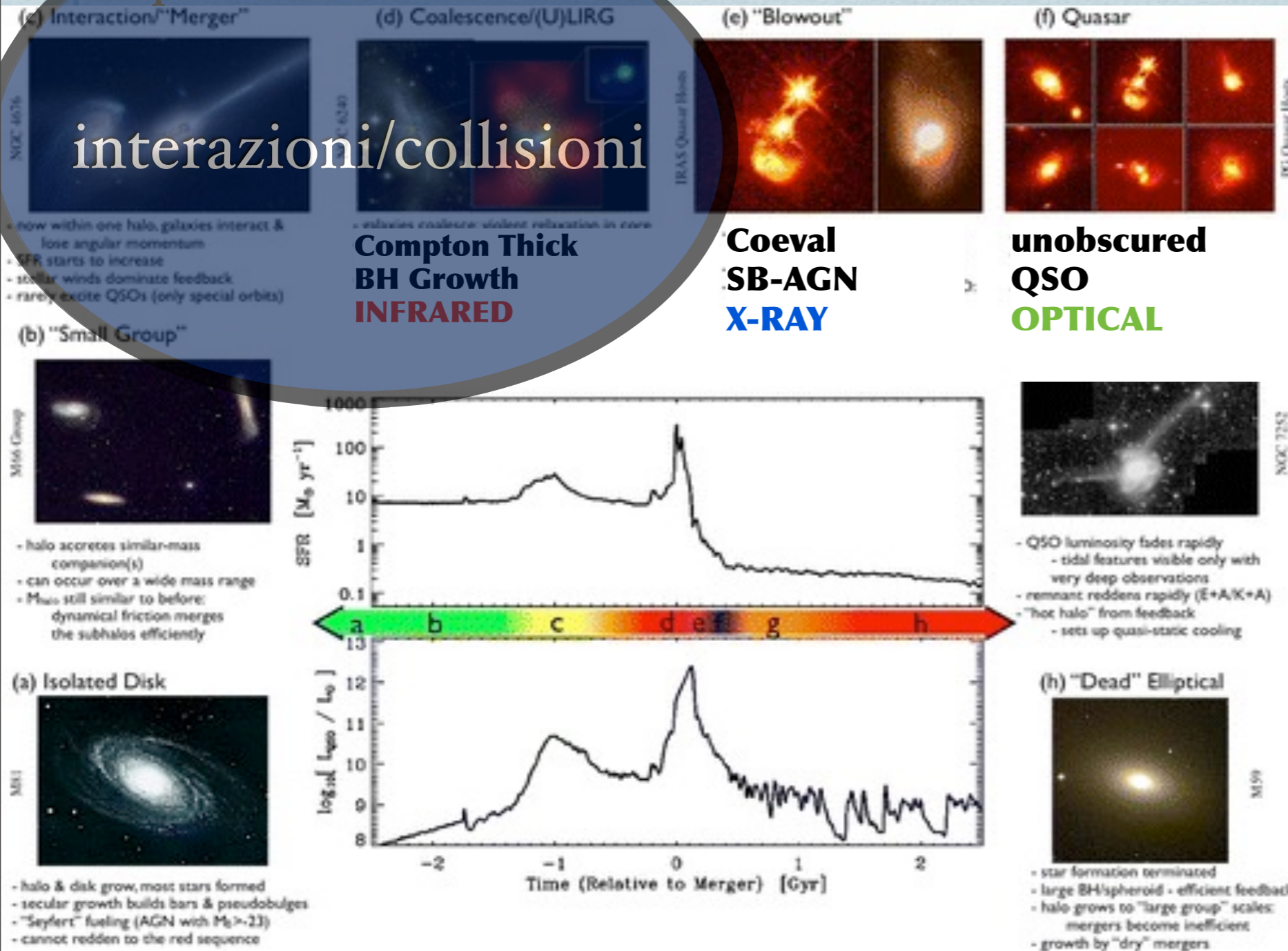
galassie al centro di ammassi di galassia

il moto delle stelle e'
DISORDINATO
(no rotazione)

il ruolo dei venti nell'evoluzione delle galassie

Hopkins et al. 2008

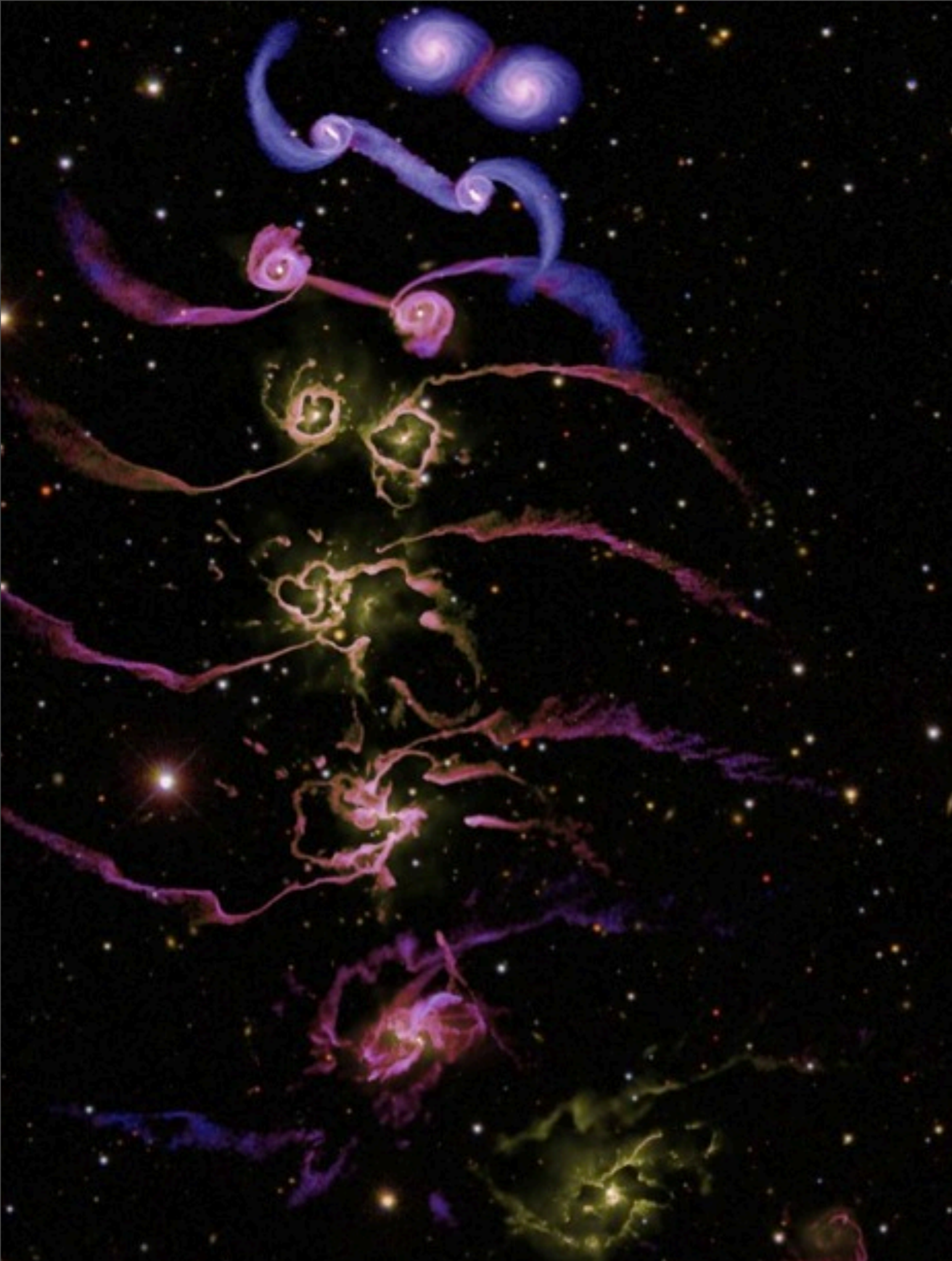
interazioni/collisioni



NO GAS -->
NO FORMAZIONE
STELLARE

la fase di "vento"
potrebbe essere una
fase intermedia da
collocarsi tra le
spirali e le ellittiche

modello di
coevoluzione
galassie-AGN



sequenza di interazione e collisione

Simulazioni

**basate sul comportamento
del gas sotto l'azione della
forza di gravita' delle
galassie e delle interazioni
dei barioni (i.e. emissione)**

Di Matteo et al. 2005
Nature

interazioni galattiche

Arp273



Osservazioni
dal telescopio Hubble

Arp87



UG8335



collisioni galattiche

Antennae

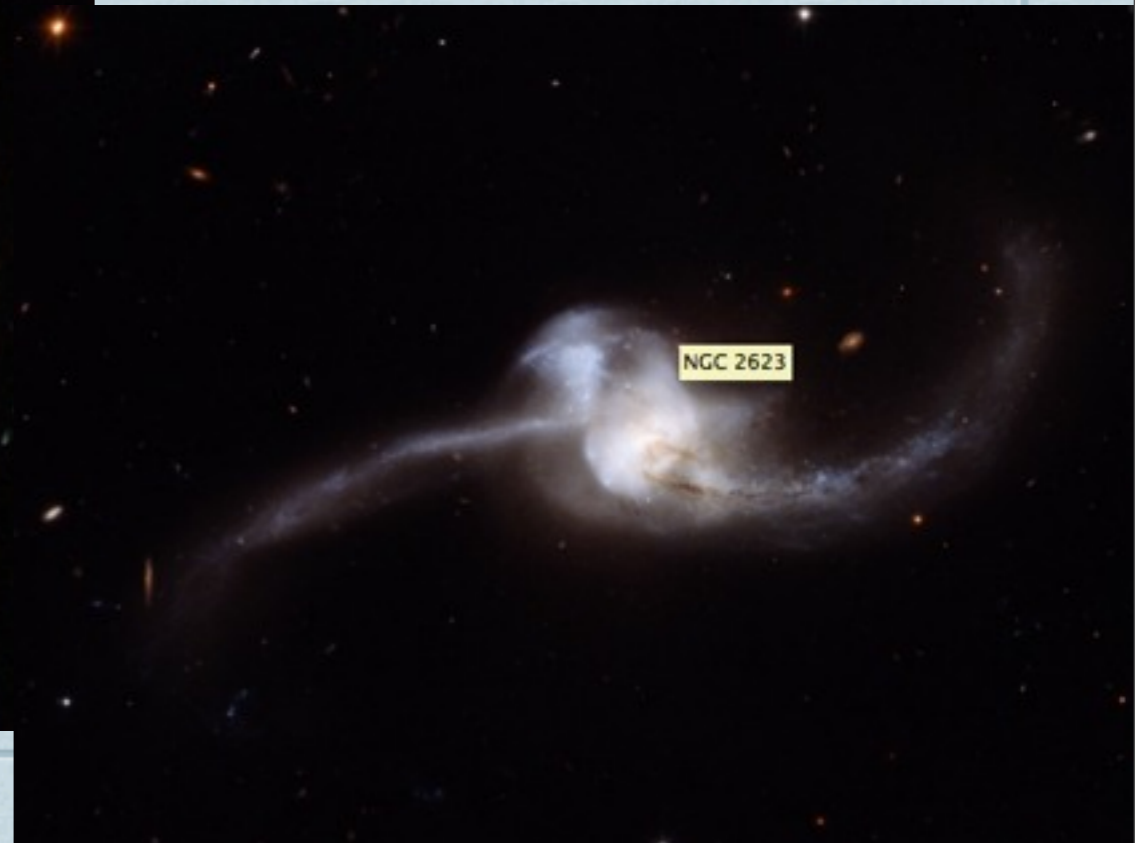


Osservazioni
dal telescopio Hubble

Arp148



NGC2623



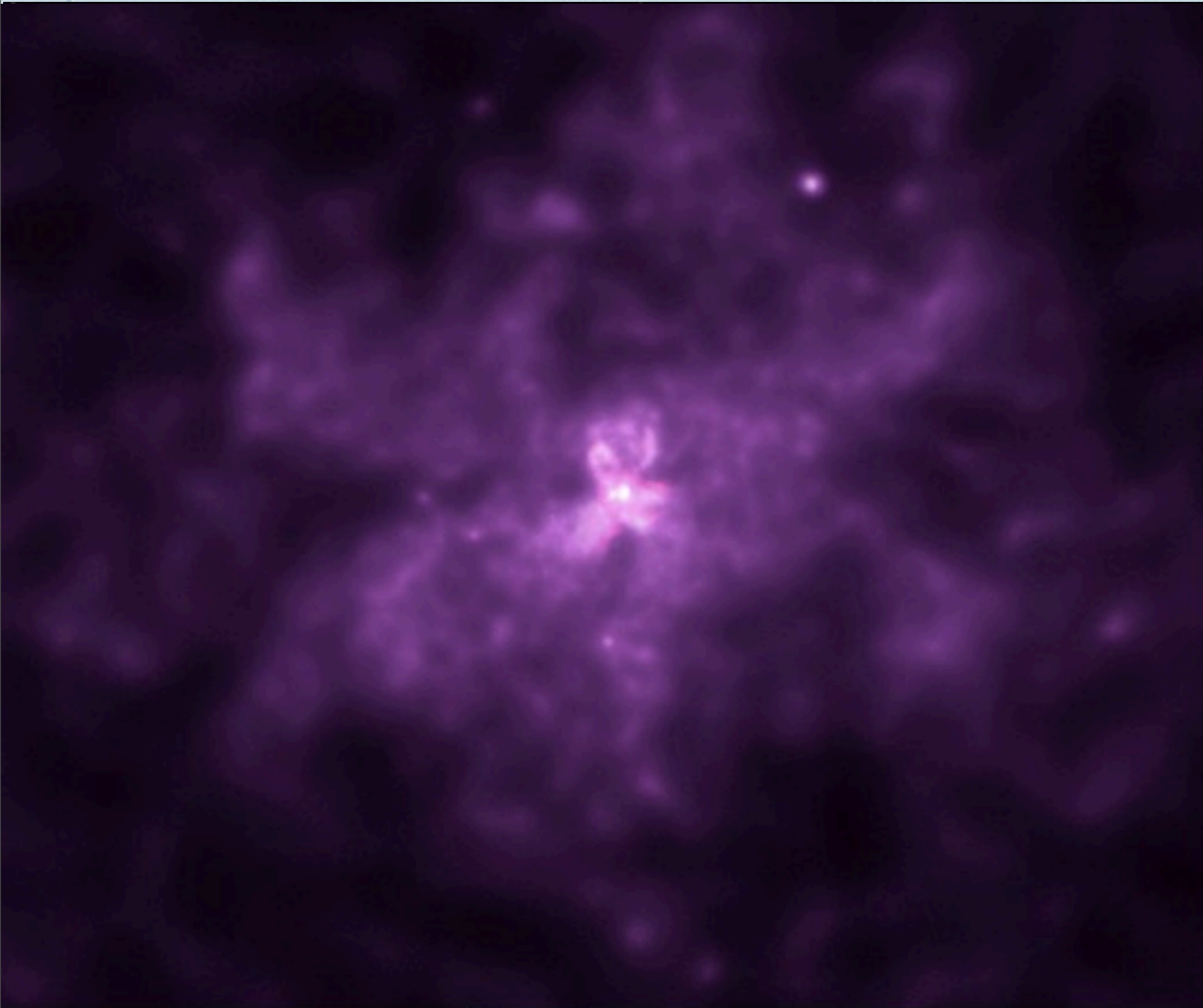
fase di collisione



NGC6240

**1) Ottico
(Hubble)**

fase di collisione



NGC6240

**1) Ottico
(Hubble)**

**2) X-rays
(Chandra)**

fase di collisione



NGC6240

**1) Ottico
(Hubble)**

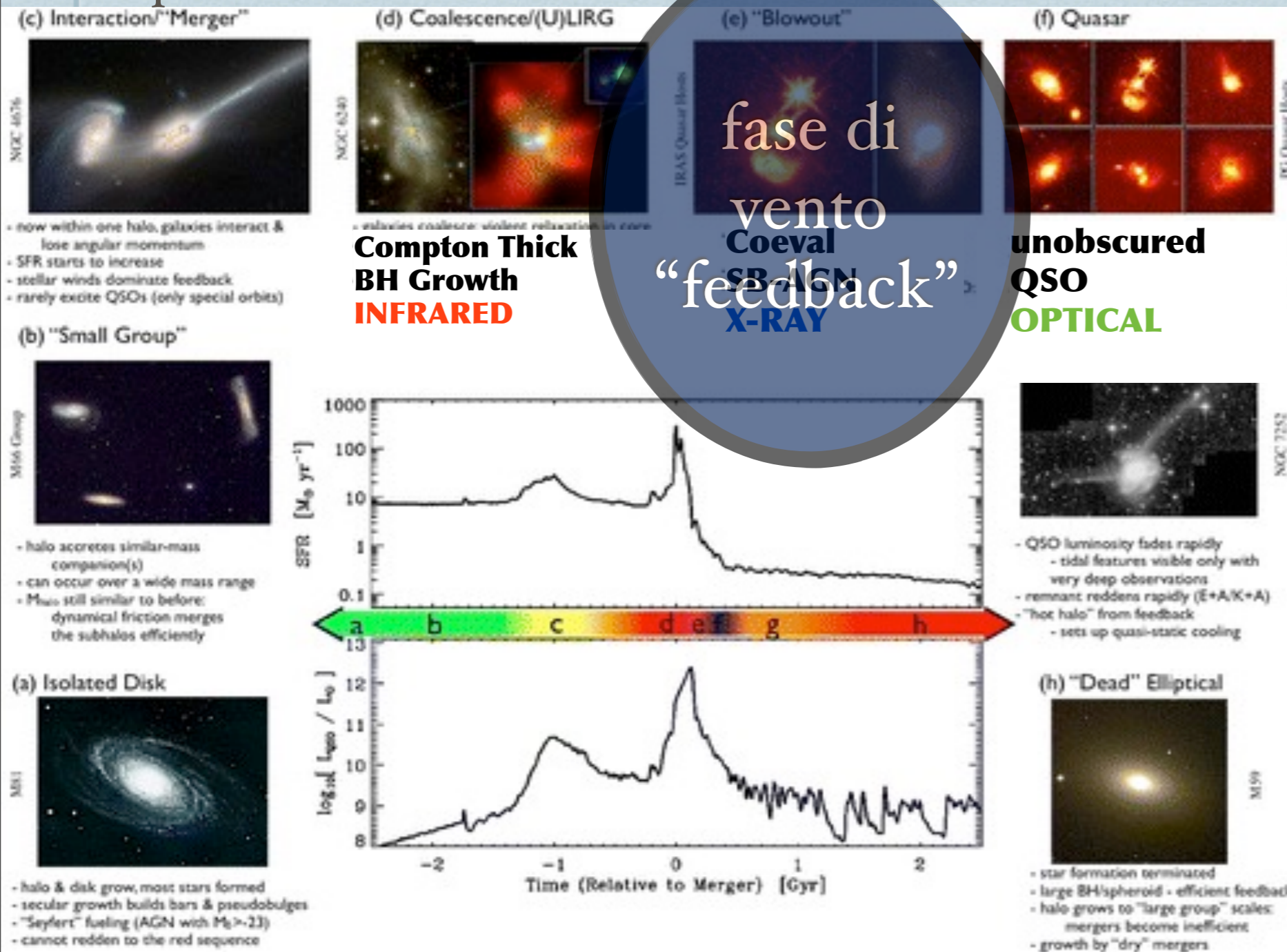
**2) X-rays
(Chandra)**

3) Ottico+X-rays

Alone di **emissione
X estesa;**
il buco nero accresce
alla **luminosita' di
Eddington**

il ruolo dei venti nell'evoluzione delle galassie

Hopkins et al. 2008



NO GAS -->
NO FORMAZIONE
STELLARE

la fase di "vento"
potrebbe essere una
fase intermedia da
collocarsi tra le
spirali e le ellittiche

modello di
coevoluzione
galassie-AGN

venti galattici



M82 (HST+Chandra+Spitzer)



M106 (HST+Chandra+Spitzer+VLA)

“effetto” del vento da AGN

stelle



STELLE:

si passa da un moto ordinato a un moto disordinato delle stelle; risentono dell'attrito e si forma una galassia ellittica

GAS:

il gas durante la collisione e' destabilizzato, consente la formazione stellare al centro e cade verso il nucleo attivando il buco nero

L'energia del buco nero riscalda il gas e crea i venti che **spazzano via il gas**

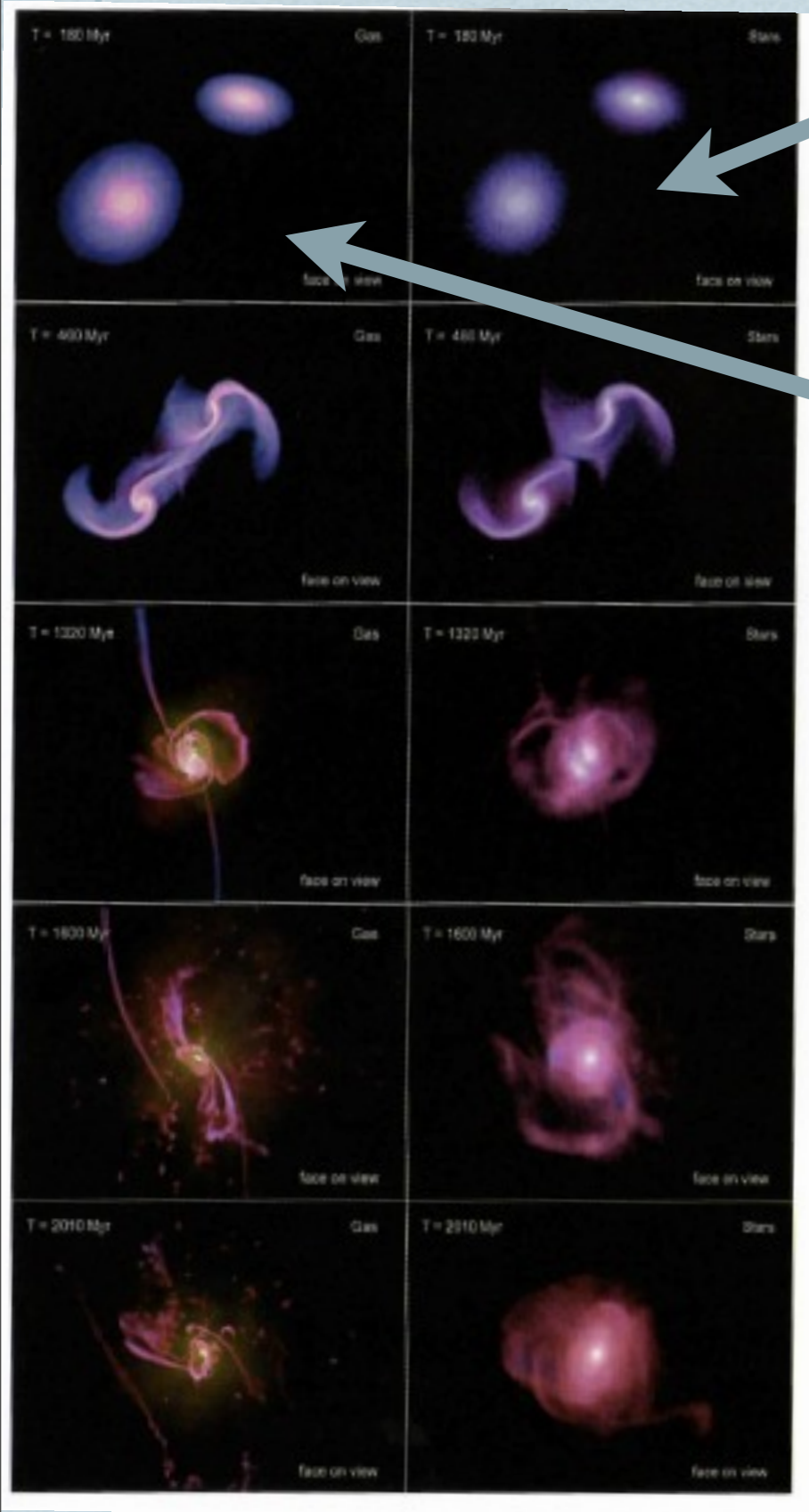
Il buco nero rimane con sempre meno gas in grado di alimentarlo e **si spegne**

Di Matteo et al. 2005
Nature

“effetto” del vento da AGN

GAS

stelle



STELLE:

si passa da un moto ordinato a un moto disordinato delle stelle; risentono dell'attrito e si forma una galassia ellittica

GAS:

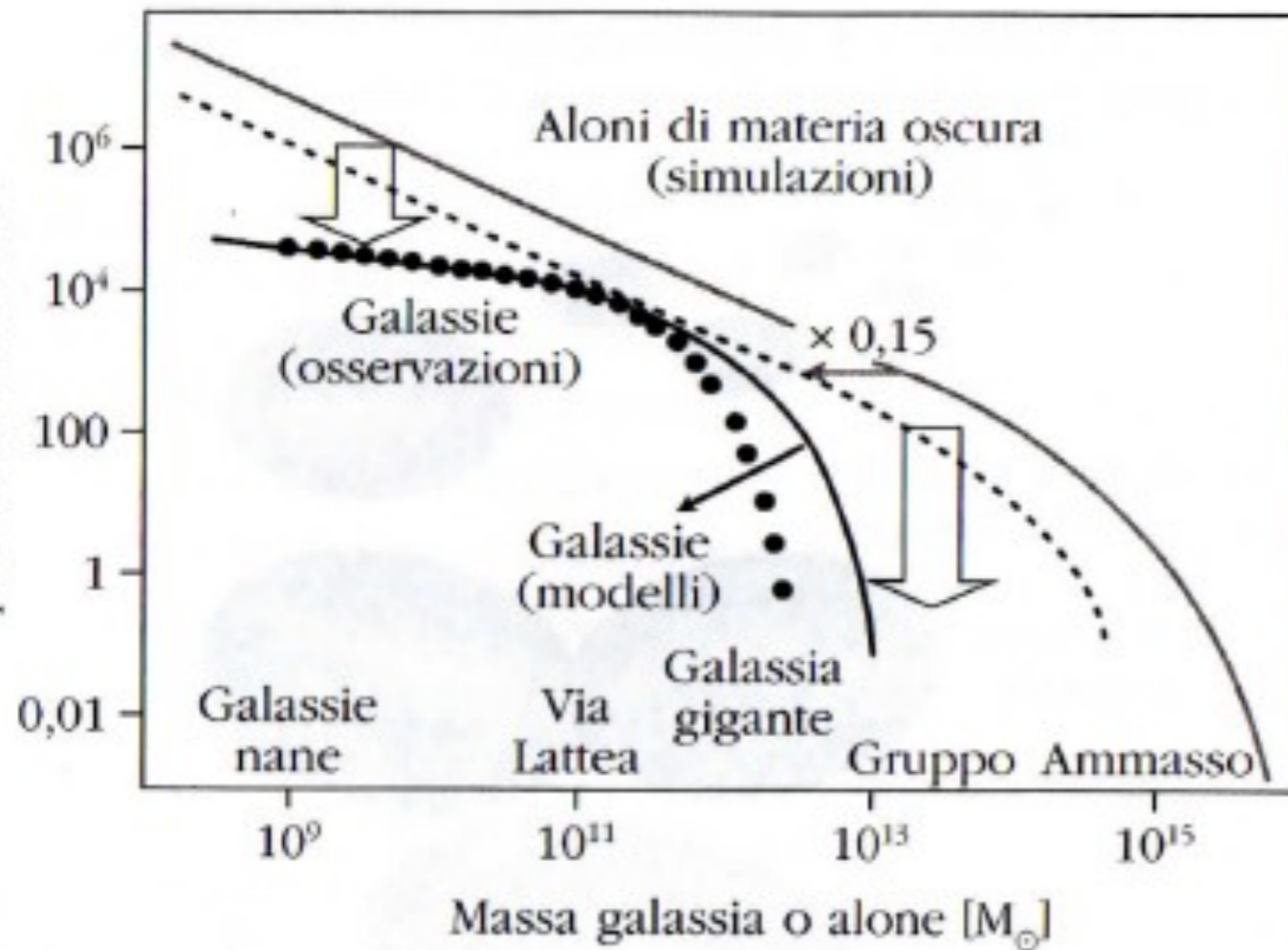
il gas durante la collisione e' destabilizzato, consente la formazione stellare al centro e cade verso il nucleo attivando il buco nero

L'energia del buco nero riscalda il gas e crea i venti che **spazzano via il gas**

Il buco nero rimane con sempre meno gas in grado di alimentarlo e **si spegne**

Di Matteo et al. 2005
Nature

“feedback” da AGN

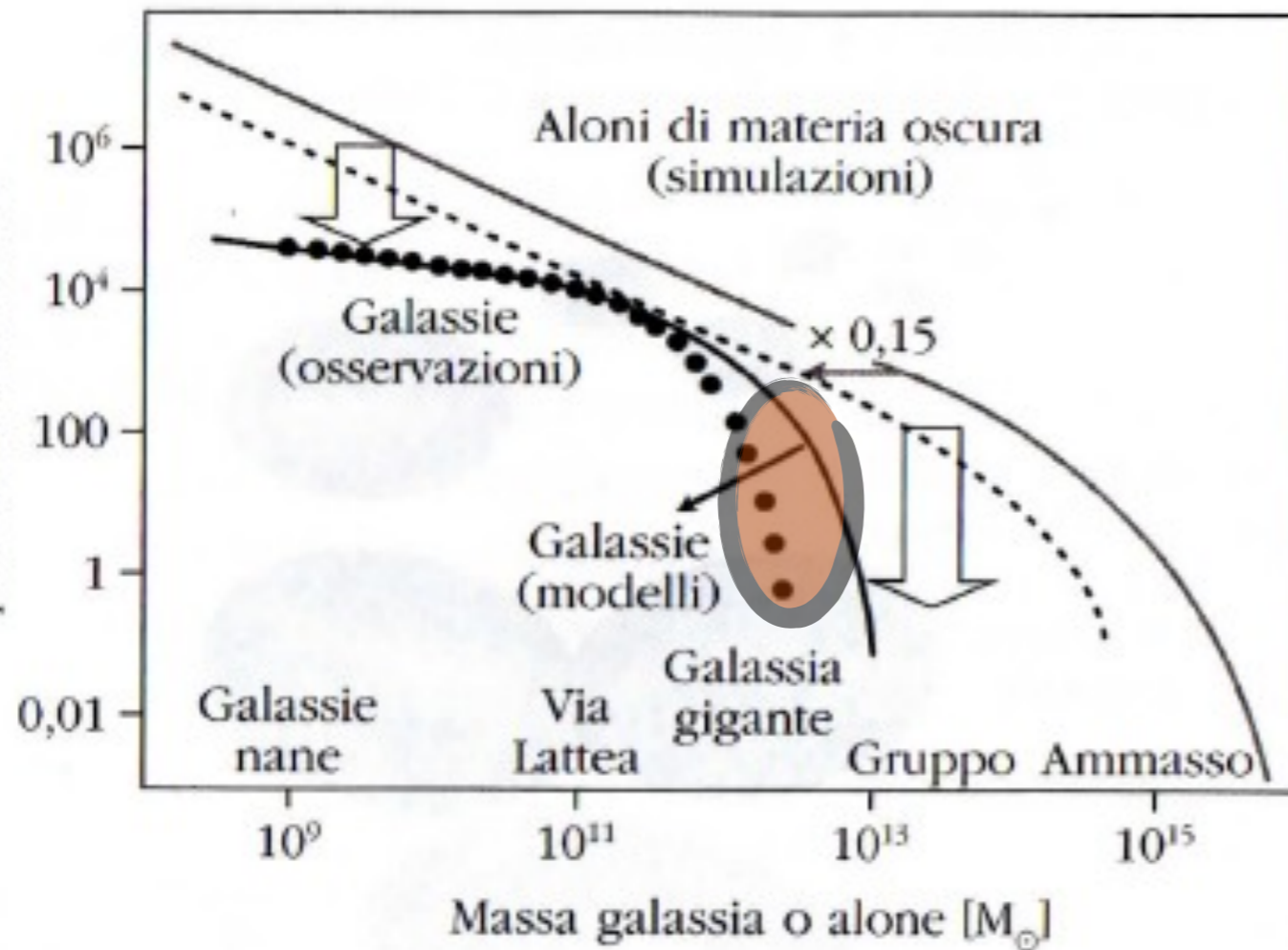


La presenza di **venti galattici** spiega come mai vediamo **meno galassie massicce** di quelle previste dai modelli

con le nostre **osservazioni multifrequenza** (che provano l'esistenza di questi venti in galassie e AGN) sia nell'universo locale, sia nell'universo “giovane” siamo riusciti ad avere un quadro completo della evoluzione delle galassie e dei buchi neri al centro

tratto da “I Buchi Neri” di Alessandro Marconi
collana “Farsi una idea” (Il Mulino)

“feedback” da AGN



La presenza di **venti galattici** spiega come mai vediamo **meno galassie massicce** di quelle previste dai modelli

con le nostre **osservazioni multifrequenza** (che provano l'esistenza di questi venti in galassie e AGN) sia nell'universo locale, sia nell'universo “giovane” siamo riusciti ad avere un quadro completo della evoluzione delle galassie e dei buchi neri al centro

tratto da “I Buchi Neri” di Alessandro Marconi
collana “Farsi una idea” (Il Mulino)

“Feedback” negativo... e positivo!



“Feedback” negativo... e positivo!

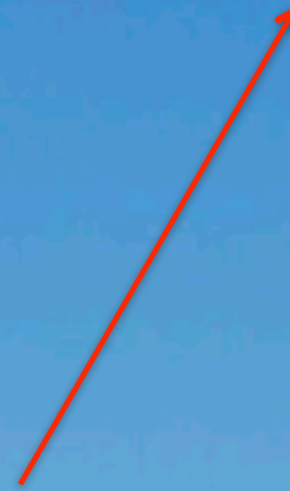
Feedback “negativo”:
il vento rimuove i semi dal fiore



“Feedback” negativo... e positivo!

Feedback “negativo”:

il vento rimuove i semi dal fiore

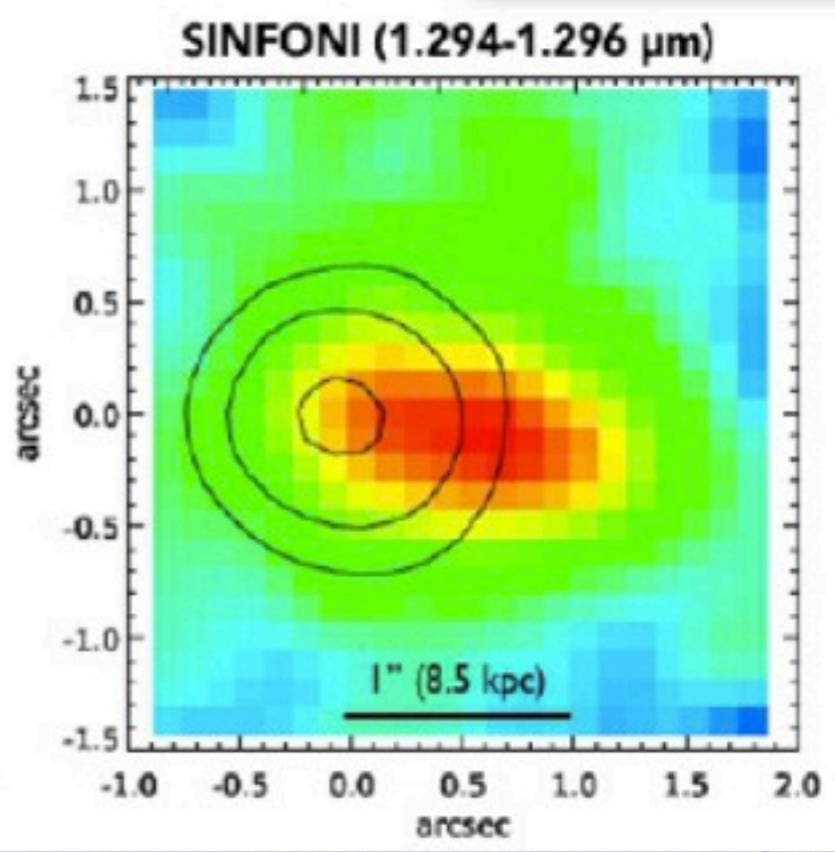
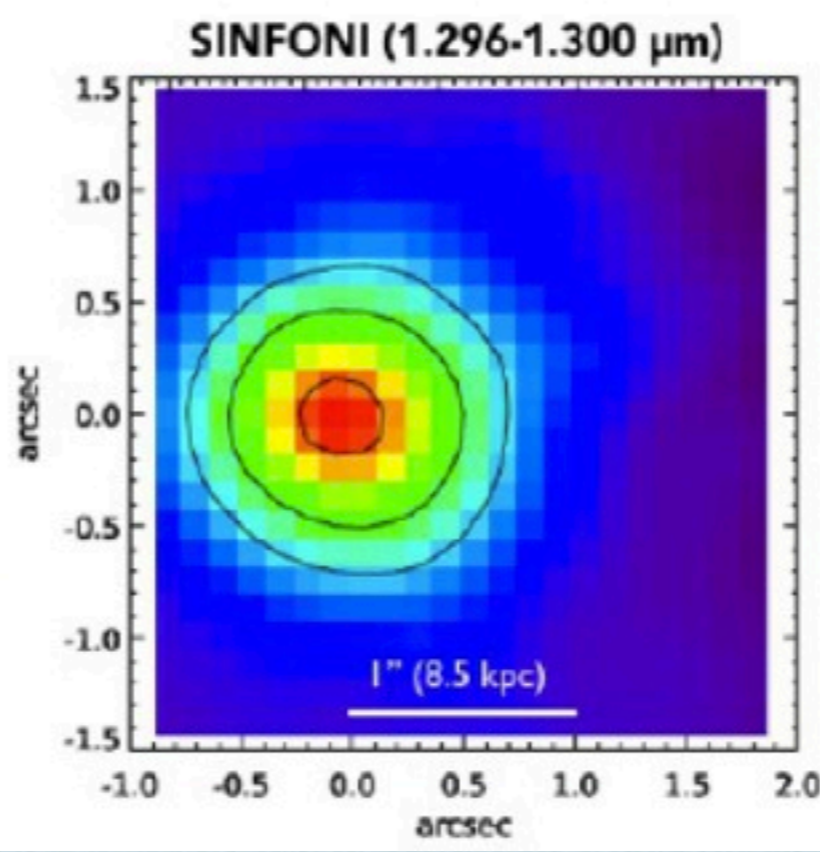
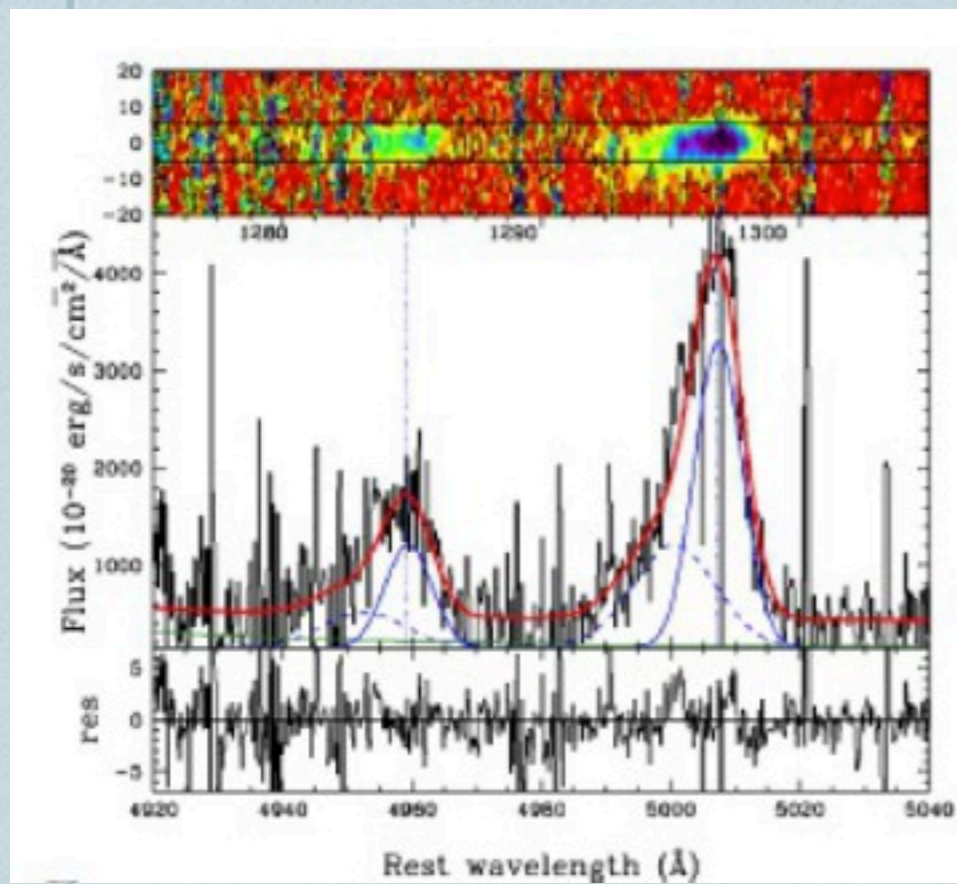


Feedback “positivo”:

il vento sparpaglia i semi nel mezzo circostante e questo da' luogo a nuovi fiori

esempio di come lavorano gli astronomi!

feedback “positivo” dati



“scoperta”
riga shiftata e larga

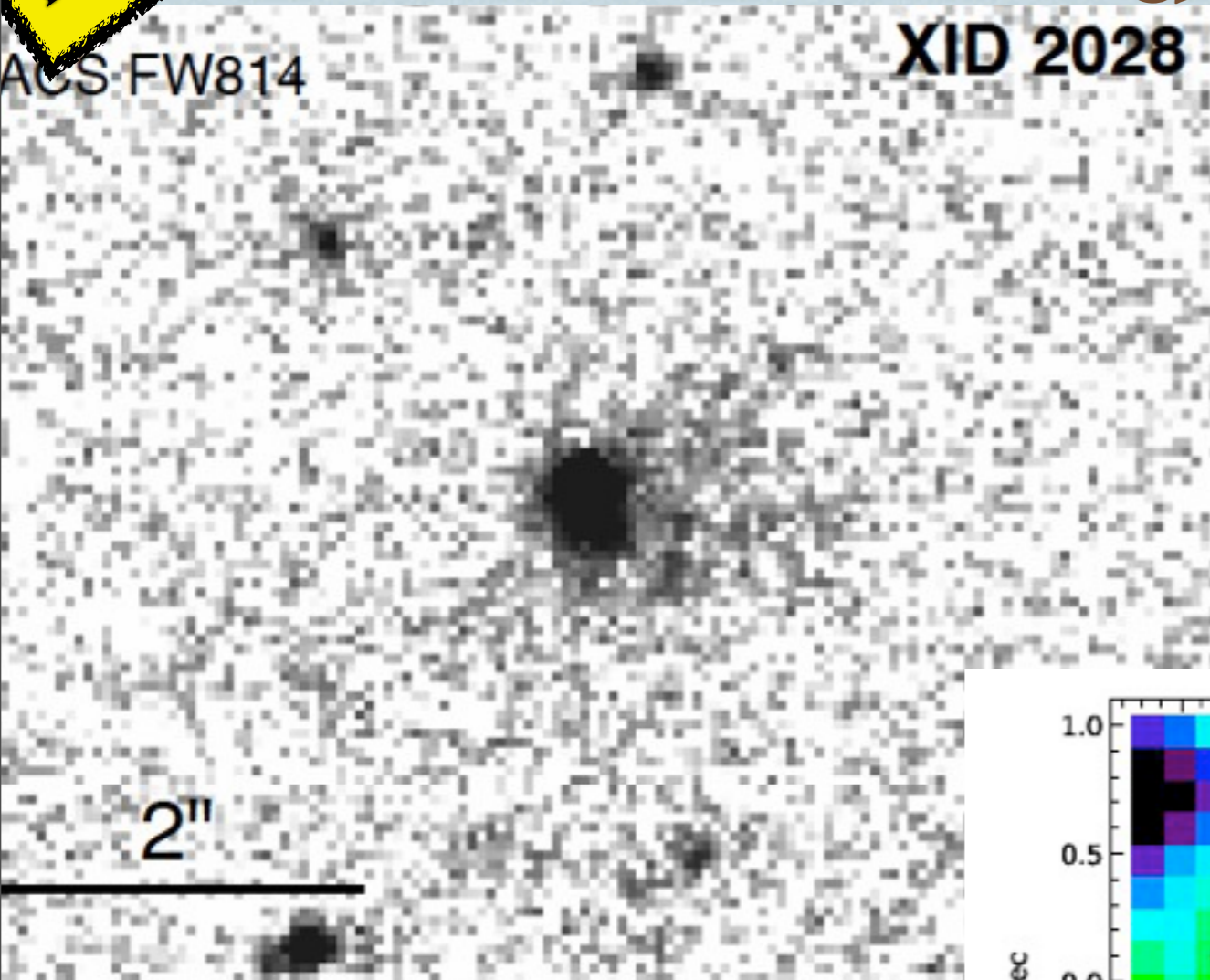
X-shooter/VLT

“follow-up”
la riga larga viene da una regione diversa
da quella del nucleo

SINFONI/VLT

esempio di come lavorano gli astronomi!

feedback “positivo” dati

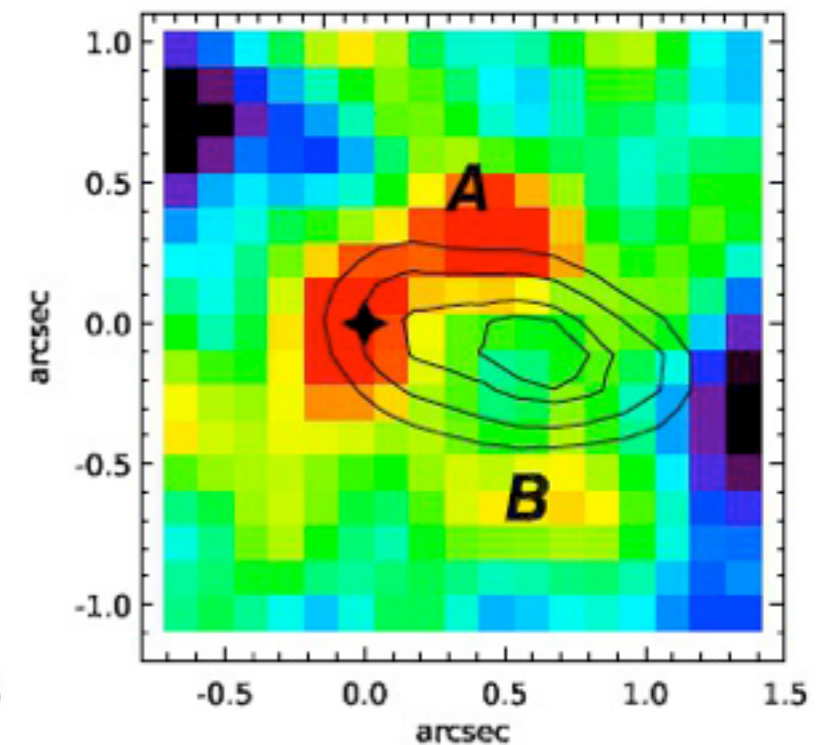
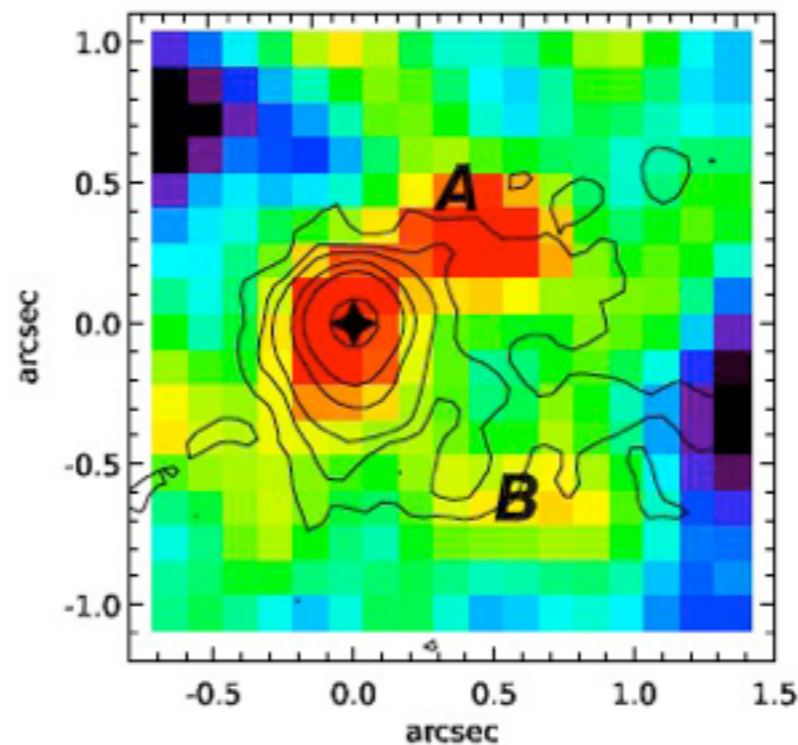


“analisi”

**morfologia della galassia ospite
(Hubble) traccia la formazione stellare**

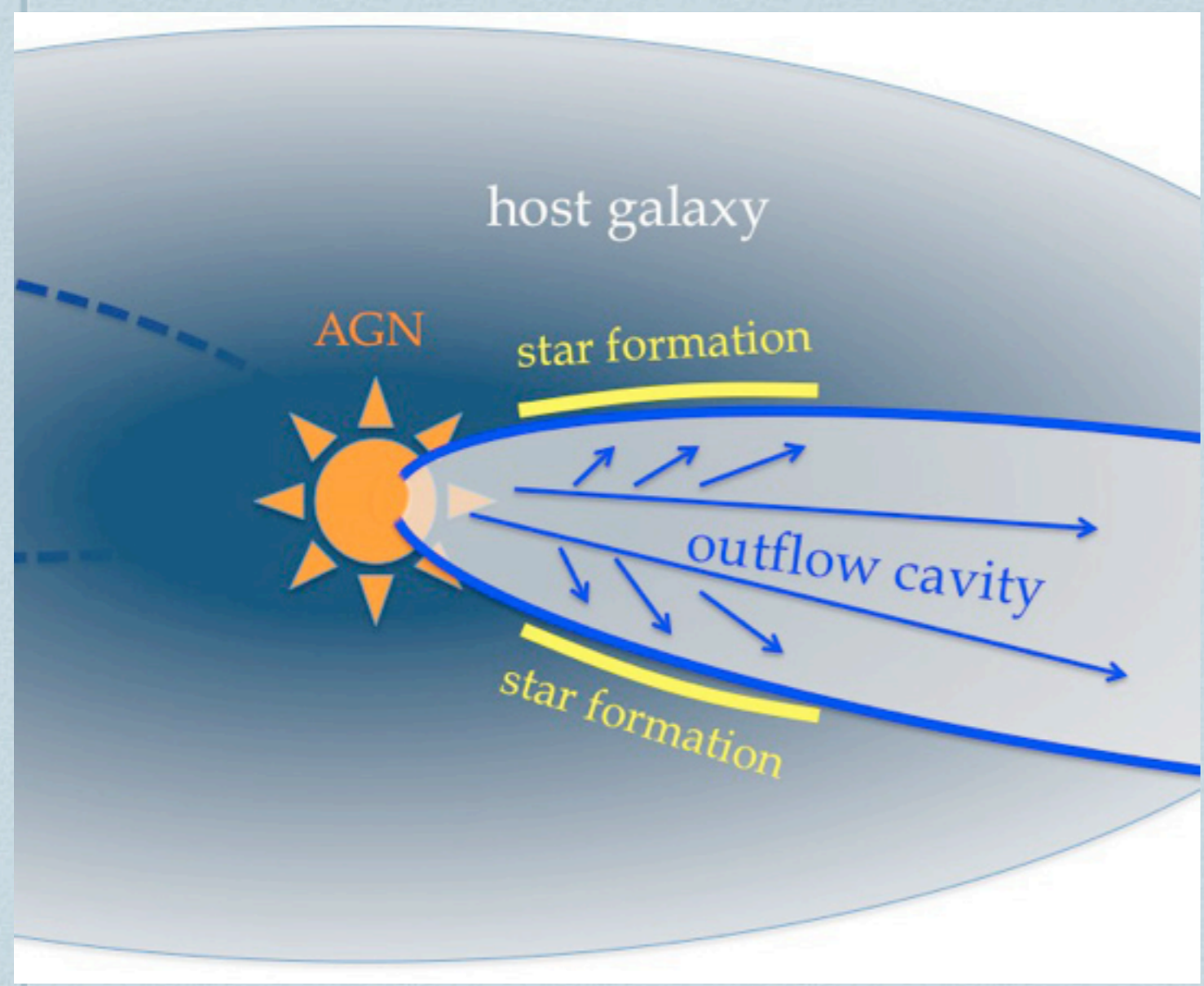
**il vento e' in una cavita' dove non c'e'
formazione stellare**

**galassia osservata a 4
miliardi di anni dopo il
Big Bang**



esempio di come lavorano gli astronomi!

feedback “positivo” interpretazione



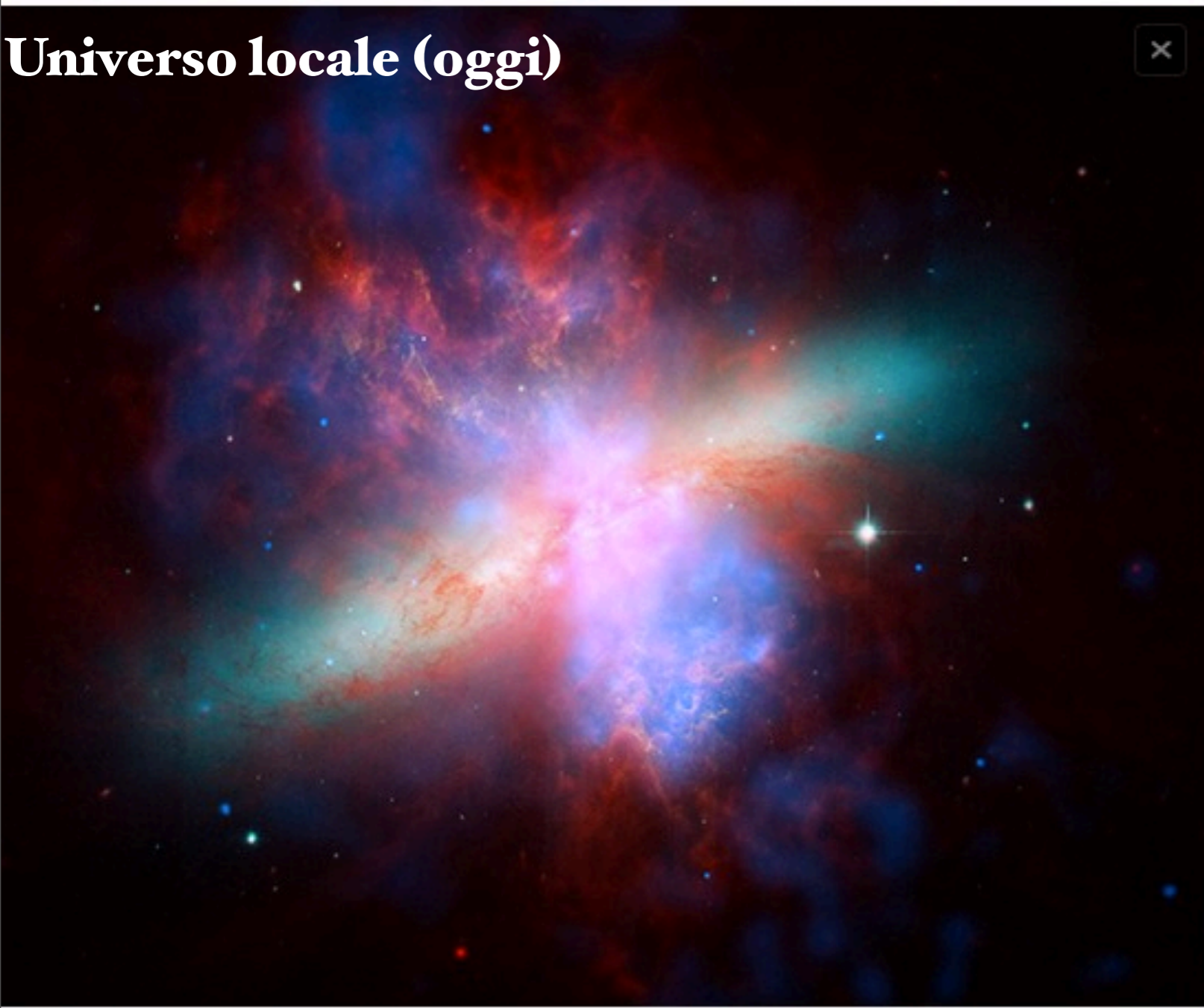
“modello”

i blobs che vediamo sono zone di formazione stellare ai bordi del cono del vento, indotti da compressioni del materiale dovuta alla pressione del gas che si espande

nella cavita' la formazione stellare e' soppressa

il problema della risoluzione

Universo locale (oggi)



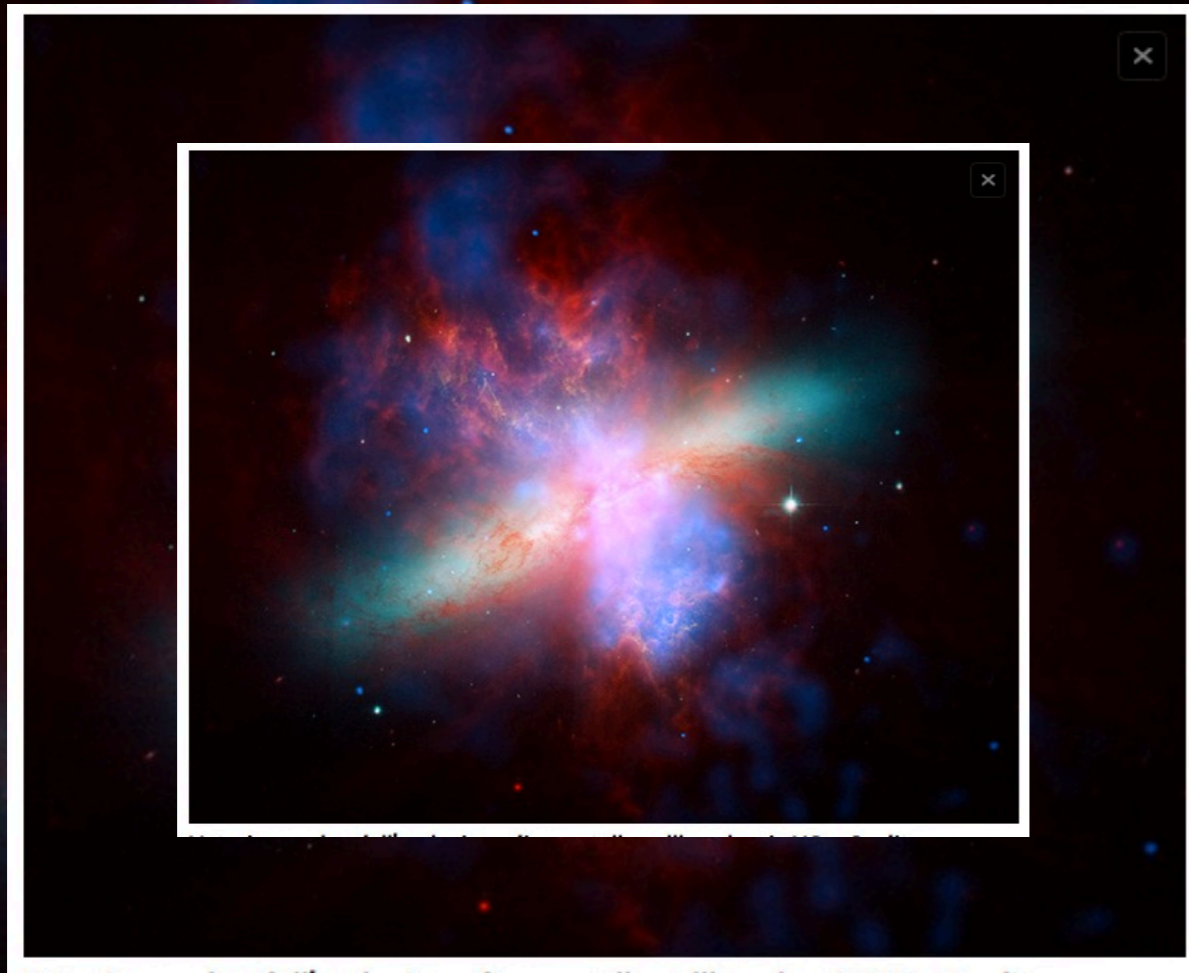
il problema della risoluzione

Universo locale (oggi)



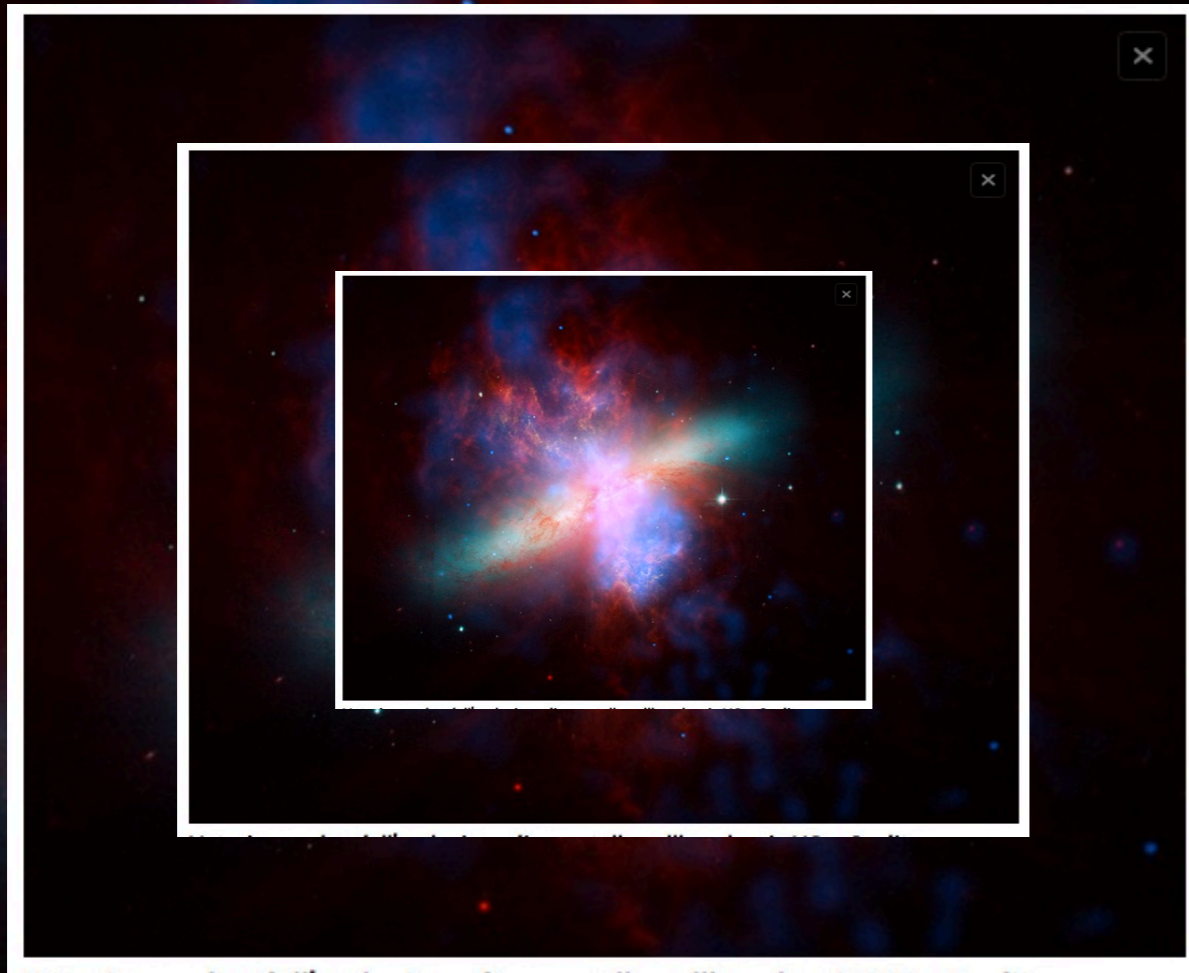
il problema della risoluzione

Universo locale (oggi)



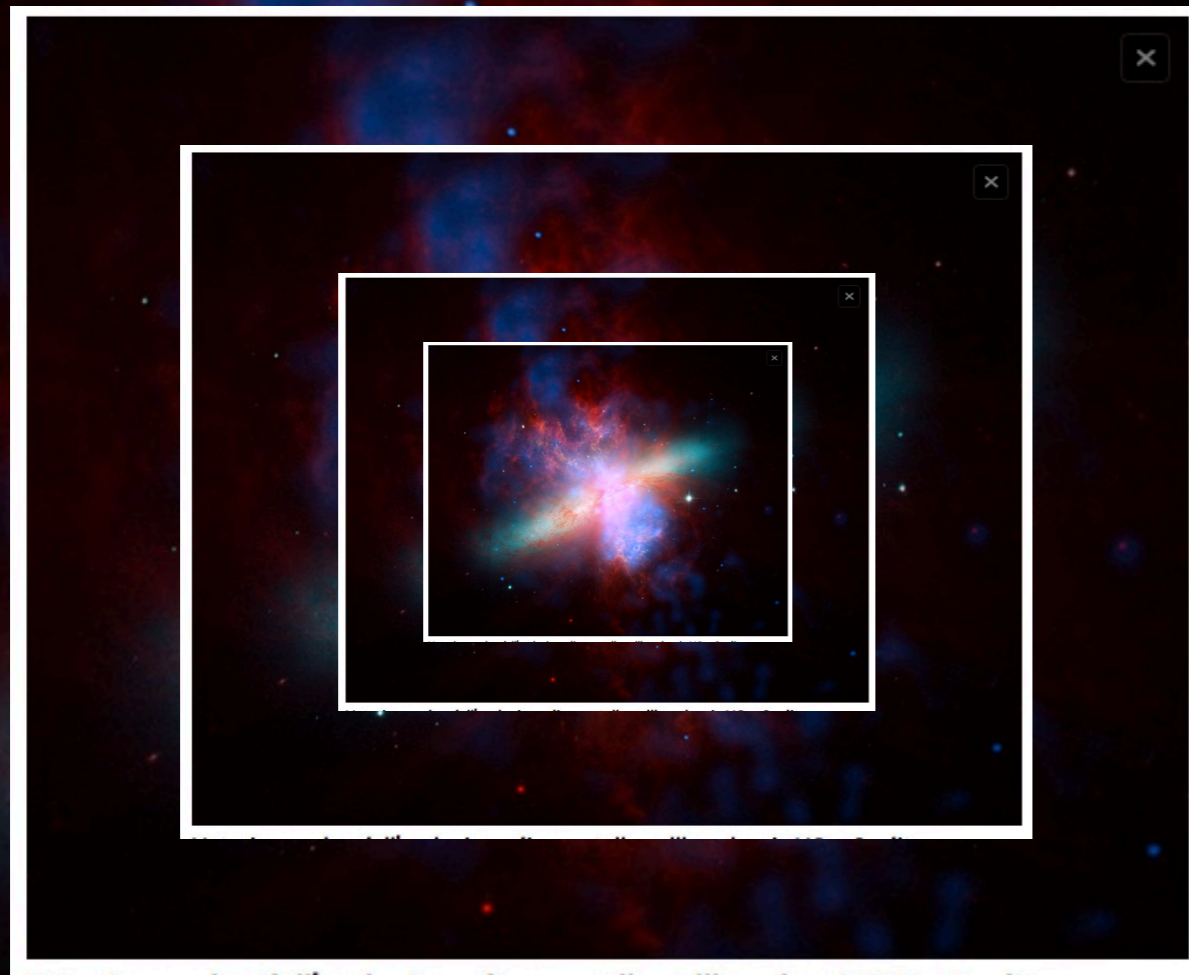
il problema della risoluzione

Universo locale (oggi)



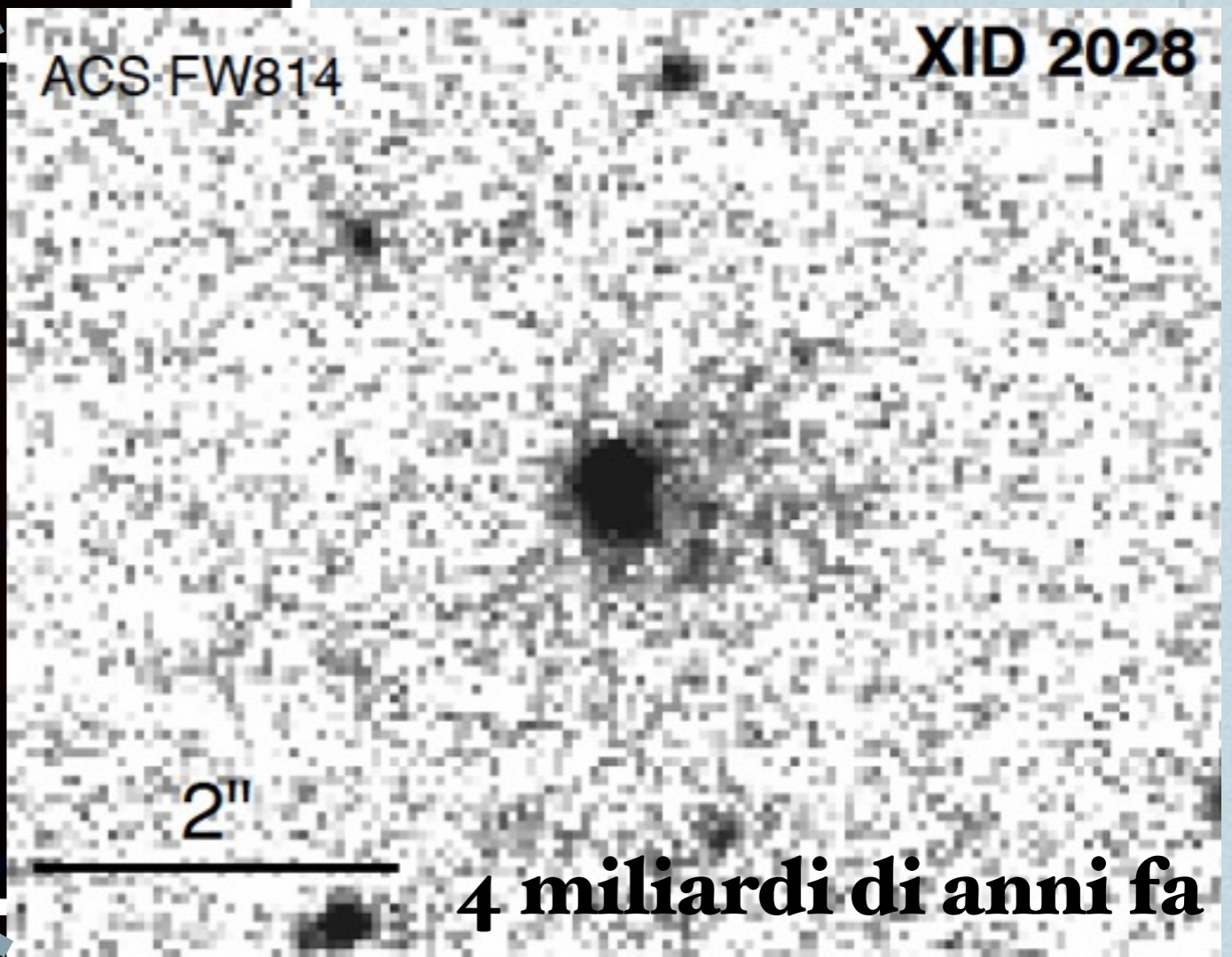
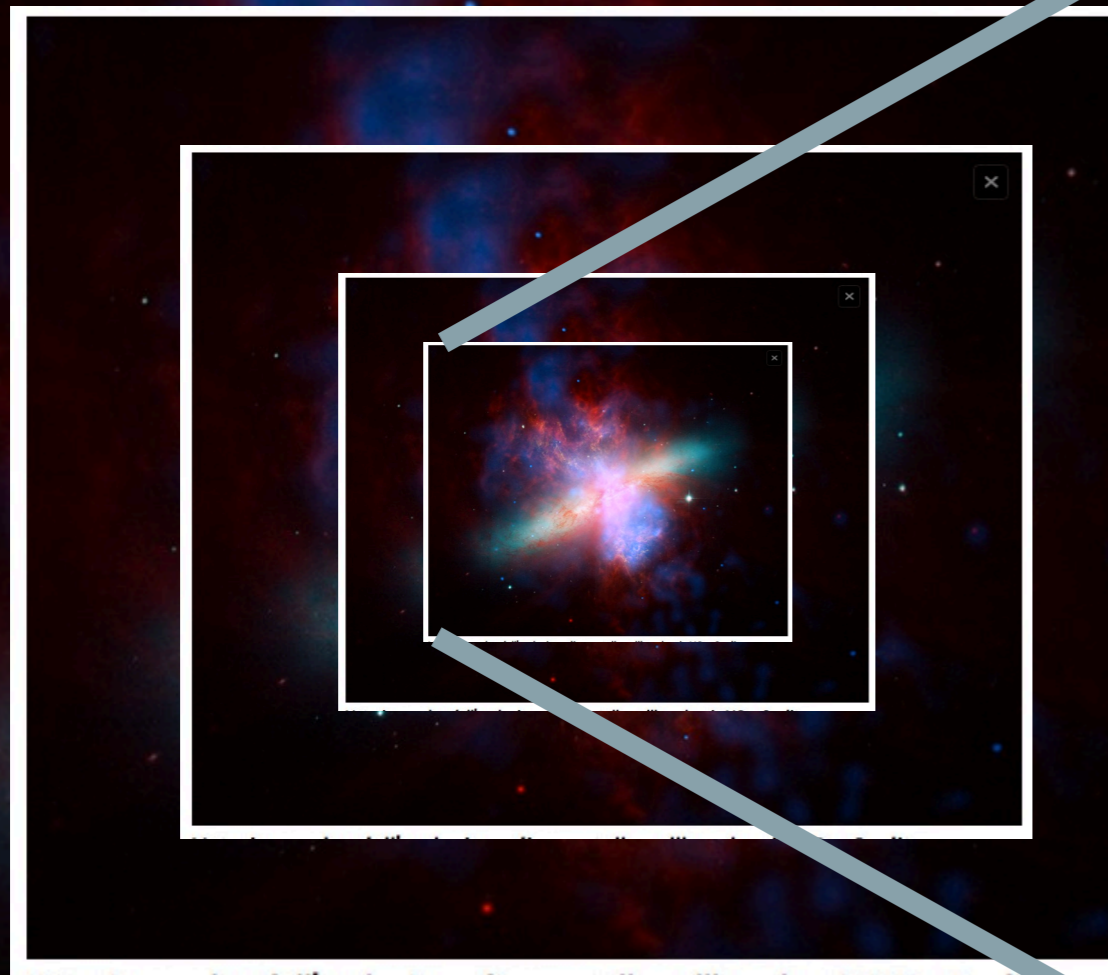
il problema della risoluzione

Universo locale (oggi)



il problema della risoluzione

Universo locale (oggi)



Conclusioni

- ❖ i venti galattici (sia da starbursts sia da buchi neri) **rimuovono il gas dalla galassia**
- ❖ i **buchi neri sembrano essere piu' efficienti** (producono piu' energia --> venti piu' veloci e massicci)
- ❖ in assenza di gas (soprattutto molecolare) **la formazione di stelle nelle galassie e' soppressa**
- ❖ la mancata formazione di nuove stelle **determina il "futuro" di una galassia! (ma vedi "feedback" positivo)**
- ❖ L'emissione di venti galattici caratterizza **una "fase" dell'evoluzione delle galassie --> difficili da "osservare"!**
- ❖ **Rari oggi ma molto piu' comuni in passato, quando l'universo aveva solo 1-5 miliardi di anni**

Winds: here, there, everywhere (venti: qui, la', dappertutto)

❖ <http://hte.si.edu/wind.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=hSjArzavS7E>



Winds: **here, there, everywhere**
(venti: qui, la', dappertutto)

❖ <http://hte.si.edu/wind.html>

GRAZIE PER
L'ATTENZIONE!